МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

# СЕМЬДЕСЯТ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 2

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
16–20 апреля 2018 г.

ГУАП
Санкт-Петербург
2018

УДК 001
ББК 72
С30

С30 Семьдесят первая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб. докл. В 4 ч. Ч. 2. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2018. 361 с.
ISBN 978-5-8088-1294-9 (Ч. 2)
ISBN 978-5-8088-1292-5

Представлены доклады Семьдесят первой международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2018 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэрокосмического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радиотехники, электроники и связи.

Под общей редакцией
доктора юридических наук, профессора
*В. М. Бочера*

Редакционная коллегия:

*А. Р. Бестугин,* доктор технических наук, профессор
*А. С. Будагов*, доктор экономических наук, доцент
*К. В. Лосев,* доктор экономических наук, доцент
*И. А. Павлов*, кандидат военных наук, доцент
*Е. Г. Семенова*, доктор технических наук, профессор
*М. Б. Сергеев,* доктор технических наук, профессор
*А. М. Тюрликов*, доктор технических наук, профессор
*В. А. Фетисов*, доктор технических наук, профессор
*В. Ф. Шишлаков*, доктор технических наук, профессор
*М. О. Самоловов,* директор редакционно-издательского центра

Ответственный секретарь редакционной коллегии *Л. И. Корнеева*

ISBN 978-5-8088-1294-9 (Ч. 2)
ISBN 978-5-8088-1292-5

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018

# РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ

## Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы

**УДК 534 (204.1)**

***А. А. Ашмарин***
студент кафедры радиотехнических систем
***Ю. А. Корнеев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ ТРАССЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА ОСНОВЕ БУЯ РГБ-48

РГБ-48 – это авиационный радиогидроакустический буй пассивного типа всенаправленного действия для обнаружения движущихся объектов по создаваемым ими шумовым сигналам и ретрансляции этих сигналов на борт носителя. По сравнению с моделями, выпускаемыми ранее, РГБ-48 имеет более узкие диаграммы направленности, позволяющие лучше разрешать близко расположенные цели. Новая модель акустического буя выигрывает в дальности обнаружения и точности пеленга.

На основе буя РГБ-48 была разработана структурная схема системы гидроакустического мониторинга, изображенная на рис. 1.

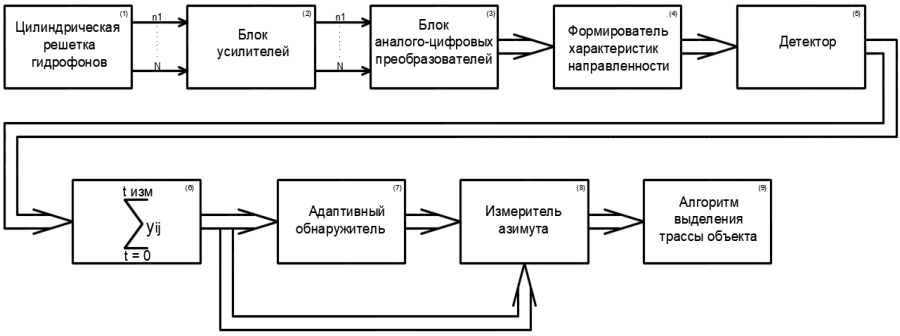



Рис. 1. Структурная схема гидроакустической системы

Первым элементом рассматриваемой системы мониторинга акваторий является гидроакустическая антенна, состоящая из гидрофонов, преобразующих акустическую энергию в электрическую (блок *1* на рис. 1) [1].

Следующими элементами антенной системы в каждом гидрофонном канале являются усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (блоки *2* и *3* на рис. 1). Задача этих элементов состоит в усилении принятых гидроакустической антенной сигналов с последующим их многоканальным аналого-цифровым преобразованием.

Затем следует устройство формирования характеристик направленности (УФХН) (блок *4* на рис. 1). Все методы формирования характеристик направленности (ХН) можно разделить на два основных типа: формирование ХН во временной и частотной областях [3].

В рассматриваемой системе на цилиндрической антенной решетке формируется множество ХН. При пространственной обработке принятых антенной решеткой сигналов применяется метод формирования ХН в частотной области, базирующийся на использовании быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3].

Структурная схема алгоритма формирования ХН в частотной области приведена на рис. 2.

Следующим шагом после формирования кругового веера ХН является оценка мощности суммарного сигнала в ХН. Этот шаг обработки реализуется квадратичным детектированием сигналов (блок *5* на рис. 1) с последующим временным интегрированием (блок *6* на рис. 1) отсчетов по всей полосе обрабатываемых частот. Пример реализации сигналов на выходах канальных временных интеграторов показан на рис. 3.

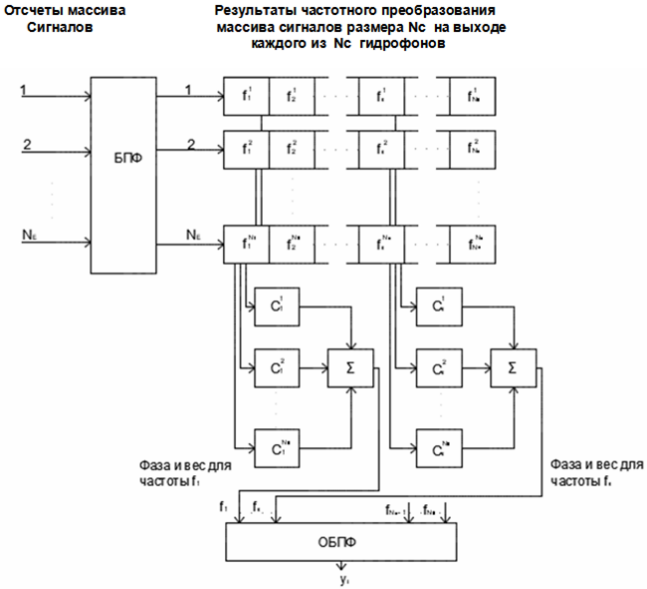



Рис. 2. Структурная схема алгоритма формирования кругового веера ХН антенны в частотной области

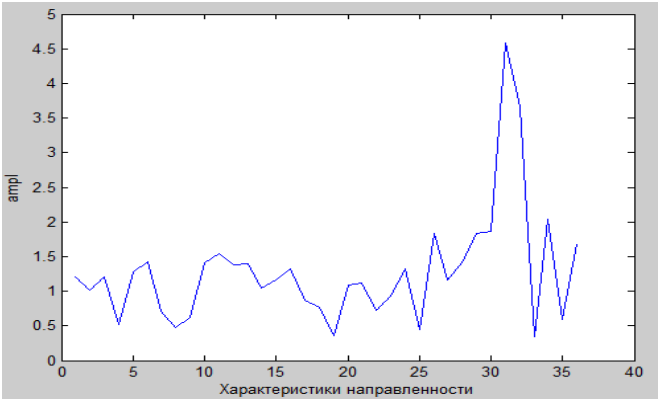



Рис. 3. Принятый сигнал на фоне помех

Алгоритм выделения трассы движения подводного объекта включает следующие этапы обработки:

1. В конце каждого цикла интегрирования канальных отсчетов в блоках *6* (рис. 1) на выходе интеграторов формируется развертка оценок мощности шума (или сигнал + шум) по соответствующим направлениям. Пример группы разверток, сформированных на некоторой последовательности циклов некогерентного накопления, представлен на рис. 4.

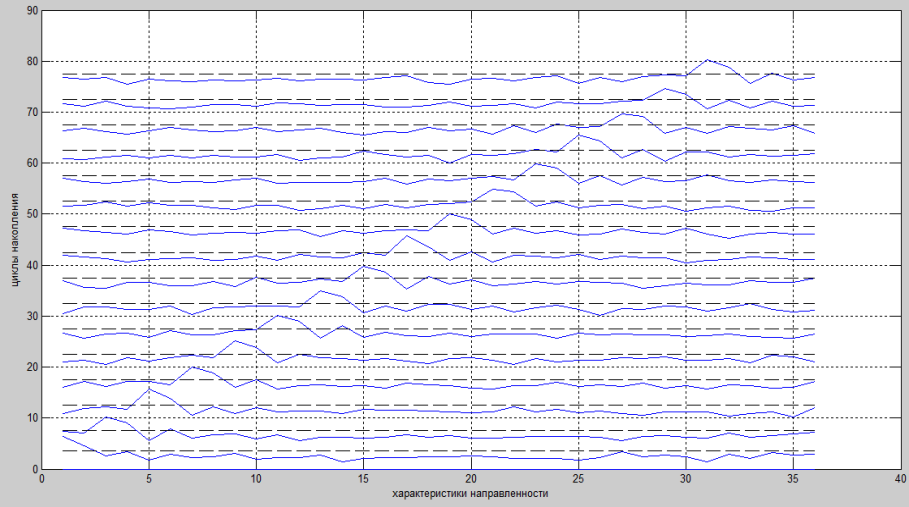



Рис. 4. Последовательности сигнально-шумовых разверток

2. Далее по каждой развертке отсчетов на выходе интеграторов (блоки *6*) реализуется процедура адаптивного обнаружения сигналов шумящих объектов. К характерным проблемам, возникающим на этапе обнаружения объектов, нужно отнести:

- нестационарность (неоднородность) фоновых шумов по курсовому углу [1, 2]. Последнее накладывает специальные требования на алгоритмы формирования порогового уровня при адаптивном обнаружении объектов [3, 4];
- необходимость согласования времени некогерентного накопления с угловой скоростью перемещения объекта.

3. Измерение азимута шумящего объекта. Существенного повышения точности измерения азимута объекта можно достичь при применении суммарно-разностного метода измерения углов. Суть метода заключается в совместном использовании результатов накопления (интегрирования) сигналов по соседним характеристикам направленности при формировании оценок азимута шумящего объекта. Направление на такой объект определяется путем сравнения сигналов, принятых одновременно по двум соседним ХН.

4. По признакам обнаружения, формируемым на выходе блока *7* (рис. 1), и оценкам азимута шумящего объекта на выходе блока *8* (рис. 1), полученным на группе смежных разверток (на группе циклов накопления отсчетов в блоках *6* на рис. 1), с использованием методов сглаживания формируется оценка трассы шумящего объекта [5].

5. Используя результаты обработки данных в нескольких гидроакустических буях, строится полная картина движения объекта. Эта информация отображается у оператора, который принимает дальнейшее решение об обнаруженном объекте.

Важной проблемой, возникающей при реализации многоэлементных антенн гидроакустических систем, является наличие технологических разбросов параметров, составляющих антенну (гидрофоны) и тракт обработки сигналов элементов (усилители, АЦП). Разброс параметров элементов приводит к искажению веера ХН.

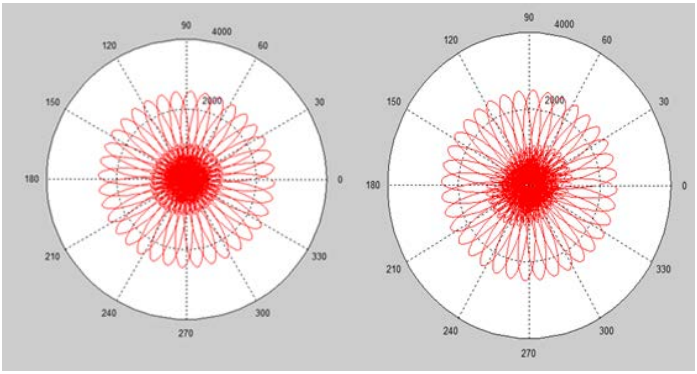



Рис. 5. Построение диаграмм направленности
с 10%-ной и 25%-ной ошибками амплитудного распределения

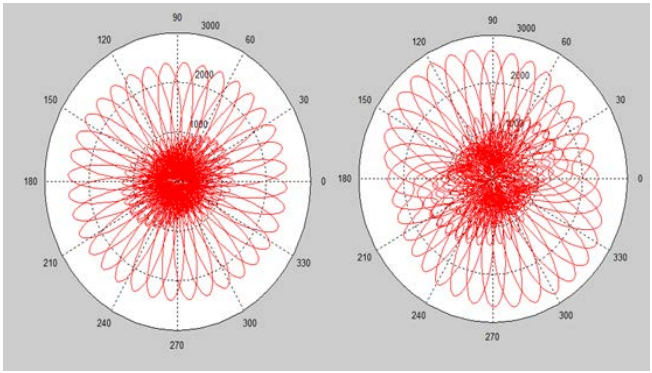



Рис. 6. Построение диаграмм направленности
с 10%-ной и 25%-ной ошибками фазового распределения

Пример влияния ошибки амплитудного распределения изображен на рис. 5 для 10%-ной и 25%-ной ошибок амплитудного распределения в каналах антенны.

Как видно из рисунков, даже небольшая ошибка фазового распределения приводит к ухудшению работы антенны. Для борьбы с такого вида ошибками существует два способа:

- контроль разброса характеристик комплектующих элементов и их отбраковка на этапе производства антенны;
- применение контролирующих/тестирующих алгоритмов, компенсирующих разброс характеристик элементов в процессе реализации алгоритма формирования диаграммы направленности.

Пример влияния ошибки фазового распределения представлен на рис. 6.

**Библиографический список**

1. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики / Пер. с англ. Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
2. Сташкевич А. П. Акустика моря. Л.: Судостроение, 1966. 359 с.
3. Корякин Ю. А. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004. 410 с.
4. Журавлев А. К. Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. 544 с.
5. Фалькович С. Е. Прием радиолокационных сигналов на фоне флюктационных помех. М.: Советское радио, 1961. 312 с.

**УДК 550.388.2**

***С. А. Безвытный***
студент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***Д. В. Благовещенский***
доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В настоящее время радиозондирование не только не утратило своего ведущего положения в системе методов контроля состояния ионосферы, но практически превращается в метод контроля всей околопланетной среды. Происходит это вследствие того, что ионосфера как среда занимает ключевое место в изучении физики околоземной плазмы, так как, с одной стороны, ее можно рассматривать как тонкий и относительно хорошо проводящий слой, в котором замыкаются токовые системы обширных областей земной магнитосферы и экзосферы. С другой стороны, ионосфера, непосредственно соприкасаясь с нейтральной атмосферой, воспринимает от нее различного вида колебания, тепловые потоки, движения электрических зарядов (например, молнии снизу вверх). Таким образом, диагностика состояния ионосферы не только приносит традиционно известные сведения об условиях распространения радиоволн в околоземном пространстве, но и позволяет следить за процессами состояния и перестройки внешних областей земной атмосферы по изменению их токовых систем, поскольку обширные пространства магнитосферы связаны системой вертикальных токов с наиболее проводящей частью атмосферы – ионосферой – и их изменения сказываются на состоянии ионосферы. В то же время наблюдения ионосферы позволяют контролировать многие процессы в нижних непроводящих слоях (стратосферное потепление, атмосферные волны и т. п.), так как колебательные процессы, усиливаясь при прохождении этих слоев атмосферы, передаются в верхние проводящие слои, где легко регистрируются радиофизическими способами. Более того, следя за состоянием ионосферы, можно контролировать колебания земной поверхности (землетрясения, сильные взрывы). Особенностью высокоширотных ионосферных спутниковых наблюдений является то обстоятельство, что даже один космический аппарат (КА) в этих широтах осуществляет практически непрерывный мониторинг, т.к. КА возвращается в зону наблюдений на каждом витке.

Рассмотрим в качестве примера бортовой ионозонд ЛАЭРТ.

Функциональная и блок-схемы прибора показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

Сердцем прибора является блок электроники (LAERT-R), где расположены главный процессор, управляющий прибором, приемник ионозонда и формирователь импульсов передатчика. Блок БШУ (LAERT-T) представляет собой широкополосный усилитель мощности, сигнал с которого через блок широкополосного трансформатора (ШПТ) подается на передающую антенну, выполненную в виде *V*-образного диполя длиной 30 м. Отраженные от ионосферы сигналы через систему приемного АФУ (два скрещенных диполя длиной 15 м каждый) и через антенные предусилители поступают на вход приемника, расположенного в блоке БЭ. Ионозонд может работать в различных режимах, кроме основного – зондирования в диапазоне частот 0,1–20 МГц: работа в режиме прямого и обратного трансионосферного зондирования, работа на фиксированных частотах, работа в режиме ВЧ-радиоспектрометра и др. Помимо высоких функциональных параметров прибора к его достоинствам следует отнести малую массу (менее 7 кг) и потребление (порядка 30 Вт). Принимая во внимание тот факт, что сейчас мы можем наблюдать противостояние двух технологий мониторинга ионосферы, получивших в последнее время значительное преимущество методов интегральных измерений и радиопросвечивания, принимающих сигналы глобальных навигационных систем (GPS и ГЛОНАСС), и методов прямых зондовых измерений, в том числе вертикального зондирования, мы можем сделать вывод, что самым очевидным преимуществом вертикального зондирования является то, что он основан на резонансных волновых свойствах космической плазмы, поэтому все частоты отсечек и плазменных резонансов являются абсолютно точными в пределах точности измерения частоты бортовым прибором. Все остальные методы

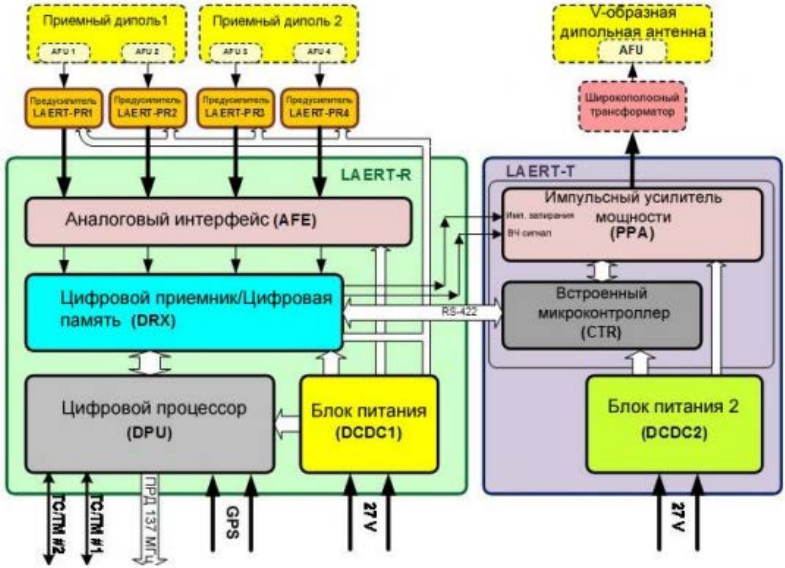



Рис. 1. Функциональная схема прибора

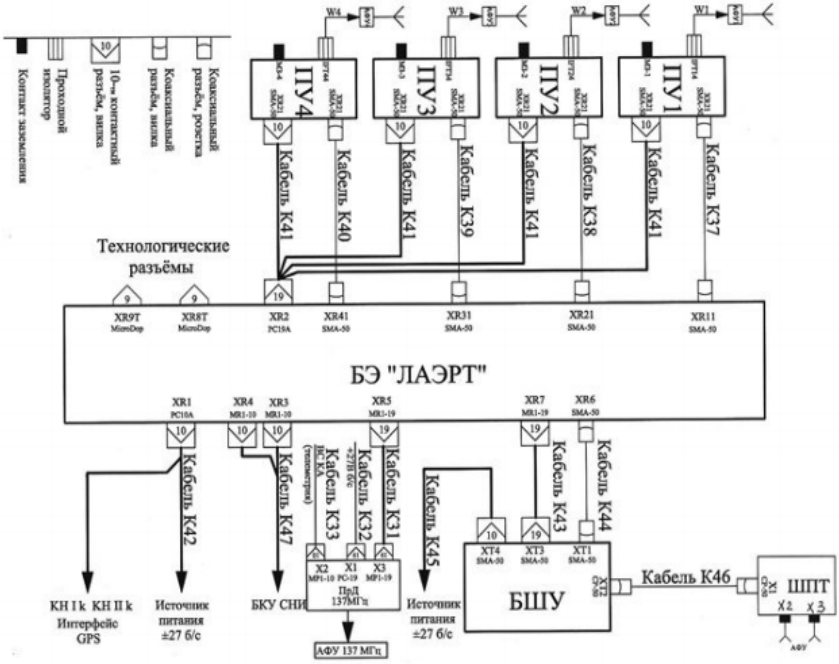



Рис. 2. Блок-схема прибора

требуют весьма сложных математических преобразований и допущений для восстановления вертикальных профилей электронной концентрации, ошибки при этом заведомо превышают те, которые могут возникнуть при восстановлении вертикальных профилей при вертикальном зондировании.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что вертикальное зондирование с борта ИСЗ занимает уникальную нишу в компании методов мониторинга ионосферы и по ряду параметров обеспечивает точность измерений параметров ионосферы, недостижимую для любых других методов.

**Библиографический список**

1. Колосов М. А., Арманд Н. А., Яковлев О. И. Распространение радиоволн при космической связи / Под ред. ак. Б. А. Введенского и проф. М. А. Колосова. М.: Связь, 1969. 155 с.

2. Иванов-Холодный Г. С., Михайлов А. В. Прогнозирование состояния ионосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 190 с.

**УДК** 681.7.064.43

***С. Е. Ефимов***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# МНОГОСЛОЙНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ЧЕБЫШЕВА

Многослойные покрытия применяют для получения высоких коэффициентов отражения (зеркальные покрытия), для увеличения пропускания и контрастности (просветляющие покрытия), для спектрального и энергетического разделения и сложения оптических сигналов и их хроматической коррекции (узко- и широкополосные оптические фильтры), для изменения поляризации излучения (интерференционные поляризаторы).

Оптические фильтры находят широкое применение во многих областях науки и техники и, в частности, в области построения современных телекоммуникационных систем передачи по оптическому волокну. Все возрастающие потребности увеличения пропускной способности волоконно-оптической линии связи приводят к необходимости наиболее эффективно использовать полосы частот окна прозрачности каждого (отдельного) оптического волокна за счет разделения их на несколько более узких полос спектральных каналов. Так, в современных волоконно-оптических системах передачи со спектральным разделением каналов в окне прозрачности оптического волокна 1528–1561 нм может быть размещено 40 спектральных каналов с разносом 100 ГГц (0,8 нм), 80 спектральных каналов с разносом 50 ГГц (0,4 нм) и 160 спектральных каналов с разносом 25 ГГц (0,2 нм). Такое плотное размещение спектральных каналов невозможно осуществить без использования сверхузкополосных оптических фильтров с относительной полосой пропускания фильтра порядка 0,02 % [1].

К основным типам оптических фильтров относятся следующие фильтры: полосовые фильтры, краевые фильтры, фильтры лазерного излучения, ИК-фильтры (1–20 мкм), дихроичные фильтры [2].

Оптические многослойные фильтры обладают рядом преимуществ над остальными оптическими фильтрами: низкой стоимостью производства, сверхузкополосной полосой пропускания, механической прочностью и устойчивостью к климатическим факторам. Основные преимущества оптических фильтров включают в себя невосприимчивость к электромагнитным помехам, а также высокий срок службы.

Наиболее перспективными являются оптические многослойные фильтры, на основе метода волновых аналоговых фильтров. Применение аналитических методов общей теории электрических фильтров к синтезу оптических фильтров открывает широкие возможности разработки многих гетероструктур оптического диапазона [1].

Фильтр относится к радиотехнике, а именно к области техники волоконно-оптических систем передачи, в частности к оптическим многослойным фильтрам, входящим в состав устройств мультиплексирования по длине волны для образования множества спектральных каналов при работе по волоконно-оптическим кабелям связи.

На рис. 1 представлен профиль многослойного оптического фильтра: *1* – связка (с показателем преломления $n_в$), *2* – резонатор (с показателем преломления $n_н$), *3* – подложка (с показателем преломления $n_0$), *l* – общая толщина многослойного фильтра. Топологическая формула имеет вид:

$$T_{ОМСФ} = (ВН)^s(НВ)^k(ВН)^k(НВ)^r, \quad (1)$$

где В и Н – чередование слоев с высоким и низким показателем преломления соответственно; $s$ – количество пар слоев с $n_в$ и $n_н$ входного оптического трансформатора; $k$ – число пар слоев с $n_в$ и $n_н$ половины избирательной части; $r$ – число пар слоев с $n_в$ и $n_н$ выходного оптического трансформатора.

Профиль показателей преломления материалов с высоким «В» – 1 и низким «Н» – двумя значениями, из которых выполнены слои многослойного оптического фильтра, показан на рис. 1.

Подложка *3* выполнена из сплошного диэлектрического материала с показателем преломления $n_0$, значение которого выбрано в промежутке между значениями $n_в$ и $n_н$, т. е. $n_в > n_0 > n_н$. Подложка *3* предназначена для согласованного ввода в многослойный оптический фильтр и вывода из многослой-

ного оптического фильтра сигнала (оптического луча). Подложка *3* играет роль вспомогательного элемента между собственно многослойным оптическим фильтром и передающими оптическими средами. В качестве подложки *3* могут быть использованы оптические волокна, стержни, пластины, линзы и т. п.

Рабочее затухание с характеристикой Чебышева [3]:

$$A = 10 \cdot \lg(1 + h^2 \cos^2(m \cdot \arccos(\eta))),$$

$$a = 10 lg(1 + h^2 \cos^2(\text{marccos}\eta)), \quad (2)$$

где $h = \sqrt{10^{\Delta a / 10} - 1}$, m – количество элементов, $\eta$ – текущая частота.

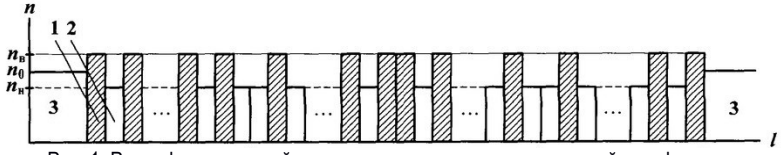



Рис. 1. Рельеф показателей преломления оптического многослойного фильтра

При решении задачи аппроксимации частотных характеристик затухания фильтра, всегда предполагается, что фильтр включается между заданными нагрузочными сопротивлениями и, как правило, между резистивными нагрузками. Оптический фильтр также должен включаться согласованно между оптическими средами с заданными показателями преломления, в противном случае появятся потери мощности за счет отраженных сигналов, а величина и неравномерность рабочего затухания резко возрастут.

**Библиографический список**

1. Лапшин Б. А. Оптические гетероструктуры. Новая теория и расчет. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 480 с.

2. Соберин Я. А. Расчет полиномиальных фильтров. М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио. 1963. 209 с.

3. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь. 1983. 305 с.

**УДК 62**-1/-9

***А. И. Иванина***
студент кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. А. Сенцов***
кандидат технических наук – научный руководитель

## УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Лазеры на свободных электронах (ЛСЭ) – мощные источники когерентного излучения, возникающего при движении заряженных частиц в периодическом магнитном поле [1].

Лазеры на свободных электронах ультрафиолетового (УФ) диапазона представляют собой огромный интерес, так как излучение в этой области спектра, а особенно в диапазоне вакуумного ультрафиолета (ВУФ), где $\lambda < 100\,нм$, не изучено полностью.

Электронный КПД (отношение мощности, передаваемой в излучение, к мощности электронного пучка) ЛСЭ довольно низок (около 1%). Так как ЛСЭ требуют мощных источников излучения электронов, все они являются громоздкими и дорогостоящими. Поэтому одна из важнейших задач на пути улучшения характеристик лазера на свободных электронах – повышение электронного КПД в зависимости от особенностей устройства установки и ее назначения.

Гамбургский ЛСЭ с линейным ускорителем (Deutsches Elektronen Synchrotron) обладает большим усилением и излучает импульсы в УФ-области спектра, работает на основе синхротрона. Эта установка создана в рамках международного проекта TESLA (TeV – Energy Superconducting Linear Accelerator), в котором участвуют девять стран, в том числе и Россия. В табл. 1 приведены параметры ЛСЭ ВУФ-диапазона.

*Таблица 1*

Параметры ЛСЭ ВУФ-диапазона

| Электронный пучок | | Ондулятор | | Лазерное излучение | |
|---|---|---|---|---|---|
| Энергия пучка, МэВ | 240–440 | Период ондулятора, см | 2,37 | Длина волны, нм | 13,6–180 |
| Заряд электронного сгустка, нКл | 2,7–3,3 | Пиковое поле ондулятора, Тл | 0,47 | Энергия в импульсе, мкДж | 30–100 |
| Заряд излучающей части пучка, нКл | 0,1–0,2 | Средняя β функция, м | 1,2 | Пиковая мощность излучения,ГВт | 1 |
| Пиковый ток, кА | 1,2±0,3 | Длина магнита ондулятора, м | 13,5 | Средний уровень мощности излучения, мВт | До 5 |

Основными частями ЛСЭ являются: линейный ускоритель, генерирующий очень мощный пучок электронов, и ондулятор.

Частоту излучения можно определить по формуле (1):

$$\omega_0 = \frac{4\pi c}{\lambda_u}\left(\frac{1}{1+K}\right)\left(\frac{E}{m_0 c^2}\right)^2, \qquad (1)$$

где E – энергия электрона; $m_0$ – масса покоя электрона; $\lambda_u$ – период ондулятора; $B_u$ – пиковое значение магнитного поля в ондуляторе; $c$ – скорость света; e – элементарный заряд; $K = \frac{eB_u\lambda_u}{2\pi m_0 c} \approx 0.934 B_u[Тл]\lambda_u[см]$, – так называемый *K*-параметр.

В ондуляторе пучок под действием знакопеременного магнитного поля с периодом ондулятора $\lambda_u$ на участке длиной $L = N\lambda_u$ (где $N$ – число периодов) движется по волнообразной траектории [2]. При этом длина волны излучения выражается формулой:

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2}\left(1+\frac{K^2}{2}\right), \quad (2)$$

где $B_u$ – пиковое значение магнитного поля в ондуляторе.

Соотношение (2) связывает основные параметры ЛСЭ. Отсюда следует, что длину волны излучения можно перестраивать, изменяя период магнита $\lambda_u$ и/или энергию $E$ электронного пучка.

Увеличение числа периодов ондулятора приводит к повышению интенсивности синхротронного излучения. Можно сделать вывод, что при увеличении мощности излучения и увеличении площади магнитного воздействия на пучок возможно получить наилучшее соотношение мощности, передаваемой в излучение, к мощности электронного пучка. Излучение растет экспоненциально, лазер насыщается за один проход пучка через ондулятор, и в таком случае не нужны зеркала, в отличие от менее мощных ЛСЭ. Таким образом, обладая большим усилением, этот тип ЛСЭ может с легкостью использоваться
в диапазоне вакуумного ультрафиолета, где нет подходящих зеркал для лазера [3].

Благодаря взаимодействию электронов с излучением, генерируемым в ондуляторе, ЛСЭ может достигать больших коэффициентов усиления. В процессе движения электрон на каждом своем изгибе излучает синхротронное излучение, которое в результате эффекта самоусиления спонтанного излучения (SASE – Self Ampliéed Spontaneous Emission) и большой длине ондулятора приводит к тому, что излучение на выходе из ондулятора становится когерентным. Суть режима SASE в том, что роль резонатора играет решетка плотности электроного пучка, которая самоподстраивается и фазируется за счет воздействия ондуляторного излучения на электроны пучка. Таким образом, становится возможно однопроходное усиление без внешнего резонатора [4].

Ключевой компонент ЛСЭ – ускоритель, работающий в импульсном режиме с частотой до 1000 Гц. Каждый импульс состоит из последовательных электронных сгустков пикосекундной длительности [5].

Создание коротких электронных сгустков – одна из традиционных задач ускорительной физики. Повышение качества пучка излучаемых электронов является еще одной важной характеристикой ЛСЭ, напрямую связанной с мощностью электромагнитной волны [6]. Для этого необходимо соблюдение с высокой точностью условия синхронизма движения электронов и электромагнитной волны вдоль ондулятора – чтобы на каждом периоде ондулятора электроны отставали от электромагнитной волны ровно на одну длину волны. Таким образом, сначала средняя энергия электронов не меняется, но происходит модуляция энергии, т. е. пучок разбивается на слои, толщиной в половину длины волны с чередующимся отклонением энергии от начальной. Однако частицы с меньшей энергией летят медленнее, а с большей – быстрее. Поэтому «быстрые» слои догоняют «медленные». Следовательно, возникают уплотнения и разрежения – модуляция плотности. Далее повторяется то же, что было в первой половине ондулятора: одни «полуволновые» слои пучка замедляются, а другие – ускоряются, но теперь энергию теряют слои с большей плотностью частиц, а приобретают – слои с меньшей плотностью. В результате средняя энергия электронов уменьшается, а мощность электромагнитной волны растет. Такого эффекта позволяет достигнуть только очень высокое качество пучка.

В ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН впервые использовали технологию рекуперации энергии излучения. Для создания мощных ЛСЭ требуется применение особого класса электронных ускорителей – высокочастотных ускорителей-рекуператоров (УР). Ускорители-рекуператоры отличаются от других типов ускорителей тем, что заряженные частицы в них сначала ускоряются (например, в высокочастотных резонаторах), затем используются для генерации электромагнитного излучения, после чего снова замедляются, возвращая энергию в ускоряющую систему. Тем самым повышая общую эффективность системы и понижая общую стоимость установки. Так же применение УР позволяет получать большие

средние токи электронов и существенно снижает радиационную опасность установки, что является большим плюсом [7]. Один из недостатков такого ускорителя – это настройка электронно-оптической системы дорожек из-за одновременного движения по ним ускоряемого и замедляемого пучков. Поэтому была предложена схема с многократным прохождением пучка через ускоряющую систему и разделенной ускоряющей структурой.

В установке Новосибирского лазера на свободных электронах используется электростатическая пушка. Для повышения мощности была создана высокочастотная электронная пушка [8]. На ней был достигнут ток около 100 мА, учитывая, что средний ток электронов при работе 10 мА. Если в пушке заменить катодно-сеточные узлы на фотокатоды, это могло бы быть полезным для укорочения электронных сгустков и для подавления так называемых галоэлектронов.

В качестве резонатора слева и справа от ондулятора устанавливают два зеркала, волна будет циркулировать между ними и многократно проходить через ондулятор и каждый раз усиливаться.

Еще один важный элемент – зеркала резонатора. Для лазеров с малым усилением в видимом и УФ-диапазонах коэффициент зеркального отражения имеет принципиальное значение. Существуют высокие требования к коэффициенту отражения зеркал, он является решающим для ЛСЭ с малым усилением, особенно в видимом и УФ-диапазонах. Необходимо, чтобы зеркала имели устойчивое широкополосное покрытие. Получение оптимального коэффициента отражения зеркал представляет собой закрытую область исследований, но достижение $R \sim 0{,}9995$ в видимом диапазоне возможно благодаря использованию многослойных интерференционных пленок, а величину $R > 50$ % можно теперь получать для длин волн порядка $10 \times 10^{-10}$м. При большой энергии электронов мощное УФ-излучение быстро разрушает покрытие с высокой способностью к отражению. Усиление должно превышать потери в оптическом резонаторе, которые зависят от коэффициента отражения зеркал. Многослойные диэлектрические зеркала имеют высокие значения коэффициента отражения, но узкополосны и могут не выдержать большой (порядка 100 кВт) средней мощности в оптическом резонаторе, поэтому в настоящее время используются медные зеркала с золотым покрытием.

В табл. 2 приведены параметры Новосибирского ЛСЭ.

*Таблица 2*

Параметры Новосибирского ЛСЭ

| Ондулятор | | Резонатор | | Излучение | |
|---|---|---|---|---|---|
| Длина, м | 4 | Длина, м | 26,6 | Длина волны, мм | 0,12–0,24 |
| Период, мм | 120 | | | Длительность импульса, пс | 70 |
| Количество периодов | 2×32 | Радиус кривизны зеркал, м | 15 | Энергия электронов, МэВ | 15–20 |
| | | | | Средняя мощность | До 400 |
| Параметр ондуляторности | 0–1 | Диаметр выходного отверстия, мм | 8 | Минимальная относительная ширина линии | $3 \cdot 10^{-3}$ |

Таким образом, одной из важных характеристик ЛСЭ с линейным ускорителем, которую на сегодняшний день можно улучшить, является электронный КПД, который можно повысить за счет увеличения мощности излучения. К способам увеличения относятся улучшение интенсивности излучения и увеличение площади взаимодействия электронного пучка с ондуляторным излучением.

Лазеры на свободных электронах с УР конструктивно во многом улучшают показатели лазера, давая возможность получать большие средние токи электронов и существенно снижая радиационную

опасность установки. Многократное использование излучения повышает общую эффективность системы, позволяя использовать источник небольшой мощности, и снижает общую стоимость установки.

**Библиографический список**

1. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 240 с.

2. Звелто О. Принципы лазеров / Пер. Д. Н. Козлова. С. Б. Созинова, Т. А. Шмаонова. СПб.: Лань, 2008. 720 с.

3. Макаров Г. Н. Лазерная ИК-фрагментация молекулярных кластеров: роль каналов ввода и релаксации энергии, влияние окружения, динамика фрагментации. 2017. С. 241–276 с.

4. Барышев В. Б. Отчет Сибирского центра синхротронного и терагерцевого излучения за 2008–2009 годы / Ред. В. Б. Барышев, К. В. Эпштейн // ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН. 2010.

5. Рагозин Е. Н, Собельман И. И. Лазерные источники в мягкой рентгеновской области спектра // Успехи физических наук. Т. 175. № 12. 2005. 1339–1341 с.

6. Рагозин Е. Н., Собельман И. И. Продвижение лазеров на свободных электронах в рентгеновскую область спектра // Успехи физических наук. Т. 174. № 2. С. 207–208.

7. Винокуров Н. А. Лекция чл.-корр. РАН Н. А. Винокурова о лазерах на свободных электронах. Новосибирск, 2010.

8. Пат. 630090, ИЯФ СО РАН, ОНИО/ Многооборотный ускоритель – рекуператор. Винокуров Н. А. (Россия), Шевченко О. А. (Россия), Гетманов Я. В. (Россия) Р. 2010113864/07 // МПК 2006.

**УДК 535**-92

***Е. А. Коренблюм***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ

Отражающие покрытия, широко распространенные в современной физике, относятся к области светотехники и часто используются для создания отражающих поверхностей. Такие покрытия должны обладать высокой отражательной способностью как в ультрафиолетовом (УФ), так и в инфракрасном (ИК) диапазоне, иметь лучевую стойкость и необходимую механическую прочность [1].

Основная задача разработки отражающих покрытий – создание эффективной отражающей поверхности. Такое покрытие должно выдерживать высокие ударные нагрузки, большие перепады температур и иметь способность закрепиться на любую основу без потери отражающих свойств [2].

Чаще всего отражающие покрытия делаются однослойными на основе алюминия. Алюминий является самым доступным и простым металлическим покрытием и предпочтителен для УФ и видимой части спектра. С помощью алюминия создаются металлические зеркала. Такие зеркала востребованы внутри научных приборов.

Алюминиевое покрытие имеет ряд недостатков: низкий коэффициент отражения на определенных длинах волн и малый ресурс работы из-за ухудшения отражающих свойств поверхности алюминия вследствие окисления поверхности под действием мощных световых импульсов. Последний может быть источником нежелательных интерференций или поглощения и требует дополнительной защиты отражающего слоя [4].

Данный недостаток устраняется использованием специального состава, содержащего дисперсию сульфата бария в водном растворе неорганического связующего силиката натрия. Такой раствор имеет больший, чем алюминий, коэффициент отражения в области УФ-излучения. При большом количестве воды сульфат бария, имеющий большую плотность, быстро выпадает в осадок. Благодаря этому отражающее покрытие получается более прочным и плотным.

С помощью формулы Френеля [1]

$$R = \frac{(n_0 - n_2)^2}{(n_0 + n_2)^2},$$

где $n_0$ – показатель преломления первой среды, которую можно принять за воздух ($n_0 = 1$); $n_2$ – показатель преломления второй среды, можно вычислить коэффициент отражения однослойного отражающего покрытия.

Благодаря этой формуле определяем коэффициент отражения для покрытия из алюминия $R \approx 80\%$.

Существуют отражающие покрытия, состоящие из нескольких слоев [3]. Такие покрытия называются двухслойными или многослойными отражающими покрытиями. Они предназначены для защиты жизни и здоровья человека в условиях пребывания в обстановке высокого теплового воздействия, например при тушении пожара или в условиях повышенной солнечной радиации. Данные покрытия наносятся при изготовлении защитных стекол масок пожарных, металлургов и наружных слоев пожарных костюмов.

Основная задача многослойных отражающих покрытий – увеличение коэффициента ослабления теплового излучения, повышение механической и химической стойкости, а также снижение температуры подложки при нанесении оксидной защитной пленки, например на полимерных подложках.

Данная задача достигается тем, что в отражающем покрытии, содержащем два слоя, один из которых выполнен из серебра на подложке, а другой из оксида металла, нанесенного на серебро, в качестве оксида металла использован оксид титана или оксид циркония [5]. Нанесение слоя серебра на подложку обеспечивает высокий коэффициент отражения, а слой оксида титана или циркония защища-

ет серебряный слой от механических повреждений и увеличивает его химическую стойкость в соответствии с их механическими и химическими свойствами.

Благодаря формуле Френеля определяем коэффициент отражения для многослойного покрытия из серебра $R \approx 95\%$.

Делая вывод, можно сказать, что существует множество отражающих покрытий, эффективных в широком интервале спектра. Существующие покрытия стабильны и могут быть использованы для работы приборов в течение нескольких лет как на воздухе, так и в вакууме. Также они позволяют увеличить коэффициент ослабления теплового излучения, повысить механическую и химическую стойкость покрытия.

**Библиографический список**

1. Головнер Т. М., Колтун М. М. Оптика и спектроскопия. Т. XXXI. Вып. 5. 1966. С. 631–637.

2. Волков В. Г. Лазерные осветители и целеуказатели для приборов ночного видения. Специальная Техника. 2002. Вып. № 2.

3. Кокс Д. Т., Хасс Г. Физика тонких пленок / Пер. с англ. Т. II. М.: Мир, 1967. С. 186–253.

4. Оптические покрытия. URL: http://www.tydexoptics.com/pdf/ru/Optical_Coatings_ru.pdf.

5. Фурман Ш. А. Тонкослойные оптические покрытия. Л.: Машиностроение, 1977. 264 с.

**УДК 550.388.2**

***В. Е. Морозов***
студент кафедры радиотехнических систем
***Д. В. Благовещенский***
доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

## ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА

Геомагнитные бури – возмущение магнитного поля Земли длительностью от нескольких часов до нескольких суток, вызванное поступлением в окрестности Земли возмущенных высокоскоростных потоков солнечного ветра и связанной с ними ударной волны. Геомагнитные бури происходят в основном в средних и низких широтах Земли.

Замечено, что геомагнитные бури способны повлиять на многие сферы деятельности человека. Они влекут за собой нарушение связи, систем навигации космических кораблей и даже могут привести к разрушению энергетических систем. Посмотрим, чем и каким образом космос может воздействовать на жизнедеятельность на Земле.

Геомагнитные бури действуют на кровь и таким образом оказывают влияние на систему микроциркуляции. Кровь представляет собой достаточно сложную по составу и по свойствам отдельных составляющих жидкость, среду, характеризующуюся физико-химическими свойствами, такими как вязкость, осмотическое давление, ионная сила, окислительно-восстановительный потенциал, pH и др. Если организм здоров, все основные характеристики крови могут меняться только в незначительных пределах, фактически их можно считать весьма стабильными. Если обмен веществ сильно меняется, кровь не может сохранить свои характеристики неизменными.

Таким образом, под действием внешних и внутренних причин, когда кровь не может адаптироваться к новым условиям, происходят изменения ее физико-химических характеристик. Дискомфорт организма в новых, неблагоприятных условиях быстрее всего почувствует именно кровь. Клетка – электрическое сооружение, по крайней мере, все ее функции (в частности, обмен с внешним миром) контролируются электрическими зарядами, электрическим потенциалом. Нервная система человека – тоже электрическая система. Основные свойства и функции крови также связаны с электричеством. Основной электрохимический ее параметр – pH – определяется количеством положительных электрических зарядов, переносимых положительными ионами гидроксидов НО. Сдвиг в соотношении электрических зарядов в ту или другую сторону очень нежелателен для организма, он приведет и в том и в другом случае к серьезным нарушениям в его функционировании.

Для нормальной работы организма суммарный электрический заряд всех ионов должен быть равен нулю.

Электрическая система, каковой является наша кровь, не защищена от действия электрических и магнитных полей. В опытах над животными было показано, что электрический заряд поверхности клетки, а также электрический потенциал поперек мембраны клетки остаются неизменными при действии на клетки ткани крови и органов таких факторов, как температура, ионизирующая радиация, биологические вещества.

Совсем иначе обстоит дело при действии на человека электромагнитных полей, в результате которого изменяются физико-химические характеристики крови и элементов, из которых она состоит. Причем изменение свойств крови может происходить и вследствие действия электромагнитных полей на центральную нервную систему организма, железы внутренней секреции и т. д.

Данные показали, что у больных с хроническими неспецифическими заболеваниями легких во время геомагнитных бурь и при усилении импульсного электромагнитного поля снижаются естественные показатели жизненной емкости легких и пневмотахометрия, уменьшается систолическое давление. Под действием геомагнитной бури в крови этих больных повышается содержание гепарина и увеличивается фибринолитическая активность. Последствия бури для больных туберкулезом легких выражаются в учащении случаев обильных легочных кровотечений, которые приводят к смертельному исходу. Усиление импульсного электромагнитного поля сопровождается учащением кровохарканий в 1,5 раза.

Больные по-разному реагируют на солнечные и геомагнитные бури. Это различие обусловлено прежде всего состоянием организма, запасом прочности. Известно, что запас прочности зависит от адаптационных возможностей организма к новым условиям, в данном случае к условиям геомагнитной бури. Здоровый организм после получения сигнала об изменении внешних условий перестраивает свою работу в соответствии с потребностями нормального функционирования в изменившихся условиях. Информация, видимо, исходит от импульсного электромагнитного поля. При наличии хронической патологии безболезненно перестроиться организм не может. В этом случае больной предчувствует изменения погоды, которые приходят с началом действия электромагнитных полей. Иными словами, чем плачевнее состояние организма, тем раньше он предчувствует дискомфорт, наступающую геомагнитную бурю и тем губительнее ее действие.

Адаптация организма к новым условиям происходит путем перестройки биоритмов, когда условия меняются (во время геомагнитных возмущений и бурь), нарушаются и биоритмы, а значит, и адаптационные возможности организма (особенно больного). Во время геомагнитных бурь изменяется также суточный ход величины емкости легких, она увеличивается в 11 и 15 часов и несколько снижается в 19 и 23 часа. При отсутствии геомагнитных бурь максимальная величина жизненной емкости легких наблюдается в другое время суток (в 7 и 19 часов). Акрофаза пневмотахометрии выдоха приходится на 15 часов во время магнитных бурь, тогда как в спокойных условиях она наступает на 4 часа раньше. Все это подтверждает нарушение биоритмов во время геомагнитных бурь и уменьшение адаптационных возможностей организма (особенно больного).

Число инфарктов миокарда растет первые двое суток после начала геомагнитной бури. Затем может произойти снижение тромбопластической активности и увеличение концентрации антитромбинов. В результате на 3–4-е сутки после начала геомагнитной бури начинается кровотечение. Больные, страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями (активной формой ревматизма, атеросклерозом, гипертонической болезнью и др.), наиболее подвержены действию геомагнитных бурь в смысле тромбогеморрагических реакций. Существует возможный способ защиты сердечно-сосудистых больных от магнитных бурь. Нужно поместить пациентов в особо оборудованную электромагнитно-экранированную палату, где индукция геомагнитного поля снижалась в 4,5 раза (во столько же раз уменьшилась амплитуда геомагнитных микропульсаций). Пациенты помещались в палату сразу после начала магнитной бури и находились там в среднем чуть более двух суток. По ряду показателей их состояние заметно улучшалось. Особенно важно, что нормализовались их показатели циркуляции крови в капиллярах: соответствующий индекс при повышенной магнитной активности составлял 6,6±1,1 вне экранированной палаты, к концу пребывания в палате он снижался до 3,8±0,8 [1].

В нашей стране и за рубежом проводились исследования влияния этого космического фактора на функционирование человеческого организма, в частности, на степень выраженности доминирующего психопатологического синдрома (ППС). Была установлена связь между степенью выраженности психопатологического синдрома, секторной структурой межпланетного магнитного поля и геомагнитной активностью. Колебания этого параметра (степени выраженности психопатологического синдрома) происходят одновременно, синхронно. Это свидетельствует о том, что они обусловлены одной и той же причиной. В отдельных случаях они происходят в противофазе, но по времени всегда совпадают.

Было установлено, что этот параметр имеет минимальное значение до пересечения Землей границы между секторами межпланетного магнитного поля (ММП). Он достигает наибольшей величины в первый день нахождения Земли в новом секторе.

Солнечная активность влияет на скорость окислительно-восстановительных реакций, в периоды возрастания солнечной активности скорость окисления увеличивается. Известно, что с окислительно-восстановительными реакциями (которые обусловлены переносом электронов) связаны деление клеток, проницаемость клеточных мембран, биоритмы, ферментативный катализ реакций энергетического, углеводного, белкового и липидного обменов, свертывание крови, функция нейрорецепторов и др. Многочисленные эксперименты показали, что скорость окисления тиоловых соединений зависит от солнечной активности.

Под влиянием солнечных бурь в клетках и тканях живых организмов появляются частицы с высокой степенью сродства к электронам, способные надежно захватывать электроны. Эти вещества называются акцепторами. Но в клетках имеются и доноры электронов. Поэтому во время солнечных бурь (после хромосферных вспышек) в клетках живого организма создаются особенно благоприятные усло-

вия для донорно-акцепторных взаимодействий, которые являются наиболее распространенными и очень важными биологическими взаимодействиями. Ведь регуляция различных функций клетки происходит путем изменения равновесия между акцепторами и донорами электронов.

Учеными ряда стран было доказано, что число несчастных случаев и травматизма на транспорте увеличивается с ростом солнечной активности.

Суть полученных результатов сводится к тому, что с увеличением солнечной и магнитной активности нормальное функционирование человеческого организма, в частности его центральной нервной системы, затрудняется, увеличивается время реакции на внешний световой или звуковой сигнал. У водителей, пешеходов, операторов в это время появляются своего рода заторможенность, медлительность, ухудшается сообразительность. Увеличивается вероятность принятия неверных решений. Все это относится к практически здоровым людям. Но во время солнечных и магнитных бурь изменяется состояние и больных людей, в том числе и страдающих психическими заболеваниями.

Различают два вида метеочувствительности. Прежде всего, это сезонные заболевания, которые обостряются или проявляются в определенные периоды года. Таковы язвенная болезнь желудка, острые респираторные заболевания и др. Не меньшее значение имеют и метеопатологические реакции – провоцирование хронических заболеваний в ответ на изменение погоды. Основной «датчик погоды» находится в отделе мозга, называемом гипоталамусом. Последний управляет вегетативной нервной системой, влияя на все органы и системы. Следовательно, чувство погоды – это своеобразный невроз.

Как известно, больные люди переносят капризы погоды и перемену климата особенно тяжело, при том или ином заболевании по-своему. Врачи-климатологи различают пять типов погодных условий, влияющих на здоровье человека:

индифферентный, с незначительными колебаниями метеоусловий – когда человек не ощущает никакого влияния погоды на свой организм;

тонизирующий – когда перемена погоды благоприятно влияет на людей, особенно на больных с хронической кислородной недостаточностью, с артериальной гипотонией, болезнью сердца, хроническими бронхитами;

спастический тип проявляется во время резкого похолодания, когда атмосферное давление растет и содержание кислорода в воздухе значительно увеличивается. Тогда у людей с повышенным артериальным давлением могут появляться головные и сердечные боли, вызванные спазмами сосудов;

гипотензивный тип погоды проявляется, когда в воздухе уменьшается количество кислорода: тогда у больных снижается тонус сосудов, гипертоники, например, чувствуют себя лучше в это время – давление у них понижается;

пятый тип погоды – гипоксический, когда наступает потепление и содержание кислорода опять же снижается. У людей в такие дни появляется и обостряется кислородная недостаточность [2–3].

В заключение можно сказать, что крайне сложно представить, насколько большую роль во всех сферах жизни человека может играть влияние геомагнитных бурь, из-за них возможно даже нарушение телефонной связи и увеличение шанса автокатастроф, как бы странно это ни звучало. Вся суть в том, что каждый человек на магнитные бури реагирует по-своему, а на определенную группу людей магнитные бури и вовсе никак не влияют.

**Библиографический список**

1. Лазутин Л. Л. Мировые и полярные магнитные бури. М., 2012. 208 с.

2. Соловьева В. А. Магнитные бури и ваше здоровье. М.: АСТ; СПб.: Астрель-СПб, 2007. 64 с.

3. Мизун Ю. В., Мизун Ю. Г. Пережить магнитные бури и остаться здоровым. М.: Центрполиграф, 2011. 240 с.

**УДК 681.586.57**

***Е. С. Самарзанова***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЫ

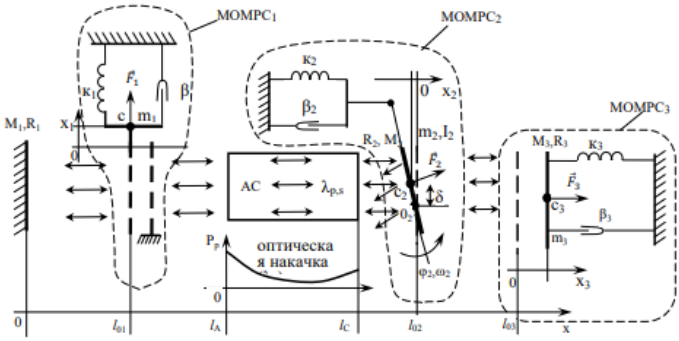
За последние два десятилетия достигнут существенный прогресс в области технологий мехатроники, волоконной и интегральной оптики, открывающих возможности для создания нового класса многофункциональных устройств на основе микрооптомеханических систем, совмещающих в себе функции оптических и механических устройств, сенсорных элементов датчиков, в которых управление характеристиками оптического излучения осуществляется исключительно оптическими методами. В отличие от известных и широко применяемых устройств на основе микроэлектромеханических систем в данном случае управление осуществляется бесконтактным методом и без использования каких-либо электрических цепей, сигналов, что существенно расширяет функциональные возможности микрооптомеханических резонансных систем (МОМРС) и области их применений.

С позиций теории упругости микрооптомеханические резонансные системы представляют собой (как и любые физические тела) распределенные колебательные системы, обладающие большим набором мод собственных упругих (акустомеханических) колебаний, характеризующихся широким спектром собственных частот, декрементов затухания (добротностей) и форм собственных колебаний, которые могут возбуждаться за счет энергии лазерного излучения. Характеристики лазерного излучения, взаимодействующего с МОМРС, могут модулироваться вследствие микроперемещений (колебаний) и деформаций МОМРС; изменения компонент комплексного тензора диэлектрической проницаемости материала из-за механических напряжений в материале (фотоупругости), вызванных оптомеханическими силами, возникающими вследствие пондеромоторных или параметрических эффектов в поле световой волны.

Микроосцилляторы могут быть реализованы как в виде сосредоточенных (дискретных) элементов, в которых оптическое излучение взаимодействует лишь с локальной (ограниченной) областью МОМРС, так и в виде протяженной (распределенной) системы, например в виде микроструктурированного волновода с собственными частотами, достигающими 2 ГГц. С помощью МОМРС осуществляется модуляция ряда характеристик световой волны (амплитуды, частоты, фазы, состояния поляризации, направления волнового вектора), при этом некоторые из них могут модулироваться одновременно. При этом возможности селективного или одновременного возбуждения различных мод колебаний (КЭ), разнообразие их форм и нелинейное взаимодействие мод существенно расширяют спектр возможностей для модуляции характеристик излучения.

Прогресс в технологии микросистем (мехатроники) и лазерной физики (в особенности, в области ВЛ), достигнутый за последние 10–15 лет, открывает возможности для реализации уникальных условий для взаимодействия лазерного излучения с принципиально новыми (искусственными) многофункциональными объектами, в частности с микроосцилляторами, которые существенно влияют как на условия, так и на динамику генерации лазеров. Такое взаимодействие наиболее эффективно и доступно для реализации именно в волоконных лазерах, в которых роль оптоволоконного микроосциллятора может играть, например, участок внутрирезонаторного специального световода, либо же МОМРС в микрооптическом исполнении, играющий, например, роль зеркала лазерного резонатора.

Взаимодействие лазерного излучения с МОМРС обусловлено тем, что, с одной стороны, фотоиндуцированные деформации и напряжения в МОМРС, влияющие на ее оптические свойства, существенно зависят от параметров падающего (распространяющегося) лазерного излучения, с другой – характеристики генерируемого излучения существенно определяются в том числе оптическими свойствами МОМРС – элемента лазерного резонатора, что приводит к возникновению взаимной связи в лазерной системе ВЛ-МОМРС (см. рисунок).




Обобщенная физическая модель ВЛ-МОМРС

В предложенной модели микроосцилляторы (МОМРС1, 2, 3) рассматриваются в приближении однорезонансных колебательных систем с демпфированием, при этом коэффициенты жесткости и трения ($k_{1,2,3}$, $\beta_{1,2,3}$) могут содержать нелинейные поправки, позволяющие учитывать ангармонизм и неизохронность колебаний микроосцилляторов.

При изучении «низкочастотной» динамики ВЛ-МОМРС с характерными временами, существенно превышающими время полного обхода резонатора, в зависимости от характера задачи и необходимой точности решения ВЛ целесообразно рассматривать как сосредоточенную (точечную) систему, динамику которой можно описать с помощью обыкновенных дифференциальных уравнений для величин, усредненных по длине резонатора (приближение балансных уравнений). Условия и рамки такого приближения в различных случаях: одномодовый одночастотный (многочастотный); однородное (неоднородное) уширение; поперечно (поляризационно) многомодовый.

Динамика ВЛ-МОМРС описывается системой

$$\begin{aligned} \dot{\Phi} &= \mathrm{v}\cdot\mu\cdot\left[K_{\mathrm{y}}(U)\cdot N - K_{\Pi}(U)\right]\cdot\Phi + \varepsilon_{SP}, \\ \dot{N} &= D\cdot\left(N_{0p} - N\right) - B\cdot\Phi\cdot N, \\ \ddot{U} &+ \frac{\omega_0}{Q}\cdot\dot{U} + \omega_0^2\cdot U = \frac{1}{m}\cdot F, \end{aligned} \qquad (1)$$

где Ф – средняя по объему резонатора плотность фотонов; $K_y(U)$ – коэффициент усиления, зависящий от колебаний микроосциллятора вследствие свипирования собственных частот резонатора относительно Лоренцевского контура усиления АС; $\dot{N}$ – инверсия населенности в АС; $N_{0p}(R_p)$ – ненасыщенная инверсия, определяется скоростью накачки; $U = U(t)$ – смещение из положения равновесия (колебания) микроосциллятора с собственной круговой частотой, добротностью и эффективной массой; $F = F(\Phi(t))$ – эффективная фотоиндуцированная сила, действующая на МОМРС.

Важно подчеркнуть, что представленные уравнения являются достаточно универсальными.

Коэффициент потерь составляет

$$K_{\Pi} = p + \frac{1}{l}\left(\Pi - \frac{1}{2}\ln\left(R1R2\right)\right), \qquad (2)$$

где $p$ – учитывает нерезонансные распределенные потери в волоконном резонаторе (включая АС); $\Pi = \Pi_{\text{м}}(U) + \Pi_0$ – суммарные дискретные внутрирезонаторные потери, обусловленные в том числе внутрирезонаторной МОМРС.

Эффективный коэффициент отражения микроосцилляторного зеркала определяется формулой

$$R2(U) = R_{\text{M}}\cdot\xi(U). \qquad (3)$$

Современные технологии мехатроники и волоконной оптики открывают возможности для создания МОМРС как в микрообъемном (микрооптическом), так и в оптоволоконном (волноводном) исполнении из широкого круга материалов (диэлектриков, полупроводников, металлов). Существует широкий круг физических эффектов и явлений (пондеромоторное действие, параметрические эффекты), которые могут лежать в основе механизмов лазерного возбуждения упругих волн и колебаний в МОМРС. Имеется целый класс механизмов возбуждения, не связанных с поглощением излучения, которые являются практически безынерционными.

Предложена математическая модель лазерных систем ВЛ-МОМРС, в которых как ВЛ, так и МОМРС рассматриваются как распределенные системы.

**Библиографический список**

1. MOEMS Technologies and Applications. SPIE PRESS. 2000. Vol. PM85. 516 p.

2. Васильев А., Лучинин В., Мальцев П. Микросистемная техника. Материалы, технологии, элементная база. 2000. № 4. С. 3–11.

3. Резнев А. А., Вернер В. Д. Тенденция развитии МЭМС. М. 2010.

4. Микросистемная техника. URL: www.microsystems.ru.

5. Mohamed Gad-el-Hak. The MEMS handbook. CRCPress, 2002. 1368 p.

**УДК** 623.746.4-519

***Ю. В. Сухарев***
магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов
***В. Г. Никитин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

В настоящее время малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБПЛА) нашли широкое применение во многих отраслях жизнедеятельности человека. Повсеместное внедрение МБПЛА, от военных, предназначенных для ведения боевых действий без участия (или с минимальным участием) человека, до МБПЛА для простого мониторинга местности. С расширением круга задач расширились и требования, предъявляемые к МБПЛА. Одним из наиболее важных параметров является качество управления, и в данной работе будет рассматриваться влияние датчиков на качество управления:

– быстродействие системы автоматического управления (САУ);
– запаздывание САУ;
– устойчивость или помехозащищенность САУ;
– точность САУ.

В работе приведено влияние акселерометра, для этого было проведено моделирование математической модели акселерометра российского производства (АТ-1104) и зарубежного образца (ADXL-325). Рассмотрим два случая – идеальный (без помехи) и приближенный к реальности (с помехой в виде белого шума с интенсивностью 0.0025).

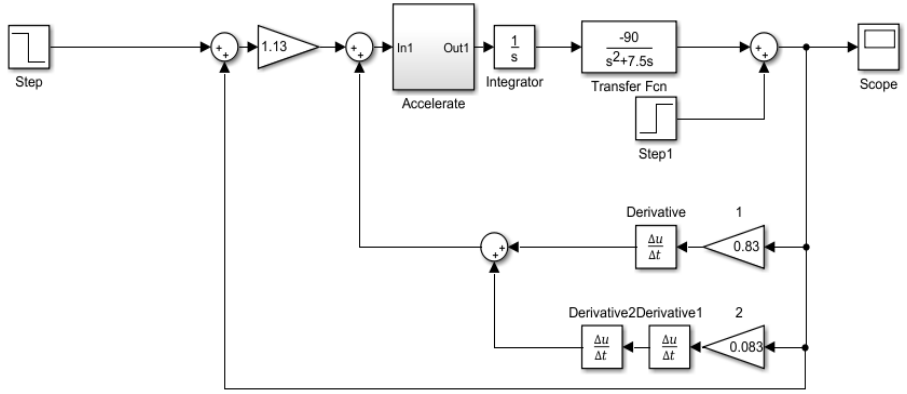



Рис. 1. Схема моделирования управления МБПЛА по каналу крена

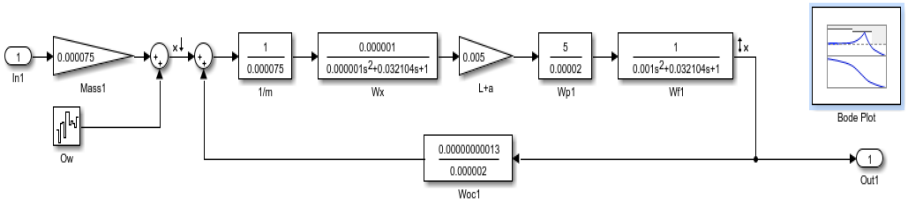
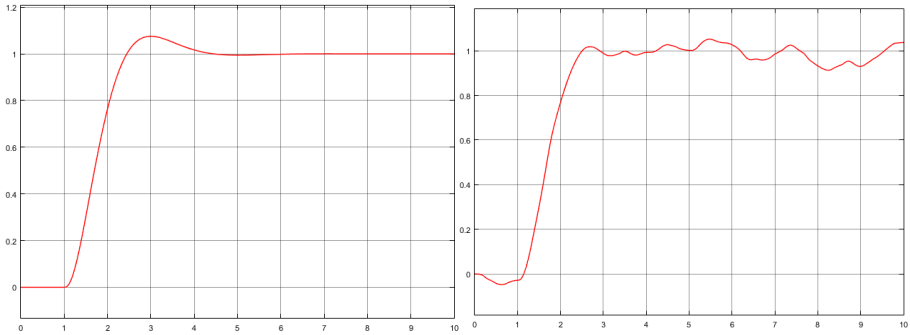



Рис. 2. Схема моделирования отечественного акселерометра АТ-1104



а) б)

Рис. 3. Графики переходного процесса (ПП):
а) без ошибки (идеальный случай); б) с ошибкой (приближенный к реальному)

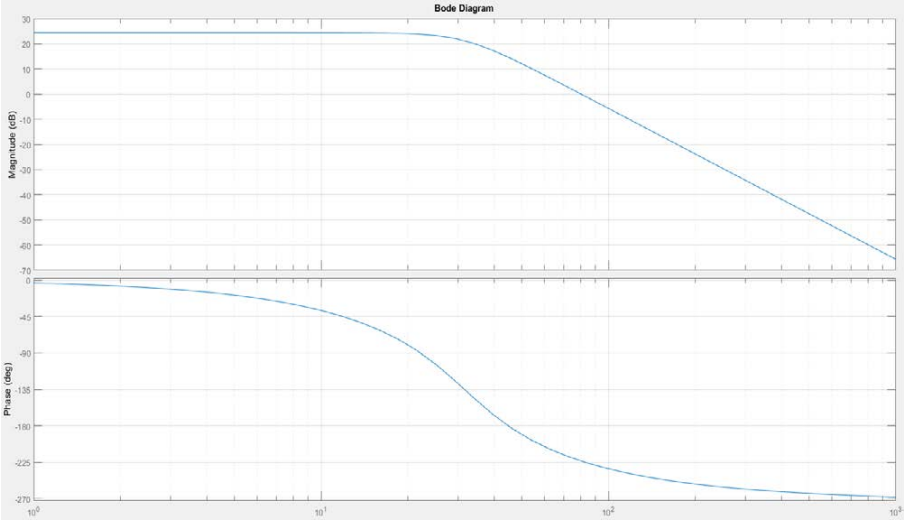



Рис. 4. Амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики канала крена

Исходя из графиков АЧХ и ФЧХ (рис. 4), можно сделать вывод об устойчивости системы. Наклон составляет -20 дБ/Дек, что является устойчивым состоянием апериодического звена первого порядка, которое и описывает объект управления. Исходя же из графиков переходного процесса (рис. 3), можно сделать вывод, что система имеет высокое быстродействие (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 2 с) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса не увеличилась, однако сама его форма стала хуже. Точность САУ следует также из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим в значение 1 – процесс продолжает оставаться в зоне ±10%.

Далее перейдем к моделированию зарубежного акселерометра ADXL-325. Схема моделирования САУ изменена не будет, что наглядно продемонстрирует разницу между акселерометрами без влияния самой структуры САУ МБПЛА. Моделирование будет проводиться по тому же принципу: сначала рассматривается идеальный случай без ошибок, затем вводится ошибка в виде белого шума с заданной интенсивностью и моделирование проводится повторно.

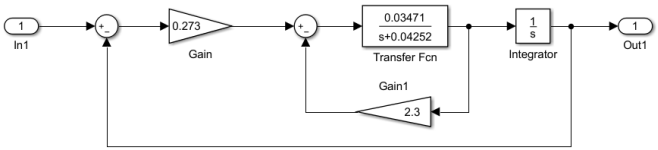
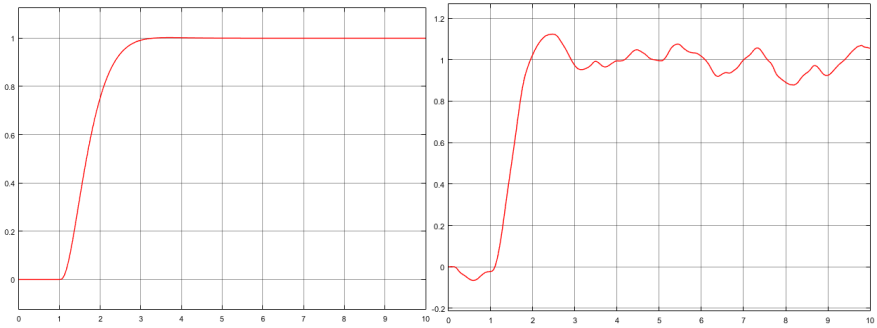



Рис. 5. Схема моделирования акселерометра ADXL-325



а) б)

Рис. 6. Графики переходного процесса (ПП):
а) без ошибки (идеальный случай); б) с ошибкой (приближенный к реальному)

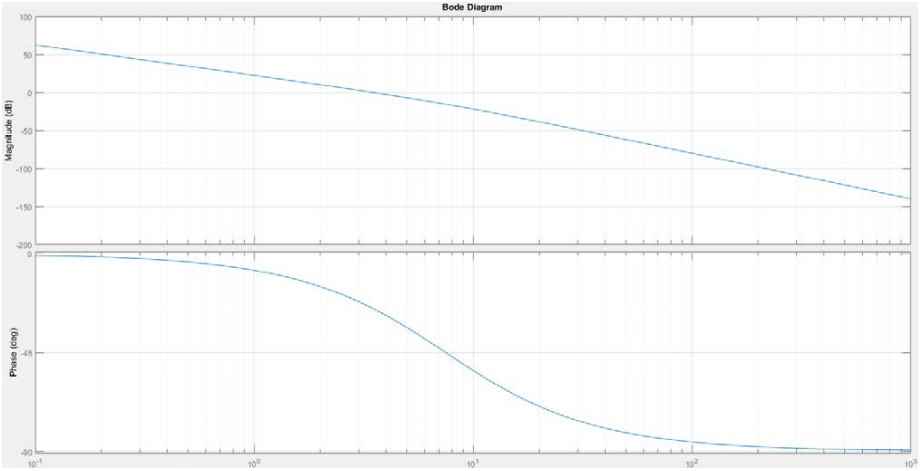



Рис. 7. Амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики канала крена

Исходя из графиков АЧХ и ФЧХ (рис. 6) можно сделать вывод об устойчивости системы. Наклон составляет -20 дБ/Дек, что является устойчивым состоянием апериодического звена первого порядка, которое и описывает объект управления. Исходя же из графиков переходного процесса (рис. 3), можно сделать вывод, что система имеет высокое быстродействие (длительность перехода в устоявшийся режим составляет приблизительно 1,5 с, что быстрее, чем у отечественного аналога) и о помехозащищенности, так как даже с учетом помехи длительность переходного процесса увеличилась незначительно (до 2 с, что также сопоставимо с отечественным аналогом), однако сама его форма стала го-

раздо хуже. Точность САУ также следует из приведенных графиков, так как после перехода в устоявшийся режим в значение 1 – процесс продолжает оставаться в зоне ±10%.

В работе была исследована зависимость качества управления угловой ориентацией МБПЛА в зависимости от параметров датчиков, входящих в состав САУ и систем управления (СУ). Были проведены сравнения отечественных и зарубежных аналогов акселерометров, сравнения переходных процессов, АЧХ и ФЧХ данных акселерометров. По итогам моделирования можно сказать, что отечественный акселерометр уступает зарубежному аналогу, однако является более дешевым и для выполнения многих задач, где не требуется повышенная точность (сельское хозяйство, СМИ, доставка), подойдет лучше из соображений экономии средств на производстве МБПЛА. Однако в задачах, где требуется повышенная точность (военные цели, мониторинг местности), гораздо целесообразнее использовать зарубежный акселерометр.

Также видно, что отечественные и зарубежные аналоги имеют высокую устойчивость к ошибкам (помехозащищенность). Влияние ошибки на качество переходного процесса значительно ухудшает его, но не его характеристики (время перехода в устоявшийся режим, величину перерегулировки). Время перехода в устоявшийся режим увеличивается не более чем на 10%, величина перерегулировки не изменяется более чем на 5% по сравнению с идеальным случаем.

Это также свидетельствует о малой величине запаздывания САУ, несмотря на наличие ошибки (длительность перехода в устоявшийся режим приблизительно составляет 2 секунды). Согласно графикам АЧХ и ФЧХ, можно сделать выводы об устойчивости системы. Наклон составляет -20 дБ/Дек, что является свидетельством устойчивости апериодического звена 1-го порядка, которое описывает объект управления (сам МБПЛА).

Система автоматического управления с зарубежным акселерометром, исходя из графиков переходных процессов (см. рис. 3, рис. 6), является более точной, чем САУ с отечественным акселерометром. Величина перерегулировки у зарубежного датчика стремится к 0, у отечественного – к 0.7. Разница незначительная, но является свидетельством того, что параметры САУ зависят от датчиков, входящих в его структуру.

**Библиографический список**

1. Распопов В. Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.

2. Биард Рэндал У., Мак Лейн Тимоти У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: Техносфера, 2015. 312 с.

**УДК 535.37**

***А. Л. Тимофеев***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛА НА ПРОЦЕССЫ ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ В ЛЮМИНОФОРАХ

Большой интерес для исследования вызывает влияние наночастиц (НЧ) металла на излучательные и безызлучательные процессы в молекулах люминофоров. Актуальность исследования вызвана тем, что люминофоры широко применяются в нанофотонике, оптических приборах, различных оптоэлектронных датчиках, биологических сенсорах и т. д. Зная фотофизические свойства взаимодействия наночастиц с разными объектами и молекулами, можно управлять различными процессами переноса энергии между ними.

Рассмотрим общие причины и суть процесса влияния металлической поверхности на близко расположенную молекулу люминофора и изменение электронных процессов, возникающих в ней под действием внешнего излучения.

При падении электромагнитной волны на металлическую поверхность не только наблюдается поле отраженной волны, но и возникает локальное электрическое поле, модифицированное шероховатой поверхностью наночастицы металла, размерами много меньше длины волны падающего света. Вне частицы величина фактора локального поля быстро спадает с увеличением расстояния от наночастицы, поскольку в целом определяется полем колебаний свободных электронов, возбужденных падающим излучением [1].

Возникающее локальное поле вблизи элемента неровности металлической поверхности описывается выражением

$$E_{loc}(\omega) = L(\omega)E_0, \tag{1}$$

где $L(\omega)$ – фактор локального поля, описывается следующим выражением:

$$L(\omega_{res}) = \left|\varepsilon'_m(\omega)\right| / \varepsilon''_m(\omega), \tag{2}$$

где $\varepsilon'_m$ , $\varepsilon''_m$ – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости металлической сферы соответственно; $E_0$ – напряженность поля падающей электромагнитной волны.

В фотофизических процессах участвуют непосредственно не сами частицы металлов, а генерируемые в них в оптическом диапазоне квазичастицы – плазмоны. Именно плазменные колебания образуют электрическое поле [2].

Поверхностные плазмоны могут возникать только на шероховатых поверхностях молекул или наночастиц (рис. 1).

Рис. 1. Элемент поверхности с генерацией и распространением поверхностных плазмонов

Перенос энергии от НЧ к молекуле может осуществляться как при резонансном, так и нерезонансном фотовозбуждении. При резонансном фотовозбуждении энергию излучения источника поглощает и НЧ, и молекула. При нерезонансном возбуждении полученная молекулой энергия передается наночастице [3]. Наиболее эффективный механизм переноса энергии – резонансный.

При полном преобразовании падающей волны в поверхностные плазмоны плотность локального поля может возрасти до $10^2 \div 10^3$ степени.

В НЧ плазмонные колебания проявляются на поверхности, поэтому огромное значение имеет геометрия и морфология НЧ [4]. Следует отметить, что плазмонные волны распространяются только в присутствии диэлектрика, поэтому важное значение имеют его оптические свойства.

Максимум плазмонного резонанса зависит от размеров и формы НЧ, шероховатости металлической поверхности, формы элементов шероховатости. С увеличением размеров НЧ максимум плазмонного поглощения смещается в длинноволновую область. Скорость распространения плазмонных волн и время релаксации зависят от среды, в которой осуществляется генерация плазмонов [5].

Таким образом, к основным параметрам, которые влияют на плазмонный резонанс, можно отнести форму и размеры НЧ. Именно благодаря плазмонной энергии происходит ускорение химических и фотохимических реакций, что приводит к возрастанию эффективности переноса энергии в отдельных системах.

**Библиографический список**

1. Климов В. В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009. 480 с.

2. Дударь С. С., Свешникова Е. Б., Ермолаев В. Л. Сенсибилизация флуоресценции молекул красителей в наночастицах из комплексов металлов // Оптика и спектроскопия. 2010. Т. 109. № 4. С. 605–617.

3. Болдов, И. А., Плеханов А. И. Оптоволоконный химической сенсор на соединении аминного типа // Физика твердого тела. 2011. Т. 53. № 6. С. 1088 – 1090.

4. Акципетров О. А. Гигантские нелинейно-оптические явления на поверхности металлов // Соровский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 7. С. 109–116.

5. Слежкин В. А., Горлов Р. В. Плазмонный резонанс в сплошных серебряных электрохимических и химических пленках и его проявление в спектрах флуоресценции молекул родамина 6Ж в тонких пленках поливинилового спирта // Известия КГТУ. 2011. № 20. С. 115–122.

**УДК 550.388.2**

***Н. Ю. Филиппов***
студент кафедры информационных технологий и защиты информации
***Д. В. Благовещенский***
доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕР ДТП В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В работе рассматривается влияние степени возмущения магнитного поля Земли на вероятность дорожно-транспортных происшествий в г. Санкт-Петербург. В определенной мере сами ДТП зависят от состояния водителей транспортных средств. Как известно, люди, подвергающиеся воздействию магнитных возмущений, испытывают отклонения от нормального физического состояния. Эти отклонения могут быть причиной ДТП. Здесь рассмотрен сравнительно короткий срок по времени – сентябрь 2017 года, когда магнитные возмущения были достаточно интенсивными. Степень магнитной возмущенности определяется посредством Kp-индекса. Kp-индекс вычисляется как среднее значение K-индексов. В свою очередь, K-индекс – это квазилогарифмический индекс, вычисляемый по данным конкретной обсерватории за трехчасовой интервал времени. K-индекс представляет собой значения от 0 до 9 для каждого трехчасового интервала. Для вычисления индекса берется изменение магнитного поля за трехчасовой интервал, из него вычитается регулярная часть, определяемая по спокойным дням, и полученная величина по специальной таблице переводится в K-индекс. Если ΣKp за сутки менее 15, то условия слабо возмущенные. При 15 > ΣKp < 25 условия средне возмущенные, и при ΣKp > 25 имеет место возмущение. Ниже представлены графики зависимости количества аварий (ось *y*) от степени возмущенности магнитного поля по Kp-индексу (ось *x*). Анализ данных показал, что влияние магнитных возмущений на количество ДТП носит вполне определенный, устойчивый характер. Материалы для анализа количества дорожно-транспортных происшествий были взяты с сайта https://www.megapolisonline.ru, где представлены все произошедшие дорожно-транспортные происшествия на дорогах Санкт-Петербурга.

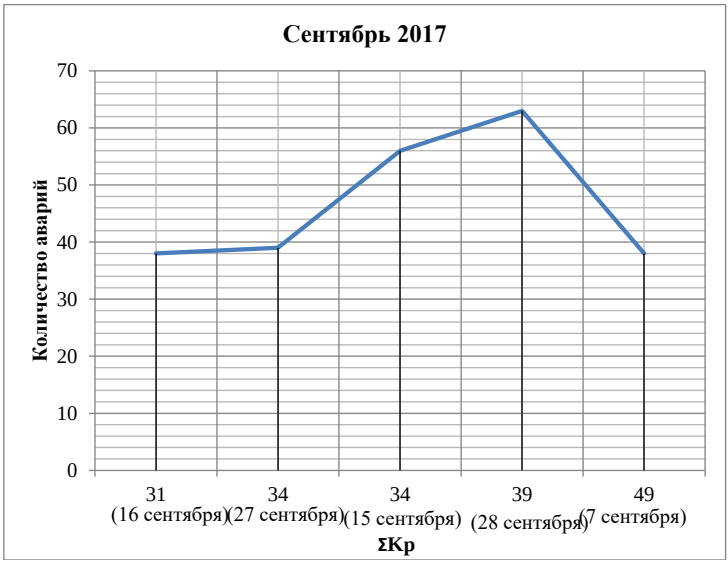



Рис.1.

Из рис. 1 можно видеть рост числа ДТП в зависимости от роста ΣКр до значения ΣКр = 39. После чего наблюдается спад числа ДТП. Этот спад скорее всего вызван следующим. С ростом магнитной возмущенности организм человека расслабляется, и он становится невнимательным, но до определенного предела. После чего с ростом магнитной активности его внутренние ресурсы мобилизуются, и человек становится более внимательным и осторожным. Здесь, скорее всего, действует принцип – каждое действие вызывает противодействие, а также дополнительно работает инстинкт самосохранения.

Рис. 2

Из рис. 2 видно, что в дни наиболее высокой аварийной ситуации на дорогах индекс ΣКр постепенно возрастал. Наиболее интересным является участок за 27-28 число. График на этом интервале достигает своего локального максимума, и необходимо заметить, что количество аварий на дорогах Санкт-Петербурга достигло 34 и рекордных 63 аварий соответственно. Из рис. 2 также можно видеть следующее. Наиболее часто аварии за сентябрь в среднем случались при ΣКр порядка 25 и менее. Что соответствует числу ДТП порядка 30. Однако в сильно возмущенные дни эта цифра возрастает до 60 и более. То есть в эти особые дни происходит рост числа ДТП в два и более раз. Этот факт по Санкт-Петербургу был ранее доказан статистически и известен. И последнее, степень схожести двух кривых на рис. 2 был оценен с помощью коэффициента корреляции, который оказался равным 0,745. Поскольку эта цифра весьма велика, то с уверенностью можно говорить о достаточно высокой связи числа дорожно-транспортных происшествий и степени магнитной активности.

В заключение следует отметить, что для предотвращения роста количества ДТП при геомагнитных возмущениях следует оповещать водителей и непосредственно участников дорожного движения о грядущей возмущенности.

**Библиографический список**

1. Мегаполис – городская сеть информирования и взаимопомощи. URL: https://www.megapolisonline.ru.

2. Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism Graduate School of Science. URL: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp.

**УДК** 536.521.3

***А. С. Хомутов***
магистрант кафедры *радиотехнических и оптоэлектронных комплексов*
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## БОЛОМЕТР НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДНИК-ИЗОЛЯТОР-НОРМАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛ-ИЗОЛЯТОР-СВЕРХПРОВОДНИК

В настоящее время от болометров требуются высокоточные измерения температуры. Новые разработки позволяют измерять температуру достаточно точно. В данной статье внимание будет уделено новому типу болометров на основе структуры сверхпроводник-изолятор-нормальный металл-изолятор-сверхпроводник (СИНИС структура).

Принцип действия болометра основан на изменении сопротивления термочувствительного элемента вследствие изменения температуры под воздействием потока электромагнитной энергии. Основной компонент болометра, тонкая пластина с большим коэффициентом поглощения. Чем тоньше пластина, тем быстрее она нагревается и меняет свое сопротивление. Для высокоточных измерений пластину подсоединяют в мостовую схему, которую балансируют при отсутствии засветки. Для определения энергии источника $W_x$ по относительному изменению сопротивления пластины $R$ в результате ее нагрева излучением при постоянном токе через болометр имеем:

$$\Delta U/U_0 = \Delta R/R_0 = \alpha\Delta T = \alpha W_x s/(4\pi L^2 Cm).$$

Здесь $\Delta U/U_0$, $\Delta R/R_0$ – относительное изменение напряжения и сопротивления соответственно; $\Delta T$ – установившееся по толщине изменение температуры фольги под действием излучения; $m$ – масса фольги; $C$ – удельная теплоемкость фольги, Дж/г/град; $\alpha$ – температурный коэффициент сопротивления; $W_x$ – энергия источника РИ, Дж; $s$ – площадь образца, на которую падает излучение, см$^2$; $L$ – расстояние от источника до болометра.

$$W_x = 4\pi L^2 C\rho d/\alpha(\Delta U/U_0),$$

где $d$ – толщина; $\rho$ – плотность фольги [1].

Болометр, в котором мостик из нормального металла подвешен между двумя сверхпроводящими электродами, отсутствует прямой контакт абсорбера и подложки, что позволяет снизить утечку тепла в подложку. В качестве сверхпроводника используется алюминий, в качестве абсорбера-палладий. Поглощение терагерцового излучения в таких структурах вызывает разогрев абсорбера, который может быть зарегистрирован по увеличению туннельного тока. Обычно для оценки чувствительности считают, что энергия поглощенного излучения эквивалентна нагреву постоянным током [2].

Данный болометр возможно интегрировать в щелевую антенну или в логопериодическую антенну в терагерцовом диапазоне частот (рис. 1, 2).

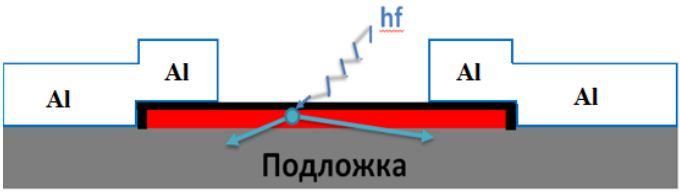



Рис. 1. Ранее исследованный СИНИС болометр с абсорбером (красный) и сверхпроводящими *Al* электродами на кремниевой подложке (серый)

Рис. 2. Схематическое изображение конструкции болометра, окончательная версия: *Si* – кремниевая подложка; *Au* – золотая разводка и антенны; *Al* – сверхпроводящий алюминий, нормальный металл – абсорбер, зеленый – область туннельного барьера, черный – окисел на поверхности алюминия

Для использования СИНИС структур в качестве болометров целесообразно уменьшить объем абсорбера, увеличить его электрическое сопротивление для лучшего согласования со схемой и уменьшить толщину пластины. Структуры с такими параметрами подходят для криогенных болометров терагерцового диапазона, интегрированных с планарными антеннами, при этом техника изготовления проще по сравнению с традиционной технологией теневого напыления [3, 4].

**Библиографический список**

1. Devyatov I. A. High-sensitivity microwave detector based on a Josephson heterostructure, JETP Letters. M. Yu. Kupriyanov. 2009. Vol. 89. Pp. 451-456.

2. Gildemeister J., Lee A., Richards P. A fully lithographed voltage-biased superconducting spiderweb bolometer, Appl. Phys. Lett. Vol. 74. No 6. 2009. Pp. 868–870.

3. Tarasov M., Edelman V., Ermakov A., Mahashabde S., Kuzmin L. Quantum efficiency of cold-electron bolometer optical response / IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. № 5 (1). 2015. Pp. 44-48.

4. Юсупов Р.А. и др. Болометр на основе структуры сверхпроводник-изолятор-нормальный металл с подвешенным мостиком из нормального металла // Журнал радиоэлектроники. № 3. 2017.

**УДК 535.36**

***Р. В. Чепурных***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В КРЕМНИЕВЫХ АНСАМБЛЯХ

Кремниевые нанонити (КНН) в настоящее время являются интересным объектом для исследования. Актуальность исследования КНН обусловлена большим потенциалом их применения в оптоэлектронике, микроэлектронике, фотонике, сенсорике и биомедицине. Для более точного понимания того, как происходит распространение света в кремниевых ансамблях, нам нужна высокая упорядоченность нанонитей и их параллельность.

Известны несколько способов формирования КНН это: пар-жидкость-твердое тело (*VLS*); электрохимическое травление; металл-стимулированное химическое травление (МСХТ).

В *VLS* методе металлические частицы, которые образуют низкотемпературную эвтектику сплава с кремнием, осаждаются так, что формируют наноразмерные капли, которые могут быть перенасыщены из газовой фазы веществом, содержащим кремний, с помощью химического осаждения из паровой фазы. Рост осуществляется с помощью наночастиц золота или других металлов.

В КНН, полученные методом *VLS*, трудно удалить осаждаемый металл, который влияет на оптические характеристики. Кроме того, образцы, полученные данным методом, характеризуются, как правило, большими расстояниями между нанонитями, многократно превышающими диаметры последних и не допускающие их значительных вариаций, что не позволяет реализоваться режиму сильного рассеяния света в ансамбле КНН.

Метод электрохимического травления является самым простым и распространенным методом получения КНН. В результате данного процесса получается пористый кремний (ПК). ПК – это структура случайно расположенных пор и стенок. Для получения ПК в качестве электролита обычно используют смесь водного раствора *HF* и этилового спирта в пропорции 1:1. При анодном травлении пластины с-*Si* на ее поверхности под действием положительного потенциала протекают электрохимические реакции.

В ПК нити расположены достаточно плотно, но их расположение хаотично и имеют очень чувствительную, к условиям формирования и хранению, поверхность.

Важной характеристикой ПК является его пористость:

$$P = \frac{\rho_{Si} - \rho_{ПК}}{\rho_{Si}}, \quad (1)$$

где $\rho_{Si}$ и $\rho_{ПК}$ – плотности монокристаллического кремния и ПК.

Для пористого кремния значения пористости могут находиться в необычайно широком интервале от 5 до 95%. Когда объем, занимаемый порами, невелик (5%), свойства такого материала близки к свойствам кристаллического кремния. При высоких показателях пористости картина существенно изменяется, и такой пористый кремний проявляет новые свойства, многие из которых являются уникальными.

Для изучения оптических свойств ПК должен иметь вид нанонитей, а это возможно только при пористости более 50% и 80%. Это достигается только в определенных условиях приготовления. ПК обладает огромной удельной поверхностью так же, в зависимости от предыстории образца, большим числом химически активных центров, влияющих на его свойства.

Технология МСХТ базируется на селективном химическом травлении с использованием металла в качестве катализатора и может давать упорядоченный и плотно упакованный массив КНН с высокой степенью монокристалличности. Это позволяет сформировать массивы КНН требуемой длины с диаметрами от нескольких десятков нанометров до нескольких сотен нанометров.

Из всех рассмотренных методов именно с помощью метода МСХТ КНН получаются более упорядоченными. Расстояние между самими нитями может варьироваться от 100 до 500 нм. Полученные КНН практически строго параллельны между собой, т. е. создается высокая упорядоченность нитей в одном направлении.

Благодаря варьированию ориентации кремниевой подложки, времени травления, коэффициенту отражения и поглощения, рекомбинации носителей заряда и процессу обработки, можно получить КНН с различной структурой, различными оптическими и электронными свойствами.

Основываясь на данных патентных исследований, можно понять, что большинство устройств, созданных на основе КНН, выращеные именно МСХТ методом. Поэтому можно сделать вывод, что кремниевые ансамбли, полученные путем металл-стимулированного химического травления, являются лучшими для изучения оптических свойств КНН.

**Библиографический список**

1. Бондаренко А. В., Гирель К. В., Невзоров С.А. и др. Формирование кремниевых нанонитей методом металл-стимулированного химического травления и исследование их оптических свойств // Доклады БГУИР. 2016. № 2 (96). С. 5–10.

2. Кашкаров П. К., Тимошенко В. Ю. Оптика твердого тела и систем пониженной размерности // Пульс. М., 2008.

3. Wang Y., Schmidt V., Senz S., Gösele U. Epitaxial growth of silicon nanowires using an aluminium catalyst // Nature Nanotechnology. 2006. Vol. 1. Pp. 186–189.

4. Лабуков В. А., Бондаренко В. Р., Борисенко В. Е. Получение, свойства и применение пористого кремния // Зарубежная электронная техника. 1978. Т. 15. Вып. 3.

5. Лабуков В. А., Бондаренко В. Р., Борисенко В. Е. Получение, свойства и применение пористого кремния // Зарубежная электронная техника. 1978. Т. 15. Вып. 3.

**УДК** 681.586.57

***С. И. Шершнев***
магистрант кафедры *радиотехнических и оптоэлектронных комплексов*
***А. Ф. Крячко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ – ПЕРО

В современном мире измерение физических величин занимает особое значение. Измерить их можно с помощью специальных датчиков. Измерительный датчик – устройство, которое вырабатывает информацию об изменении измеряемой физической величины, как правило, в виде электрического сигнала. Процесс выработки информации представляет собой преобразование одной формы сигнала или энергии в другую, осуществляемую преобразователями. Таким образом, датчик состоит из преобразователей, образующих измерительную цепь [1].

Датчики давления являются источниками первичной информации и составляют до 80% от общего числа датчиков, например, на борту самолета, поэтому от точности и надежности прибора зависит достоверность информации об измеряемой величине.

К основным методам измерения давления относятся следующие методы: пьезорезистивные, пьезоэлектрические, емкостные, оптические, резонансные, индуктивные [2].

Оптические методы измерений обладают рядом преимуществ над остальными способами детектирования давления: простотой, низкой температурной чувствительностью, высокой разрешающей способностью и высокой чувствительностью. Основные преимущества оптических датчиков над обычными электрическими датчиками включают в себя невосприимчивость к электромагнитным помехам, а также устойчивость к суровым условиям.

Особенно перспективными являются оптоэлектронные датчики, реализованные на основе явления интерференции света. Такие преобразователи используют принцип измерения малых перемещений с помощью интерферометра Фабри – Перо [3].

Области применения датчиков давления: нанотехнологии, высокоточное машиностроение, аэрокосмическая промышленность, нефтегазовая промышленность, химическая промышленность, строительство и эксплуатация построенных объектов [1].

Сверхминиатюрные датчики измерения физических величин (микродатчики) относятся к микроприборам и входят в состав микроэлектромеханических (МЭМС) и микрооптоэлектромеханических (МОЭМС) систем. На рис. 1 представлен миниатюрный датчик давления [1].

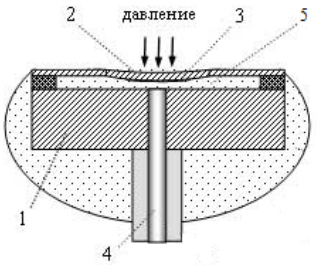



Рис. 1. Микроминиатюрный мембранный датчик давления

На подложке *1* сформирована тонкая мембрана *2*, на которую снизу нанесена зеркально отражающая свет пленка *3*. Полупрозрачный зеркальный слой нанесен и на торец оптического волокна *4*. Между ним и пленкой *3* образуется оптический резонатор, который находится внутри герметически закрытой полости *5*, заполненной газом. Если давление извне мембраны превосходит давление в поло-

сти 5, то кремниевая пластинка прогибается внутрь, и расстояние между мембраной и волокном уменьшается, таким образом, изменяя длину резонатора Фабри – Перо.

При соответствующей калибровке датчика каждой длине резонатора соответствуют значения давления, которые отображаются на спектрометре. По оптическому волокну в резонатор вводится монохроматический свет, который, многократно отражаясь от зеркальных поверхностей, интерферирует сам с собой. Поэтому интенсивность отраженного обратно в оптическое волокно света существенно зависит от положения мембраны и таким образом – от внешнего давления [3].

В описанном датчике давления первичный деформационный сигнал мембраны многократно преобразуется. Сначала в резонаторе Фабри – Перо он преобразуется в оптический сигнал, а затем в фотоприемнике – в аналоговый электрический.

$$I = 2I_S(\lambda)\cdot[1 + \gamma\cos(\varphi)], \quad (1)$$

где $I_S(\lambda)$ – распределение интенсивности источника света; $\gamma$ – видимость полосы интерферометра Фабри – Перо; $\varphi$ – фазовый сдвиг в обоих направлениях, заданный формулой:

$$\varphi = \frac{4\pi d}{\lambda}, \quad (2)$$

где $d$ – длина резонатора Фабри – Перо.

Для повышения точности, чувствительности и разрешения МЭМС датчиков давления необходимо регулировать размер чувствительных элементов, после этого составить и решить математическую интерференционную модель датчика, с соответствующими параметрами или промоделировать датчик в современных системах автоматизированного проектирования.

**Библиографическийсписок**

1. Распопов В. Я. Микро-механические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.

2. Beeby S.P. MEMS Mechanical Sensors. London: Artech House, 2004. 172 с.

3. Hongpu Li. Optical MEMS pressure sensor based on Fabry-Perot interferometry // Optical Society of America. 2006. № 4. С. 1–8.

**УДК** 550.388.2

***Д. И. Шилов***
студент кафедры медицинской радиоэлектроники
***Д. В. Благовещенский***
доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

## РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ, ИХ ВИДЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ.

Ионосфера— это слой атмосферы планеты, сильно ионизированный вследствие облучения космическими лучами. Ионосфера Земли на высотах от ~60 км до ~1000 км состоит из D, E, F1 и F2слоев заряженных частиц. Разделение ионосферы на слои определяется газовым составом атмосферы и спектром ионизирующего излучения. Основные заряженные компоненты ионосферы: $O^+$, $O_2^+$, $NO^+$, $N_2^+$, $N^+$, $H^+$, $He^+$, $e^-$. Различают ионосферу: низкоширотную (экваториальную), среднеширотную, субавроральную, авроральную и ионосферу полярных шапок.

Исследования ионосферы до появления возможности прямых измерений с помощью ракет базировались на использовании способности ионосферы поглощать, отражать, рассеивать радиосигналы. Наиболее распространенным методом наблюдения за состоянием ионосферы является метод вертикального зондирования с помощью ионозондов. Этот метод состоит в определении времени пробега волны до точки отражения и обратно, по которому рассчитывается высота точки отражения. Частота отраженной волны близка или совпадает с плазменной частотой в точке отражения, которая связана с электронной концентрацией. Используется набор частот в коротковолновом диапазоне ($f$ > 1 мгц), высота точки отражения уменьшается с ростом частоты радиосигнала и измеренная зависимость задержки (высоты) от частоты волны (ионограмма) используется для вычисления высотного профиля электронной концентрации. Таким образом, мы можем построить ионограмму.

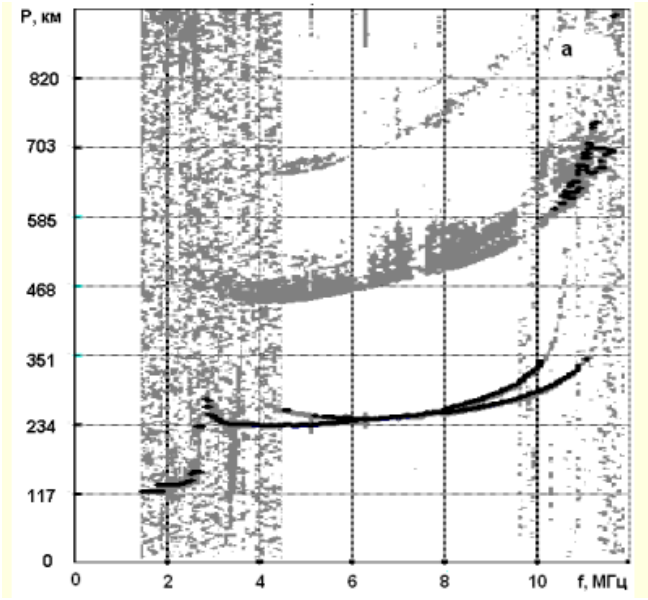



Рис. 1. Ионограмма В3

Ионограмма – это множество точек на высотно-частотной плоскости, где амплитуда превышает заданный уровень. Другое название ионограммы – высотно-частотная характеристика (ВЧХ).

Метод вертикального зондирования достаточно прост, однако имеет существенные недостатки:

- наблюдения за параметрами ионосферы проводятся только над ионозондом;
- ионозонд использует только короткие волны, и поэтому самые нижние слои ионосферы – области D (высота 50-90 км над поверхностью Земли), отражающие длинные и средние волны, не могут быть исследованы;
- электронная концентрация может быть измерена только до высоты максимума F2 стоя, на больших высотах ионозонд не способен проводить измерения.

На ряду с вертикальным зондированием используется наклонный тип зондирования. Аппаратура для получения ионограмм НЗ мало чем отличается от аппаратуры ВЗ. Эти отличия в основном касаются способов синхронизации при изменении частоты на передающем и приемном конце трасс НЗ. Частотный диапазон в случае НЗ в несколько раз больше, чем в случае ВЗ, и зависит от длины трассы. Созданные в настоящее время цифровые ионосферные комплексы являются, как правило, одновременно ионозондами и вертикального, и наклонного зондирования. При создании систем глобального или регионального ионосферного мониторинга, особенно при количественной оценке распределения концентрации электронов, оказываются существенными некоторые различия в схемах и методах осуществления ВЗ и НЗ. Например, при диагностике одинаковой плазменной частоты ионосферы в области отражения в случае НЗ требуется существенно большая рабочая частота передатчика и приемника, и, следовательно, инструментальная точность метода НЗ ниже точности метода ВЗ. Ионограммы, полученные при зондировании на коротких трассах, имеют классический вид и внешне не отличаются от ионограмм вертикального зондирования. Пример ионограммы приведен на рис. 2.

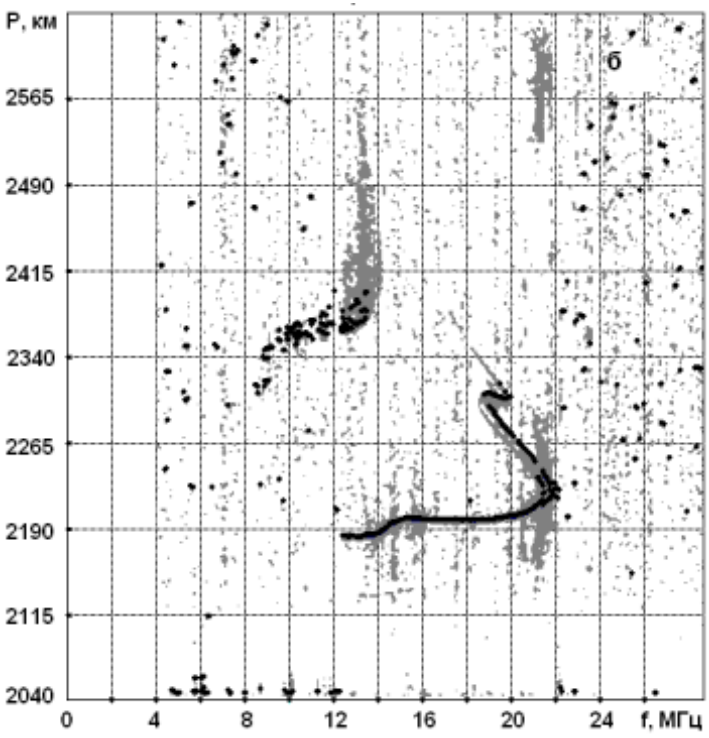



Рис. 2. Ионограмма НЗ

Однако в областях, где существуют большие градиенты электронной концентрации, например в арктической зоне, ионограммы НЗ обладают рядом особенностей, которые существенно повышают диагностические возможности метода НЗ. К таким особенностям относятся: «рассеяние вперед», которое продлевает след «носа» на ионограмме НЗ и является критерием для определения величины мелкомасштабных ионосферных неоднородностей. В целом НЗ является (в том числе и в полярной зоне) одним из наиболее информативных элементов системного радиозондирования, позволяющим определять ширину аврорального овала, динамику развития главного ионосферного провала, характер волновых процессов.

Спутниковое зондирование ионосферы ведется главным образом радиометодами путем изучения условий прохождения и отражения радиоволн в ионосфере. Основным из них является метод вертикального зондирования ионосферы импульсами, осуществляемого с помощью ионосферной станции. Ионосферная станция состоит из передатчика и приемника, имеющих общую антенну, и индикаторного устройства. Передатчик работает в импульсном режиме с длительностью импульсов примерно 10 мкс. Рабочая частота передатчика плавно изменяется в диапазоне от 1 до 20 МГц. Частота повторения импульсов обычно выбирается 25 Гц. Мощность передатчика в импульсе составляет 5–20 кВт. Сигнал с выхода приемника подается на индикатор, которым служит электронно-лучевая трубка. Используют индикаторы типа А с линейной разверткой и панорамные индикаторы типа В.

Основные достоинства спутникового зондирования состоят в следующем:

- Верхнюю часть ионосферы нельзя наблюдать с помощью наземных ионосферных станций, а спутниковые станции позволяют сделать это.
- Зондирование может охватывать большие пространства за относительно короткий интервал времени.
- Характеристики аппаратуры при этом остаются одними и теми же, так что различия в ионограммах могут быть вызваны только ионосферными вариациями, но не различиями в работе ионосферных станций.
- Поскольку сигналы не испытывают поглощения в области D, то верхнюю часть ионосферы можно наблюдать и во время ионосферных бурь и блэкаутов.

Доплеровский фазоугломерный комплекс представляет собой систему наклонного мониторинга ионосферы с малой базой. Комплекс был создан для исследования распределения углов прихода радиосигналов в КВ-диапазоне, а также статистических закономерностей и физической природы искажений частотного спектра радиосигналов. Принципы работы комплекса базируются на интерференционных методах радиозондирования с использованием узкополосных сигналов непрерывно излучающих станций КВ-диапазона. При проведении экспериментов в качестве зондирующих сигналов используются сигналы станций точного времени (РВМ, РИД) и радиовещательных станций.

В состав комплекса входят: антенно-фидерная подсистема, включающая в себя антенны, антенные усилители (АУ) и фидеры (Ф); четырехканальное радиоприемное устройство (РПУ); система калибровки амплитуд и фаз, включающая в себя синтезатор опорного сигнала (AD9851), управляемый усилитель, радиочастотный усилитель, цифроаналоговые (ЦА) преобразователи управления усиления РПУ; подсистема первого гетеродина, в составе гетеродина (AD9852) и активного разветвителя (АРв); блок цифрового приема, включающий аналого-цифровые преобразователи (АЦП); опорный генератор (41–50), GPS-приемник, GPRS-модем.

Ионосферные методы используются не только для исследования собственно ионосферы и ее параметров, но и для исследования магнитосферных процессов. В частности, измерение поглощения космического радиошума с помощью риометров в основном использовалось для исследования пространственно-временных характеристик потоков заряженных частиц магнитосферного и солнечного происхождения, высыпающихся в полярную и авроральную ионосферу.

На сегодняшний день несколько тысяч спутников разного назначения вращаются вокруг Земли. Ими нужно управлять, с них нужно получать информацию. Все это делается с помощью радиоволн. А ионосфера оказывает огромное влияние на распространение этих радиоволн. Во время магнитных бурь могут развиваться драматические события: в 1979 году во время сильной магнитной бури треть Канады осталась без электричества. Изучение ионосферных процессов позволяет предсказывать та-

кие ситуации, чтобы заблаговременно принять превентивные меры. Оно дает возможность грамотно организовывать радиосвязь, проводить манипуляции с сигналами, управлять ракетами, обеспечивать правильное функционирование всей космической отрасли. Так как состояние ионосферы постоянно меняется, ее состояние нужно отслеживать непрерывно.

**Библиографический список**

1. Пулинец С.А. Перспективы спутникового зондирования ионосферы в рамках проекта «ионозонд» // Гелиогеофизические исследования. 2013.

2. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Киселев А.М., Котович Г.В., Михайлов С.Я. Программное обеспечение обработки и интерпретации ионограмм зондирования на базе цифрового ЛЧМ-ионозонда / ИСЗФ СО РАН, 664033, Иркутск, а/я 291, Россия.

3. Мигулин В. Ионосфера и ее изучение. № 11. 1987.

4. Потехин А.П.. Развитие радиофизических методов исследования верхней атмосферы Земли в метровом и декаметровом диапазонах волн. 2002.

5. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. 1973.

**УДК 550.388.2**

***Ю. А. Шмелев***
студент кафедры медицинской радиоэлектроники
***Д. В. Благовещенский***
доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В данной работе подробно рассмотрен метод наклонного зондирования ионосферы (НЗИ), так как он является одним из самых информативных способов исследования распространения радиоволн в ионосфере.

НЗИ – ионосферное зондирование при помощи радиосигналов, излучаемых под углом, меньшим 90°, относительно поверхности земли [1].

Как известно из физики ионосферы, реальная ионосфера имеет горизонтально-неоднородную структуру, что особенно сильно проявляется в утренние и вечерние интервалы времени – это обстоятельство приводит к сильной ограниченности получаемых из метода вертикального зондирования ионосферы (ВЗИ) оценок ионосферного распространения радиоволн. Если же к ранее сказанному добавить сильно возмущенное состояние ионосферы и присутствие значительного поглощения, метод ВЗИ вообще не даст результата, что подтверждается экспериментально на рис. 1.

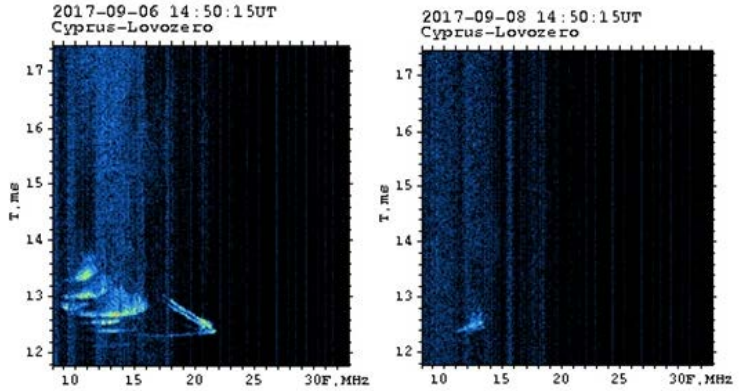



Рис. 1. Ионограммы для спокойного дня (слева) и сильно возмущенного дня (справа)

Первая ионограмма для спокойного дня 06 сент (слева). Имеет нормальный вид, где присутствуют моды $1F_2$, $2F_2$, $3F_2$, $4F_2$, $1E_s$, $2E_s$, $3E_s$. Вторая ионограмма для сильно возмущенного дня 08 сентября (справа), когда существует значительное поглощение. Ионограмма ВЗИ для 14:50 отсутствует в силу поглощения, а ионограмма НЗИ (вторая здесь) хоть и слаба, но все-таки есть. На ней МНЧ$F_2$= 13,5 МГц, а на первой МНЧ$F_2$ = 22 МГц. Остальные моды, кроме первой, на второй ионограмме отсутствуют в силу поглощения.

Из вышерассмотренного мы видим, что метод НЗИ дает принципиальную возможность прямого экспериментального исследования как прохождения радиоволн на фиксированной дальности, так и возможность оценки состояния ионосферы в области средней точки радиотрассы при односкачковом распространении, а главное – результаты этих исследований могут быть получены почти при любом состоянии ионосферы [2].

В методе НЗИ следует разделять две составляющие: прямую и обратную задачи.

В экспериментальном плане прямая задача состоит в регистрации модовой структуры волнового поля – функции группового пути и, возможно, углов прихода от частоты зондирования. Теоретический

аспект прямой задачи имеет своей целью синтез ионограммы НЗИ в математической модели ионосферы на основе механизмов переноса излучения, обычно в приближении геометрической оптики для волнового уравнения.

Цель обратной задачи НЗИ – оценка распределения электронной плотности на основе данных о групповом запаздывании и возможных дополнительных измерений углов прихода как функции частоты односкачковых мод.

Ионозонд НЗИ работает по принципу импульсного локатора, последовательно излучая в сеансе зондирования радиоимпульсы, частота заполнения которых изменяется в диапазоне 2–30 МГц. Передатчик и приемник разнесены в пространстве.

Если излучение и прием радиоимпульсов синхронизированы во времени, то ионозонд фиксирует время запаздывания $\tau$ отраженного импульса по отношению к излученному.

В результате измерений для каждого луча строится график $\tau(f)$, или $D_п = c\tau(f)$, который называется дистанционно-частотной характеристикой (ДЧХ) радиолинии, или ионограммой НЗИ. На рис. 2 приведена ДЧХ радиолинии.

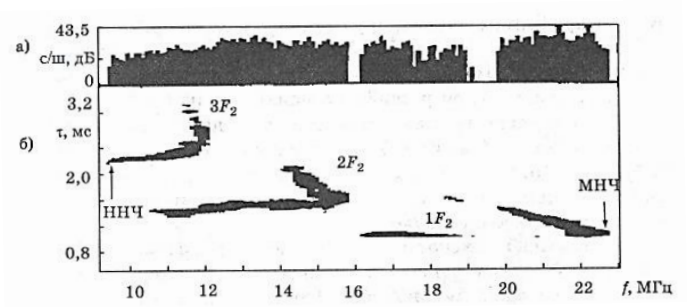



Рис. 2. Частотные зависимости отношения сигнал/шум (а) и ионограмма НЗИ (б)

Символами $1F_2$, $2F_2$ и т. д. обозначены разные ионосферные моды сигнала.

Передающая антенна излучает целый пучок лучей, угловые размеры которого определяются ее диаграммой направленности. От ионосферы отражаются лишь те лучи, для которых угол падения больше или равен критическому. Поэтому волна заданной частоты $f$ может достигнуть приемника, отразившись один и более раз от ионосферы, пройдя путь как нижним, так и верхним лучом (луч Педерсена). При этом радиоволны разной частоты могут отражаться от разных ионосферных слоев ($E$, $F_1$, $F_2$).

Видно, что на данной радиолинии в данный момент времени от передатчика к приемнику приходят радиоволны с частотами от $f_1 = 9{,}4$ МГц, до $f_2 = 2{,}8$ МГц. Частота $f_1$ называется наинизшей наблюдаемой частотой (ННЧ), т. е. наименьшей частотой, при которой вообще на ионограмме наблюдаются сигналы от данного передатчика независимо от траектории, по которой они распространяются. Частота $f_2$ – максимальная наблюдаемая частота (МНЧ или «классическая» МПЧ), при которой на ионограмме наблюдаются сигналы от данного передатчика независимо от траектории, по которой они распространяются [3].

Термины МНЧ и ННЧ применяются также для обозначения тех следов на ионограмме, которые удается идентифицировать. Например, $2F_2$ННЧ обозначает наименьшую наблюдаемую частоту на том следе, который соответствует двукратному отражению от слоя $F_2$, $2F_2$МНЧ – максимальную частоту, наблюдаемую при двукратном отражении от слоя $F_2$. Обычно за «стандартную» МПЧ принимают частоту «смыкания» следов нижнего и верхнего лучей. Таким образом, МПЧ < МНЧ. Отметим, что величина межмодовых задержек $\Delta\tau$ ограничивает скорость передачи информации по радиолинии, так как длительность информационного сигнала $T$ должна быть больше, чем $\Delta\tau$ [4].

В радиофизических ионозондовых исследованиях в настоящее время применяется три вида сигналов: простой гладкий импульс (классический метод), фазо-кодоманипулированный (ФКМ) и линейно-частотно-модулированный (ЛЧМ) сигналы.

В НЗИ практика использования фазо-кодоманипулированных сигналов практически отсутствует, по-видимому, в силу дисперсионных искажений.

В основе метода использования ЛЧМ-сигнала лежит идея о переводе группового запаздывания модов в частотное пространство и использование развитых методов спектрального анализа для их разрешения и формирования модовой структуры.

Для этого частоты передатчика и приемника синхронно перестраиваются и вследствие того, что для различных мод время прохождения расстояния между двумя конечными точками трассы различается, в суммарном поле они будут иметь различное частотное смещение.

Разрешающую способность данного метода так же, как и в классическом случае, ограничивает дисперсионное искажение при расширении полосы зондирующего сигнала и рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях. Поэтому в настоящее время, наиболее употребительной скоростью перестройки является ~ 100 кГц/с. Мощность передатчика варьируется в пределах от 100 Вт до 2 кВт непрерывного излучения.

Пример сравнения ионограмм НЗИ, полученных на трассе ИЗМИРАН – Нижний Новгород с использованием простого импульсного метода и применения ЛЧМ-сигнала (~ 500 км, 30.08.2012 10:06 UT), представлен на рис. 3.

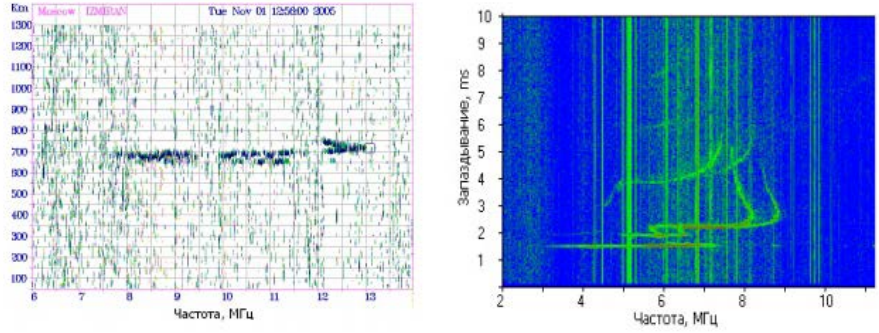



Рис. 3. Ионограммы НЗИ полученные с использованием простого импульсного метода (слева) и на основе применения ЛЧМ-сигнала (справа)

Хорошо видно, что использование техники ЛЧМ-зондирования позволяет выделить не только базовые моды, но и различить магнитоионные компоненты внутри этих мод, да и само качество ионограмм НЗИ, в общем, заметно выше по сравнению с простым импульсным методом [5].

В заключение нужно отметить, что основным преимуществом метода НЗИ, как средства диагностики распространения радиоволн на исследуемой трассе, является его эффективность и информативность во время магнитных возмущений, что важно для задач прогнозирования и контроля работы радиолиний в целом, и в особенности ценно для радиолиний высоких широт.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения (с изменением № 1), 1982. С изменением N 1, утвержденным в феврале 1986 г. (ИУС 6-86).

2. Руководящий документ РД 52.26.XXX–201X. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям. Ч. 1. Ионосферные наблюдения. М.: ФГБУ «ИПГ», 2012. 270 с.

3. Благовещенский Д.В. Распространение декаметровых радиоволн во время геомагнитных возмущений: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2011. 393 с.

4. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.

5. Иванов В.А., Куркин В.И., Носов В.Е., Урядов В.П., Шумаев В.В. ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях // Изв. вузов. Радиофизика, 2003. Т. 46. № 11. С. 919–252.

**УДК** 629.054

***В. О. Чащин***
магистрант кафедры радиотехнических систем
***В. В. Саломасов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## Анализ совмещенных измерителей высоты и скорости

В современных летательных аппаратах (ЛА) для решения задач, связанных с определением местоположения и параметров полета (высота над земной поверхностью, скорость и т. д.), используются автономные навигационные комплексы. В состав комплекса обязательно входит радиовысотомер (РВ) и измеритель скорости и сноса.

В малогабаритных ЛА затруднительно использовать отдельно радиовысотомерные системы и измерители скорости и угла сноса из-за больших масс и габаритов. Существуют способы совмещения данных систем. Один из них – корреляционный измеритель скорости и сноса (КИСС), использующий сигналы РВ.

Принцип работы корреляционного измерения составляющих скоростей заключается в сравнении радиолокационных изображений местности, которые приняты разнесенными антеннами. Диаграммы направленности параллельны и ориентированы перпендикулярно подстилающей поверхности [1]. При пролете над водной поверхностью КИСС сохраняет работоспособность при полном штиле. Сигналы, отраженные от спокойной поверхности, будут приняты приемным устройством, в отличие от ДИСС с наклонным облучением поверхности.

Для измерения продольной составляющей скорости $W_X$ достаточно двух приемных излучателей *1* и *2*, расположенных вдоль продольной оси ЛА (рис. 1) [2].

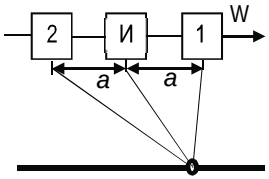



Рис. 1. Принцип измерения путевой скорости: *1, 2* – приемные излучатели; И – передающий излучатель

Сравнение изображений производится путем вычисления взаимнокорреляционной функции (ВКФ). Транспортная задержка определяется по формуле $\tau_3 = \frac{a\cos\varphi}{W}$, где $a$ – расстояние между излучателями, $W$ – скорость.

Высокочастотная часть КИСС ЛА строится по обычной схеме РЛС: передатчик – антенна – приемник. Передающая и приемная антенны раздельные. Передающая антенна содержит один излучатель. Количество излучателей приемной антенны зависит от того, сколько составляющих вектора путевой скорости требуется определить. В навигационных измерителях для ЛА применяется минимум три приемных антенны, что позволяет измерять составляющие вектора путевой скорости и угол сноса.

На рис. 2 приведены примеры расположения приемных излучателей относительно продольной и поперечной осей ЛА. При расположении излучателей как на рис. 2, *а*, *б*, сравниваются коэффициенты взаимной корреляции сигналов, принятых излучателями *1*, *2* и *1*, *3*. При расположении, приведенном на рис. 2, *в*, – излучателями *1*, *3* и *2*, *4* [5].

Таким образом, в основу работы скоростного канала РЛС положен корреляционный метод измерения: составляющие вектора скорости определяются по положению максимумов ВКФ пространственно разнесенных между собой отраженных от подстилающей поверхности сигналов, принимаемых антеннами, расположенными на ЛА [3].

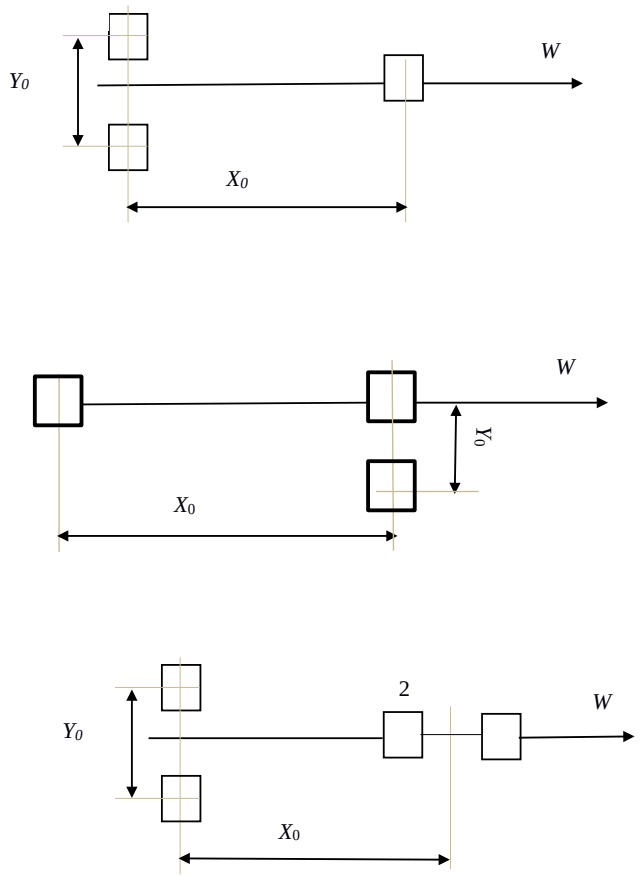



Рис. 2. Примеры расположения приемных излучателей КИСС

На сегодняшний день все известные КИСС используют немодулированный сигнал. Поскольку полет малогабаритных ЛА осуществляется, как правило, на малых высотах (до 1000 м), то применение сигнала импульсного радиовысотомера будет затруднительно ввиду сложности отсчета малого времени запаздывания отраженных сигналов относительно излученных (меньше чем длительность импульсов). Формирование очень коротких импульсов (около долей мкс и менее) сравнительно простыми средствами до настоящего времени проблематично. Обычно в импульсных радиовысотомерах применяются импульсы длительностью $\tau$ = 0,25…0,5 мкс [1]. При такой длительности импульсов минимальная высота, которая может быть измерена импульсным радиовысотомером, равна

$$H_{\min} = \frac{\tau * c}{2} = \frac{(0{,}25 \div 0{,}5) * 10^{-6} * 3 * 10^{8}}{2} = 38 \div 75 \text{м},$$

где $c$ – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве, $\tau$ – длительность импульса.

В результате проведенных исследований [2, 4] был сделан вывод о невозможности использования частотной модуляции в корреляционном методе измерения скорости из-за разрушения корреляции сигнала. Существуют две причины: 1) одни и те же участки поверхности облучаются через интервал времени, равный транспортной задержке, сигналами разных частот; 2) сигнал разностной частоты, по-

лученный в одном канале и задержанный на время, равное транспортной задержке, и сигнал разностной частоты в другом канале будут иметь зоны обращения в различные моменты времени, что разрушает корреляцию между ними.

Однако данные исследования были проведены для случая немодулированного сигнала или для случая ограниченных высот.

Существует метод построения совместного измерителя высоты, скорости и угла сноса путем поддержания кратности транспортной задержки и периода повторения зондирующего сигнала.

Рассмотрим особенности совместной работы РВ с частотной модуляцией (ЧМ) и КИСС. В качестве зондирующего сигнала используется непрерывный сигнал с несимметричным законом линейно-частотной модуляции (ЛЧМ). Для работы КИСС могут быть использованы сигналы разностной частоты, полученные из принятых сигналов разнесенных антенн.

Чтобы обеспечить работу КИСС по сигналам разностной частоты РВ, необходимо соблюдать кратность периода повторения излучаемых сигналов и транспортной задержки. При несоблюдении этого условия, КИСС теряет работоспособность. Кратность периода повторения и транспортной задержки может быть достигнута путем регулирования длительности паузы ($T_П$) в законе модуляции частоты.

Таким образом, период повторения будет определяться транспортной задержкой.

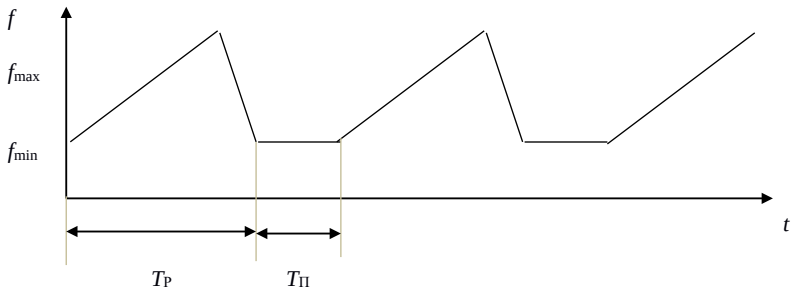



Рис. 3. Закон частотной модуляции передатчика в совместном измерителе высоты, скорости и сноса

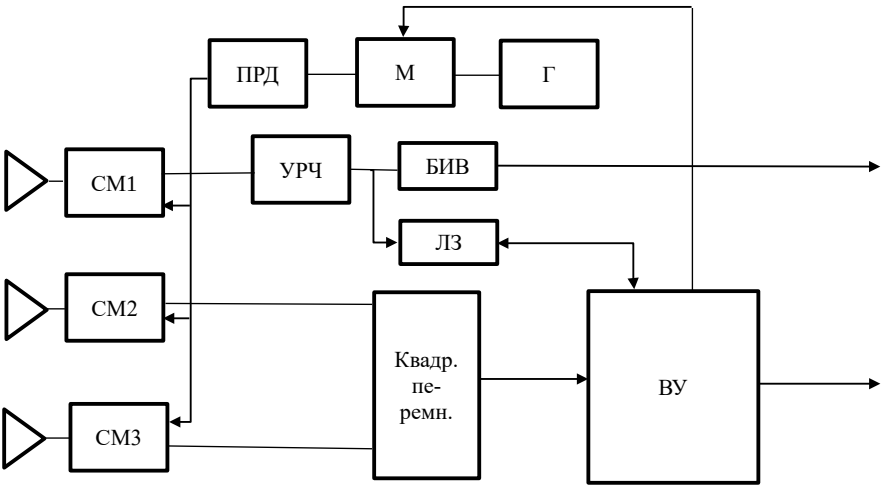



Рис. 4. Структурная схема совместного измерителя высоты, скорости и угла сноса

Принцип работы измерителя (рис. 4) заключается в следующем. Отраженный сигнал принимается приемными антеннами. Сигналы поступают на смесители СМ1, СМ2, СМ3 и усиливаются в усилителях разностной частоты. Далее сигнал первого канала разделяется: идет в блок измерения высоты (БИВ) и на регулируемую линию задержки (ЛЗ). Величина задержки определяется в вычислительном устройстве (ВУ). Затем сигналы двух приемных каналов перемножаются. Перемножение осуществляется в квадратурах, так как начальные фазы колебаний разностной частоты могут не совпадать. Далее результат перемножения обрабатывается в ВУ, алгоритм работы которого позволяет следить за величиной транспортной задержки, углом сноса и формировать управляющие сигналы для модулятора и ЛЗ.

Таким образом, предложена структура измерителя высоты, скорости и угла сноса на основе КИСС, использующего сигнал РВ с ЧМ. Однако работоспособность данного измерителя будет обеспечена в том случае, если будет соблюдена кратность периода повторения модулирующей функции и транспортной задержки.

**Библиографический список**

1. Важенин В. Г. Полунатурное моделирование бортовых радиолокационных систем, работающих по земной поверхности: учеб. пособие / В. Г. Важенин [и др.]; под общ. ред. В. Г. Важенина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 208 с.

2. Боркус М. К. Корреляционные измерители путевой скорости и угла сноса летательных аппаратов / М. К. Боркус, А. Е. Черный. М.: Сов. радио, 1973. 169 с.

3. Васильева А. В. Повышение точностных характеристик скоростного канала радиовысотомерной системы конфигурированием антенной системы / А. В. Васильева, Н. Н. Калмыков, С. А. Мельников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2017. Т. 17. № 4. С. 47–53.

4. Камкин А. Л. Исследование точностных характеристик измерителя скорости, построенного на базе авиационных радиовысотомеров малых высот / А. Л. Камкин, Д. Г. Матюнин // Радиотехнические системы локации пространственно-распределенных объектов: меж. вузов. сб. науч. трудов. Свердловск: УПИ, 1988.

5. Ломанов А. Н. Сравнительный обзор аэронавигационных методов автоматического счисления пути / А. Н. Ломанов, В. В. Ревунов // Вестн. Рыбинского гос. авиац. технич. ун-та им. П. А. Соловьева. Рыбинск, 2016.

**УДК 621.396.6**

***К. Р. Афанасьева***
магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНЫХ МИКРОМОДУЛЕЙ

Микромодульное конструирование обеспечивает создание радиоэлектронных узлов (микромодулей) из отдельных дискретных радиоэлементов путем размещения и монтажа их в небольшом объеме. Объемный микромодуль – это объемная микросборка, которая может быть как законченным модулем, так и элементом, монтируемым на печатную плату. Такая конструкция предпочтительна в условиях малой площади и при отсутствии особых ограничений по высоте. Применением микромодульных конструкций осуществляется решение одной из первых задач современного конструирования высокоэффективной надежной аппаратуры – микроминиатюризация. На сегодняшний день для обеспечения более высокого уровня функциональности при минимальных размерах и максимальном быстродействии остается единственный путь развития конструкции – 3D-интеграция.

Конструктивно микромодуль предлагается выполнить в виде куба. Такой формы можно достичь различными путями. В данном случае кратко рассмотрим следующий способ: изготавливается крестообразная диэлектрическая подложка с печатным монтажом, которая впоследствии наклеивается на основание из термопластика. Далее происходит формовка кубической конструкции и выполнение сварочных швов.

Основные принципы построения системы объемных микромодулей:

– высокая плотность печатного рисунка;
– минимальные масса и габариты платы – основания;
– возможность применения комплексного машинного проектирования и легкость перестройки на другую топологию;
– высокая ремонтноспособность;
– возможность обеспечения эффективного теплоотвода.

Ключевую роль в обеспечении надежности конструкции играет выбор материала основания. В таблице представлены свойства некоторых материалов, наиболее часто используемых в производстве гибких плат (см. таблицу).

*Таблица*

Параметры полимерных материалов, используемых в производстве гибких плат

| Параметр | Полиимидная пленка *Kapton* | Полиимидная пленка ПМ-1 | Эпоксидно-полиэфирная пленка | Нейлон | Полиэфир |
|---|---|---|---|---|---|
| Прочность на растяжение, $\times 10^7$ Н/м$^2$ | 17,5 | 15,5 | 4 | 8 | 16 |
| Относительное удлинение при разрыве, %: | | | | | |
| при 293 К | 70 | 50 | 15 | 10 | 100 |
| при 473 К | 90 | 60 | 20 | 15 | 125 |
| КТЛР, $\times 10^5$ град$^{-1}$ | 2 | 2,4 | 1,5 | 6 | 1,6 |
| Рабочая температура, К | 620 | 620 | 420 | 390 | 370 |

| Параметр | Полиимидная пленка *Kapton* | Полиимидная пленка ПМ-1 | Эпоксидно-полиэфирная пленка | Нейлон | Полиэфир |
|---|---|---|---|---|---|
| Водопоглощение, % (за 24 ч) | 2,9 | 3 | 15 | 5 | 0,7 |
| Теплопроводность, $\times 10^4$ Дж/см×К×с | 15,5 | 15,5 | 25 | 25 | 21–41 |
| Усадка, % | 0,12 | 0,13 | 3-5 | 3 | 2 |
| Диэлектрическая проницаемость | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 2 | 3,2 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 кГц, $\times 10^{-2}$ | 2 | 2 | 0,15 | 7 | 5 |
| Электрическая прочность, $\times 10^6$ В/см | 2,7 | 1,5 | 0,3 | 0,12 | 2 |
| Удельное электросопротивление, $\times 10^{17}$ Ом × см | 10 | 1 | 1 | 1 | 10 |

Изучению механизмов контактного взаимодействия полимеров и металлов в настоящее время посвящено много исследований и обзоров. Существуют различные теории, объясняющие природу сил такого взаимодействия. Наиболее значимыми из них являются адсорбционная, химическая, электростатическая, диффузионная и термодинамическая. При этом отмечаются следующие основные закономерности:

– без предварительной обработки полимеров (активизации поверхности) в основном отмечается их адгезионная инертность вследствие насыщенности связей на поверхности, неполярности структуры цепных молекул полимеров;

– активация поверхности полимеров заключается в частичной деструкции или модификации (частичном замещении инертных компонентов активными группами) наружных слоев за счет, как правило, специальных химических и электрофизических обработок;

– наиболее сильное контактное взаимодействие наносимых металлических слоев на полимерные материалы возникает вследствие химического взаимодействия полярных функциональных групп и ненасыщенных связей на поверхности полимера с металлическим слоем;

– наиболее прочная металлизация полимеров осуществляется методами вакуумного осаждения металлических пленок.

Одной из наиболее важных характеристик гибких полимерных подложек следует считать необходимость отсутствия газовыделений и влаги в процессе металлизации для обеспечения адгезионной прочности. Целесообразна дополнительная термообработка полиимидной пленки в вакууме с целью обеспечения более высокой прочности сцепления металла с полиимидом.

Не менее важной является проблема стабилизации линейных размеров гибкой подложки, определяющая процесс совмещения рисунка коммутации и, как следствие, плотность разводки в целом.

Монтаж гибкой полиимидной платы к жесткому основанию должен обеспечивать:

– высокую чистоту паяемых коммутационных элементов после монтажа без дополнительной обработки с целью обеспечения надежного электросоединения при последующем монтаже навесных элементов на плату;

– высокую механическую прочность соединения платы с основанием;

– исключение коробления платы, а также исключение растрескивания окисного слоя в случае применения основания из анодированного алюминия;

– исключение снижения плотности коммутации (недопустимость обрывов и коротких замыканий коммутационных элементов);

– конструктивно-технологическую возможность монтажа кристаллов СБИС с минимальным тепловым сопротивлением.

**Библиографический список**

1. Васильев А. Современные технологии 3D-интеграции / Компоненты и технологии. 2010. № 1.

2. Грушевский А. М. Сборка и монтаж многокристальных микромодулей: учеб. пособие. М.: МИЭТ, 2003. 140 с.

**УДК 621.317.791**

***Л. Н. Беликов***
магистрант кафедры конструирования и технологии лазерных и электронных средств
***А. Н. Михайлов***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХОДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

**Введение**

Цифровые сигналы – это аналоговые сигналы, дискретизованные по времени и квантованные по уровню. Эти сигналы представлены дискретными последовательностями, элементы которых могут принимать лишь некоторое конечное множество значений (чаще два значения, 1 и 0). В случае использования переходного устройства передача сигнала параллельная, то есть происходит одновременная передача элементов сигнала по большому числу путей. Используя множество электрических проводов, можно передавать несколько бит одновременно, что позволяет достичь более высоких скоростей передачи, чем при последовательной передаче.

**Постановка задачи**

При использовании переходного устройства производится контроль и диагностика радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) Системой комплексного автоматизированного тестирования цифровых радиоэлектронных устройств (СКАТ-Ц). Она подключается к переходному устройству, которое, в свою очередь, подключается к объекту контроля (аппаратура РЭА).

При передаче данных (контроле аппаратуры) информация может подвергаться некоторым паразитным изменениям, что связано со следующими искажениями: потеря данных (затухание, ослабление, глушение сигнала), забивание с помехами (шумом). Учитывая применение переходного устройства для контроля и диагностики РЭА, наличие таких паразитных характеристик нежелательно, и возникает необходимость в разработке методах противодействия им.

В данной статье производится исследование паразитных характеристик элементов переходного устройства и способов борьбы с ними.

**Паразитные характеристики переходного устройства**

Физическая модель непрерывного канала связи включает в свой состав технические средства, расположенные между выходом модулятора и входом демодулятора. Проходя по этому каналу, сигнал претерпевает ряд изменений. Эти изменения сводятся к ослаблению, искажению сигнала и наложению на него помех. В отдельных случаях искажению подвергается смесь сигнала и помех. Для анализа системы важно знать характер искажений и уметь их моделировать. Реальные искажения имеют достаточно сложный характер. Однако для решения большинства задач непрерывный канал можно смоделировать в виде последовательно включенных линейных инерционных и нелинейных безынерционных четырехполюсников, обусловливающих соответственно линейные и нелинейные искажения сигналов. Помехи принципиально могут накладываться на сигнал в любой точке цепи [1]. Несмотря на кажущуюся простоту такой модели канала, нахождение отклика на ее выходе в тех случаях, когда помеха действует на входе линейного звена, является сложной математической задачей.

Линейные искажения проявляются в изменении спектра (корреляционной функции) сигналов и помех. В зависимости от того, каковы эти искажения: регулярны или случайны, различают соответственно каналы с детерминированными или случайными линейными искажениями. В случае переходного устройства это случайные искажения, которые определяются средой распространения.

Ошибки, возникающие при приеме сообщений, в значительной степени определяются видом и интенсивностью помех, действующих в канале. В зависимости от места нахождения источника помех различают внутренние и внешние помехи. В нашем случае внешние помехи пренебрежительно малы.

Внутренние помехи возникают в самой системе переходного устройства. К ним относятся шумы входных каскадов приемного устройства, линий канализации сигнала и электрические сигналы, попадающие в приемник по внутренним цепям вследствие плохого экранирования или развязки между каскадами. Последний вид помех связан с ошибками в конструкции и по возможности должен быть устранен. Линии канализации сигнала имеют собственное сопротивление, способствующее затуханию сигнала. Для необходимого усиления сигнала нужно подбирать соответствующую длину линии и устанавливать компенсирующее устройство для усиления сигнала. Внутренний шум, обусловленный хаотическим движением носителей зарядов, принципиально неустраним, хотя может быть в значительной степени ослаблен применением качественных узлов и деталей, а также снижением рабочей температуры [2].

В переходном устройстве присутствует также и тепловой шум. Он обусловлен тепловым движением носителей заряда, приводящим к появлению случайной разности потенциалов. Тепловой шум представляет собой гауссовский случайный процесс с нулевым средним со спектральной плотностью мощности

$$N_0(f) = \frac{hf}{\exp\left(hf \big/ kT^0\right) - 1},$$

где $h$ = 6,6 * 10$^{-34}$ Дж*с – постоянная Планка, $k$ = 1,38 * 19$^{-23}$ Дж/град – постоянная Больцмана, $T^0$ – абсолютная температура источника шума, $f$ – частота.

В диапазоне частот, в котором работают радиосистемы, выполняется условие $hf << kT^0$, и поэтому $N_0(f) = kT^0 = N_0$, Вт/Гц.

Таким образом, тепловой шум можно рассматривать как белый с односторонней спектральной плотностью $N_0 = kT^0$.

В реальных системах полоса частот пропускания ограничена и мощность шума $P$ш $= N_0F$.

При проектировании переходного устройства также важно изучить его работу на высоких частотах. Особое значение приобретает учет характера пассивных элементов цепи, в том числе соединительных проводов, печатных плат и корпусов интегральных схем, которые являются элементами конструкции. С повышением рабочей частоты они начинают непосредственно влиять на электрические характеристики системы.

На высоких частотах низкоомное электрическое соединение двух цепей способен обеспечить только широкий, плоский объект. Провод, который обеспечивает практически нулевое сопротивление соединения точек цепи на низких частотах, на высоких частотах обладает слишком большой индуктивностью и не способен служить короткозамыкающей перемычкой [3].

При приближении к верхней границе рабочего диапазона частот характер поведения любого элемента электрической цепи сильно изменяется. Например, активное сопротивление короткого провода заземления, составляющее на частоте 1 кГц 0,01 Ом, вследствие поверхностного эффекта возрастет на частоте 1 ГГц до 1 Ом, помимо этого, у провода появится индуктивное сопротивление величиной в 50 Ом. Учитывая, что частота сигнала обратно пропорциональна длине линии, при относительно небольших высоких частотах необходимо переходить к средним частотам путем повышения длины линии.

На высоких частотах на графике спектра мощности сигнала имеются провалы на тактовой частоте и кратных ей частотах. Частота излома огибающей спектра цифрового сигнала определяется не тактовой частотой, а длительностью фронтов сигнала:

$$F = \frac{0{,}5}{T_r},$$

где $F$ – верхняя граница частотного диапазона, в котором сосредоточена основная часть энергии в спектре цифрового сигнала; $Tr$ – длительность фронтов сигнала.

Во временной области основные характеристики любого цифрового сигнала зависят, главным образом, от спектра сигнала в диапазоне частот ниже частоты $F$. Из этого вывода следуют две важные качественные особенности цифровых цепей.

1. Через цепь, обладающую равномерной частотной характеристикой в диапазоне частот вплоть до частоты $F$, цифровой сигнал пройдет практически неискаженным.

2. Неравномерность частотной характеристики цепи в области частот выше *F*вызовет незначительные искажения цифрового сигнала.

Используя параметр *F*, следует помнить о том, что он является грубой оценкой верхней частотной границы спектра цифрового сигнала. Использование значения частоты излома в качестве ориентира для переходного устройства помогает разделить частотно-зависимые эффекты на не оказывающие абсолютно никакого влияния, оказывающие заметное влияние, но допустимые, и недопустимые.

**Заключение**

В данной статье было проведено исследование паразитных характеристик элементов переходного устройства на средних и высоких частотах.

Были исследованы внутренние помехи и тепловой шум и способы борьбы с ними. Увеличение длины линии при относительно небольших высоких частотах позволяет переходить к средним частотам, что в свою очередь уменьшает помехи. Также необходима установка компенсирующего устройства для усиления сигнала при затухании на большой длине линии. Было рассмотрено влияние внутреннего шума и способов его ослабления.

**Библиографический список**

1. Немировский М. С. Цифровая передача информации в радиосвязи. М.: Связь, 1980. 256 с.

2. Васин В. А. Радиосистемы передачи информации: учеб. пособие для вузов / В. А. Васин, В. В. Калмыков, Ю. Н. Себекин, А. И. Сенин, И. Б. Федоров; под ред. И. Б. Федорова и В. В. Калмыкова. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 472 с.: ил.

3. Джонсон Говард В., Грэхэм Мартин. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии / Пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 624 с.

**УКД 629.735.33**

***А. А. Бигей***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Е. В. Кравец***
кандидат технический наук, доцент – научный руководитель

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

Одним из основных негативных факторов, воздействующих на приборную аппаратуру, является вибрация. При этом требованиями, предъявляемыми к системам измерения динамических перемещений малой амплитуды, являются как обеспечение безопасности и высокая точность измерения при высокой частоте вибрации, так и отсутствие влияния на характер колебания. Этим требованиям наилучшим образом отвечают оптические измерительные системы. Рассмотрим основные принципы построения и особенности обработки сигналов.

Одной из основных схем измерения колебаний является схема на основе интерферометра Майкельсона, приведенная на рис. 1. Здесь излучение стабилизированного по мощности и частоте лазера *1* проходит через светоделительное зеркало *2*, которое формирует два пучка. Опорный пучок формируется при отражении от неподвижного зеркала *3* и после повторного прохождения светоделительного зеркала *2* направляется на фотоприемник *5*. Механические колебания исследуемого объекта *4* приводят к фазовой модуляции сигнала в опорном пучке, который, отражаясь от светоделительного зеркала *2*, направляется на фотоприемник *5*. В плоскости фотоприемника наблюдается интерференция опорного и сигнального пучков, что приводит к модуляции его выходного тока. Сигнал фотоприемника поступает на блок обработки *6* для демодуляции и определения параметров вибрации [2, 3].

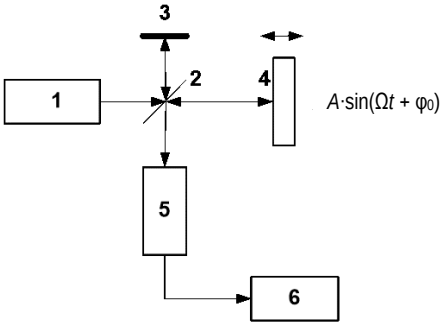



Рис. 1. Оптическая схема интерферометра Майкельсона

Рассмотрим сигнал, получаемый в опорном и сигнальном плече, при гармоническом законе колебания исследуемого объекта:

$$s_1(t) = S_1 \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\omega}{c} \cdot z_1\right)$$
$$s_2(t) = S_2 \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\omega}{c} \cdot z_2 - \frac{\omega}{c} A \cdot \sin\left(\Omega \cdot t + \varphi_0\right)\right), \quad (1)$$

где $z_1$ и $z_2$ – оптический ход пучков (опорного и сигнального соответственно); $A$ – амплитуда измерения хода пучков; $\Omega$ – частота колебания исследуемого объекта; $\varphi_0$ – начальная фаза колебания исследуемого объекта.

Модель сигнала, получаемого на фотоприемнике, с точностью до амплитудного множителя записывается в виде

$$s(t)=\cos\left(\frac{\omega}{c}\cdot A\cdot\sin(\Omega t+\varphi_0)+\frac{\omega}{c}\cdot(z_1-z_2)\right). \quad (2)$$

Введем обозначение:

$m=2\frac{\omega}{c}A$ – индекс фазовой модуляции,

$\varphi=\frac{\omega}{c}(z_1-z_2)$ – начальная разность фаз, зависящая от разности оптического хода пучков, с учетом выражения (2) получаем:

$$s(t)=\cos(m\cdot\sin(\Omega t+\varphi_0)+\varphi).$$

При разложении сигнала $s(t)$ в ряд Фурье получаем

$$S(t)=J_0(m)\cdot\cos\varphi-\sum_{l=1}^{\infty}2J_{2l\text{-}1}(m)\cdot\sin\varphi\cdot\sin\left((2l\text{-}1)\cdot(\Omega t+\varphi_0)\right)+\sum_{k=1}^{\infty}2J_{2k}(m)\cdot\cos\varphi\cdot\cos\left(2k(\Omega t+\varphi 0)\right), \quad (3)$$

где $J_j(x)$ – функция Бесселя *j*-го порядка 1-го рода.

Величина $\varphi_0$ не влияет на амплитуду составляющих, и в дальнейшем можно полагать $\varphi_0=0$ без уменьшения общности. Разность фаз интерферирующих пучков φ существенно влияет на спектр сигнала: при $\varphi_0=0$ в разложении отсутствуют нечетные гармоники, а при $\varphi=\frac{\pi}{2}$ – четные.

При $m=1$ можно учитывать только одну составляющую в каждой сумме гармоник [4]:

$$\begin{aligned}J_0(m)&=1-\frac{m^2}{4}\\ J_1(m)&=\frac{m}{2}\cdot\left(1-\frac{m^2}{8}\right)\\ J_2(m)&=\frac{m^2}{2}\cdot\left(1-\frac{m^2}{12}\right).\end{aligned} \quad (4)$$

С учетом аппроксимации (4) выражение (3) преобразуется следующим образом:

$$S(t)\approx\left(1-\frac{m^2}{4}\right)\cdot\cos\varphi-m\left(1-\frac{m^2}{8}\right)\times\sin\varphi\cdot\sin(\Omega t+\varphi_0)+m^2\cdot\left(1-\frac{m^2}{12}\right)\cdot\cos\varphi\cdot\cos(2\Omega t+\varphi_0). \quad (5)$$

Как следует из выражения (5), величина $\Omega\varphi$ существенно влияет на спектр сигнала, поэтому такой метод измерения требует постоянной калибровки и обеспечения заданной разности хода лучей в опорном и сигнальном плече.

Мгновенная частота сигнала $s(t)$ изменяется по гармоническому закону:

$$\omega(t)=\frac{d}{dt}\left[m\cdot\sin(\Omega t+\varphi_0)+\varphi\right]=m\cdot\Omega\cdot\sin(\Omega t+\varphi_0).$$

При $m\gg1$ амплитуда измерения физической мгновенной частоты $|\omega(t)|_{\max}=m\cdot\Omega\gg\Omega$, что позволяет находить величину $\Omega$, фиксируя максимумы и минимумы мгновенной физической частоты на временной реализации, относящиеся друг от друга на $\frac{T}{2}=\frac{\pi}{\Omega}$.

В рассмотренной ранее схеме измерения колебаний использовался гомодинный прием сигналов, но данный метод обладает недостатком – существенным влиянием начальной разности фаз на амплитуду спектральных составляющих сигнала. Поэтому для эффективной модуляции необходимо обеспечить требуемую разность хода опорного и сигнального пучков, что заметно усложняет проведение измерений, так как схема требует точной юстировки. Этого недостатка лишена гетеродинная схема, основанная на смещении частоты одного из взаимодействующих оптических пучков [1, 5]. При этом в плоскости фотоприемника формируется динамическое распределение поля, а спектр электрического сигнала на выходе фотоприемника смещается на частоту сигнала модулятора.

Схема, поясняющая принцип работы гетеродинного метода, представлена на рис. 2. Здесь излучение лазера в опорном плече претерпевает сдвиг частоты, равный $\omega_0$.

Рассмотрим сигнал, получаемый в опорном и сигнальном плечах:

$$s_1(t) = S_1 \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\omega}{c} \cdot z_1\right), s_2\ (t) = S_2\ \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\omega}{c} \cdot z_2 - \frac{\omega}{c} A \cdot \sin(\Omega t + \varphi_0)\right).$$

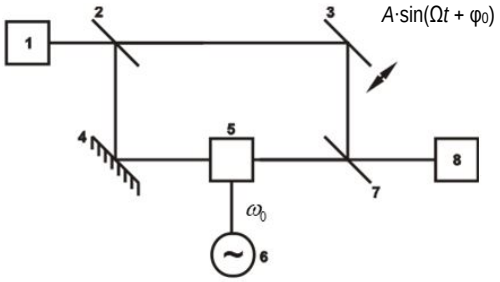



Рис. 2. Принцип гетеродинного приема в интерферометре

Интермодуляционная составляющая сигнала, получаемого на фотоприемнике, с точность до амплитудного множителя может быть представлена в виде

$$s(t) = \cos\left(\omega_0\ \cdot t + \frac{\omega}{c} \cdot A \cdot \sin(\Omega t + \varphi_0) + \frac{\omega}{c} \cdot (z_1 - z_2)\right). \quad (6)$$

Введем обозначения $m = 2 \cdot \frac{\omega}{c} \cdot A$, $\varphi = \frac{\omega}{c} \cdot (z_1\ - z_2)$ и представим выражение (6) в виде

$$s(t) = \cos(\omega_0 \cdot t + m \cdot \sin(\Omega t + \varphi_0) + \varphi). \quad (7)$$

Величина $\varphi_0$ влияет только на фазовые сдвиги в составляющих ряда Фурье, но не на амплитуды составляющих. Для упрощения положим $\varphi_0 = 0$.

Произведем разложение сигнала $s(t)$ в ряд Фурье:

$$\begin{aligned} S(t) &= \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi) \cdot \cos(m \cdot \sin\Omega t) - \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) = \\ &= \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi) \cdot [J_0(m) + 2 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(m) \cdot \cos(2k\Omega t)] - \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) \cdot [2 \cdot \sum_{l=1}^{\infty} J_{2l-1}(m) \cdot \sin((2l-1) \cdot \Omega t)] = \\ &= J_0(m) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) + \sum_{k=1}^{\infty} 2J_{2k}(m) \cdot \cos((\omega_0 + 2k\Omega) \cdot t + \varphi) + \sum_{k=1}^{\infty} 2J_{2k}(m) \cdot \cos((\omega_0 - 2k\Omega) \cdot t + \varphi) + \\ &+ \sum_{l=1}^{\infty} 2J_{2l-1}(m) \cdot \cos((\omega_0 + (2l-1) \cdot \Omega) \cdot t + \varphi) - \sum_{l=1}^{\infty} 2J_{2l-1}(m) \cdot \cos((\omega_0 - (2l-1) \cdot \Omega) \cdot t + \varphi). \end{aligned} \quad (8)$$

Исходя из выражения (8) можно сделать вывод, что в отличие от подобных разложений для гомодинной схемы (5) начальная разность пучков φ не влияет на амплитудные составляющие спектра сигнала.

Амплитуду первой гармоники сигнала можно выразить так [4]:

$$A_1 = J_1(m) = \frac{m}{2}\cdot(1-\frac{m^2}{8}+\frac{m^4}{192}-...) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k\cdot(\frac{m}{2})^{1+2k}}{k!(n+k)!}.$$

Так как функции Бесселя обладают волновым характером, то однозначное определение $m$ возможно только при $m \le 1{,}63$. Это является общим свойством всех рассмотренных схем.

Чтобы избавиться от влияния интенсивности опорного и сигнального пучков, необходимо определять отношение амплитуд несущей и первой гармоник спектра сигнала [4]:

$$\frac{J_1(m)}{J_0(m)} \approx \frac{m}{2}\cdot(1+\frac{m^8}{8}-\frac{5\cdot m^4}{192}+...),$$

отсюда

$$m \approx 2\cdot\frac{J_1(m)}{J_0(m)}. \qquad (9)$$

Обычно для обработки фазомодулированных сигналов применяются фазовые детекторы. В одном случае следует учесть, что индекс модуляции $m = 1$, таким образом, в спектре сигнала почти отсутствуют гармоники высоких порядков и полезный сигнала можно считать монохроматическим. Кроме того, известна частота колебаний исследуемого объекта. Поэтому для обработки сигнала можно воспользоваться узкополосным перестраиваемым фильтром для выделения амплитуд несущей и первой гармоники спектра сигнала с последующим вычисление их отношения (9). Для анализа спектра можно использовать анализатор спектра, представленный на рис. 3. По сравнению с фазовым детектором такой узкополосный метод обработки даст выигрыш в отношении сигнал – шум.

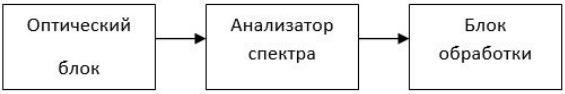



Рис. 3. Структурная схема обработки сигнала

Таким образов, гетеродинный прием является наиболее перспективным. Но для практической реализации метода необходимо решить проблему осуществления сдвига частоты света – радиотехническими методами осуществить его достаточно трудно. Однако в оптике может быть использован акустооптический модулятор. При этом в плоскости фотоприемника формируется динамическое распределение поля, а спектр электрического сигнала на выходе фотоприемника смещается на частоту сигнала модулятора.

**Библиографический список**

1. Протопопов В. В. Лазерное гетеродинирование / Под ред. Н. Д. Устинова. М.: Наука, 1985. 288 с.

2. Нагибина И.М. Интерференция и дифракция света// Л.: Машиностроение, 1985. С. 322

3. Кронкевич В. П. Лазерная интерферометрия / В. П. Кронкевич, В. С. Соболев, Ю. Н. Дубинцева. Новосибирск: Наука, 1983. 213 с.

4. Бронштейн И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. М.: Наука, 1981. 720 с.

5. Whitman R. L. Acoustic Surface Displacements on a Wedge-shaped Transducer Using an Optical Probe Technique / R. L. Whitman, L. J. Laub, W. J. Bates // IEEE Transactions on Sonics and ultrasonic. 1968. Pp. 186–189.

**УДК 621.791.05**

***Е. А. Бондарец***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНУЮ ОЧИСТКУ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Сегодня среди методов автоматизированной отмывки можно выделить следующие: ультразвуковая, струйная (струя в воздухе), струйная (струя в объеме), барботирование. На практике чаще применяются методы ультразвуковой и струйной очистки печатных узлов. Задача: определить, какой метод очистки печатных плат является наиболее эффективным.

В качестве примера ультразвуковой очистки рассмотрим ванну ПСБ-Галс.

Объем: 4 л, потребляемая мощность: 200 Вт, габариты: 235×175×335 мм, стоимость оборудования: $16 800. Время отмывки и температура отмывочной жидкости задается оператором. Эффективность ультразвуковой очистки зависит от выбора многих параметров. Прежде всего, это выбор частоты и интенсивности ультразвука. Исследования показали, что существенное влияние на процесс очистки оказывают физико-химические свойства жидкости: поверхностное натяжение, вязкость, упругость насыщенного пара, плотность, газосодержание. Большое значение имеют внешние факторы, такие как температура и гидростатическое давление.

Для правильного выбора растворов и параметров звукового поля необходимо также учитывать характер загрязнений: степень их адгезии к очищаемой поверхности, химическое взаимодействие с моющим раствором, кавитационная стойкость. Успешное проведение процесса ультразвуковой очистки возможно лишь при использовании основных эффектов, возникающих в мощных ультразвуковых полях: звукового давления, кавитации, акустических потоков, звукокапиллярного эффекта, радиационного давления. У данного способа отмывки есть большой недостаток: возможность брака электрорадиоэлементов. Поэтому нельзя отмывать таким способом платы с навесными элементами, кварцевые резонаторы, пьезокерамические резонаторы, некоторые светодиоды, электромагнитные реле, прецизионные цифро-аналоговые преобразователи и аналого-цифровые преобразователи, микросхемы RAM, подстроечные прецизионные резисторы и конденсаторы, компоненты в стеклянных корпусах.

К достоинствам можно отнести следующие:

– высокая эффективность отмывки печатных узлов;
– экономически выгодное применение данного способа;
– небольшие затраты труда.

Для метода струйной отмывки возьмем оборудование SuperSwash.

Объем: 60 л, потребляемая мощность: 5 кВт, стоимость оборудования: от $80000. Данная установка получила самые лучшие отзывы по качеству отмывки. Однойиз ключевых особенностей SuperSwash является возможность ее использования не только для отмывки печатных узлов после пайки, но и для других задач, например для очистки трафаретов. Процесс отмывки включает в себя три стадии: отмывка в моющем растворе, ополаскивание в деионизованной воде и сушка.

Достоинства данного метода:

– высокая эффективность отмывки печатных узлов;
– многофункциональность;
– компьютерное управление на базе Windows XP;
– возможность визуального наблюдения благодаря стеклянному окну;
– работа по технологии MPC.

Недостатки:

– высокая стоимость оборудования;
– несмотря на простоту интерфейса, требуется техническое обслуживание.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что отмывка струйным методом является более эффективной и многофункциональной, так как без нареканий очищает не только платы, но и трафареты за относительно малый промежуток времени. А благодаря управлению посредством ПК данный метод можно назвать современным и выделить среди большого числа установок для очистки печатных узлов.

Несмотря на точто обе установки отлично справляются со своими задачами, отмывка ультразвуковым методом уступает современным способам струйной отмывки из-за недостаточной возможности полного контроля за процессом и управления им. Также нельзя забывать о неблагоприятном воздействии кавитации на элементы печатных узлов, из-за чего может возникнуть брак и в будущем воздействие ультразвука на компонент может сказаться отрицательно. Но при этомультразвуковая очистка является финансово выгодной. Это связно с небольшими затратами электричества, использованием малого объема отмывочной жидкости, кроме того, такой метод не требует высокой квалификации рабочего.

Два данных метода отмывки печатных узлов объединила компания *M. B. Tech*. Система NS25 предназначена для автоматической отмывки печатных плат в моющем растворе с использованием ультразвука по технологии MPC и гарантирует исключительно высокое качество отмывки и последующей сушки, обеспечивая при необходимости существенную производительность. Имеет модуль водоподготовки и встроенную систему фильтрации. Два варианта исполнения, отличающиеся количеством ванн ополаскивания. Системы оснащены автоматическим внутренним конвейером. Объем: 80 л, потребляемая мощность: 6 кВт, стоимость оборудования: зависит от комплектации.

У данной системы отмывки нет недостатков, кроме высокой стоимости.

Достоинства:

– быстрая фиксация печатных плат в оснастке;

– возможность дозагрузки печатных плат во время выполнения цикла отмывки;

– автоматическая транспортировка печатных плат;

– управление процессом с помощью системы индикаторов и клавиатуры;

– непрерывный контроль удельной проводимости тока в зоне ополаскивания со встроенной системы сигнализации;

– запатентованная система фильтрации отмывочной жидкости;

– быстрая сушка в алюминиевой вакуумной камере;

– возможность загрузки до пяти рамок оснастки;

– возможность накопления рамок оснастки на выходе из системы;

– надежная конструкция;

– минимальное техническое обслуживание.

Таким образом, можно сделать вывод, что сегодня существует огромное количество способов отмывки. Необходимо тщательно выбирать оборудование, чтобы очистить плату от биологических, механических и прочих загрязнений, а также производить дезинфекцию изделий, изготовленных из металлов и стекла. По результатам проведенных исследований среди перечисленного оборудования выделяется система SuperSwash – из-за удобного программного управления, которое позволяет полностью регулировать процесс. Но исистемаNS25 не уступает по показателям качества отмывки и контролируемости отмывки печатных узлов.

**Библиографический список**

1. Система струйной отмывки печатных плат NC25. URL: https://www. dipaul. ru/catalog/otmyvka_pechatnyh_plat/sistema_otmyvki_pechatnyh_plat_nc25.

2. ПСБ-4035-05 ультразвуковая ванна. URL: http://www. psb-gals. ru/catalog/usc/psb-4035-05. html.

3. Афанасьев В. SuperSwash. Победитель среди установок струйной отмывки / Передовые технологии. 2010. № 6. С. 18–25.

**УДК 621.396.6**

***С. А. Верясов***
магистрант кафедры конструирования и технологий лазерных и электронных средств
**М. А. Ваганов**
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОРПУСНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СВЧ-УСТРОЙСТВ

## Введение

В настоящее время применение интегральной схемы (ИС) в виде некорпусированных кристаллов приобретает особую значимость при разработке и изготовлении радиоэлектронной аппаратуры, особенно в СВЧ-диапазоне, поскольку с уменьшением длины волны (увеличением частоты) зондирующего сигнала повышаются требования к основным характеристикам и массогабаритным показателям функциональных узлов радиоаппаратуры.

Применение бескорпусных элементов позволяет достичь более высоких параметров разрабатываемых СВЧ-модулей при существенном уменьшении их массогабаритных показателей, что говорит об актуальности темы, освещаемой в данной статье.

## Постановка задачи

Особенности конструкции бескорпусных ИС определяют ряд дополнительных требований к условиям хранения микросхем и их монтажу на печатную плату функционального узла радиоаппаратуры.

Основными требованиями при присоединении кристалла ИС к печатной плате СВЧ-устройства являются высокая надежность соединения, механическая прочность и высокий уровень передачи тепла от кристалла к печатной плате. Операцию присоединения проводят с помощью пайки, приплавления с использованием эвтектических сплавов или приклеивания. При выборе метода присоединения кристалла следует принимать во внимание следующие факторы: тепло- и электропроводность используемого клея или припоя, допустимые технологические температуры монтажа, температуры последующих технологических операций, рабочие температуры микросхемы, наличие металлизации соединяемых поверхностей, механическая прочность соединения, автоматизация и стоимость операции монтажа [1].

В данной статье рассматриваются методы монтажа бескорпусных микросхем на печатную плату СВЧ-устройства. Указаны преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов. Описаны особенности присоединения проволочных выводов с кристалла ИС на контактные площадки печатной платы и приведены рекомендации по выбору их длины.

## Технология монтажа бескорпусных элементов

Процесс монтажа кристалла на плату состоит из двух основных операций: присоединения кристалла на печатную плату и соединение выводов микросхем с внешними контактами путем разварки проволочных выводов.

Операция присоединения ИС требует нанесения адгезива с последующей точной установкой кристалла, после чего выполняется отверждение адгезива. При установке кристалла на нанесенный адгезив требуется высокая точность установки, а также соблюдение ориентации и обеспечение плоскостности. Ориентация и точность непосредственно влияют на длину проволочных выводов между контактными площадками печатной платы.

Требования к креплению кристалла:

- сильная адгезия,
- высокая теплопроводность,
- высокая электропроводность и подходящие температуры процесса.

Наиболее распространенным материалом являются эвтектические сплавы, но также применяются и другие материалы, такие как электропроводящие и диэлектрические клеи, серебросодержащие пасты и металлические припои, применяемые чаще всего в изделиях большой мощности.

*Монтаж с применением эвтектических сплавов.* Существуют два основных метода посадки кристалла на эвтектический сплав. Первый метод основан на использовании преформы из эвтектического сплава, которая располагается между соединяемыми элементами. Во втором методе, получившем название «контактно-реактивная пайка», образование эвтектики происходит в результате взаимодействия кристалла с контактной площадкой платы. Данный метод заключается в приложении к кристаллу определенного давления и температуры.

При пайке данным способом золотую контактную площадку платы и кристалл ИС приводят в соприкосновение при температуре, немного превышающей температуру образования эвтектики. Кремний при взаимодействии с золотом образует эвтектический сплав необходимого состава. Для ускорения процесса образования жидкого сплава и разрушения оксидов кристалл прижимается к печатной плате и притирается колебаниями заданной формы. В зону монтажа кристалла также может подаваться защитный форминг газ, служащий для снижения окисления припоя во время процессов пайки [2].

*Клеевые соединения.* Технология клеевых соединений проста и применяется для широкого круга материалов (с использованием клеев на эпоксидной основе). Клеевые соединения стойки к вибрациям. Характеризуются наличием внутренних напряжений, возникающих вследствие первичной усадки при полимеризации, усадки при охлаждении, разницей коэффициента теплового расширения (КТР) соединяемых элементов и клея.

При склеивании большинство клеев допускают варьирование температуры и времени в широких пределах, причем при повышении температуры время отвердения клея резко сокращается. Поэтому склеивание, как правило, выполняют с подогревом до 60…200 ºС в зависимости от марки клея.

Качество поверхности соединяемых элементов оказывает большое влияние на прочность клеевого слоя. Поэтому с поверхностей перед склеиванием тщательно удаляют загрязнения и жировые пленки, причем следы используемых органических растворителей должны быть полностью удалены сушкой [1].

Прочность клеевого слоя в объеме зависит от совершенства структуры полимера. Количество дефектов увеличивается с толщиной слоя, и прочность соединения падает. Рекомендуется слой ограничивать толщиной 0,05…0,01 мм.

*Пайка кристалла ИС с применением металлических припоев.* Данный метод обеспечивает высокую электропроводность соединения, механическую прочность, хорошее согласование по КТР. Благодаря высокой теплопроводности и малой теплоемкости металлических сплавов необходимое время для плавления и получения соединения достаточно мало, что делает целесообразным выполнение этих операций на специальных установках последовательного присоединения кристаллов с высоким уровнем механизации и автоматизации [3].

В качестве присоединительного слоя можно использовать мягкие припои, такие как Au-Sn (80 масс. % и 20 масс. %; температура плавления $t_{пл}$ = 280 °С), Pb-Sn-Ag (92, 5,5 и 2,5 масс. %; температура плавления $t_{пл}$ = 300 °С) и др. Припой вводят в место соединения в виде фольговых дисков или наносят в виде пасты трафаретным способом. Необходимым условием качественного соединения является высокая смачиваемость соединяемых поверхностей припоем. Для этого кристаллы на установочной плоскости должны иметь слой металлизации (золото, серебро или никель с подслоем хрома), который осаждают на этапе групповой обработки на обратную (нерабочую) сторону групповой пластины. Соответствующая площадка для установки кристалла на печатную плату должна иметь никелевое или золотое покрытие.

Пайка мягкими припоями допускает при необходимости демонтаж припаянного кристалла. В то же время относительно низкая температура плавления припоя ограничивает технологическую температуру на последующие операции присоединения выводов.

Поскольку все виды пайки металлическими припоями, включая пайку контактным плавлением, можно выполнять на механизированных установках, применение флюсов в этих условиях снизило бы эффективность использования таких установок. Поэтому пайку обычно проводят в защитной или защитно-восстановительной среде путем подачи соответствующего газа через миниатюрное сопло в зону пайки. Этот же газ используют для охлаждения полученного соединения [4].

В таблице приведены достоинства и недостатки рассмотренных методов монтажа бескорпусных элементов.

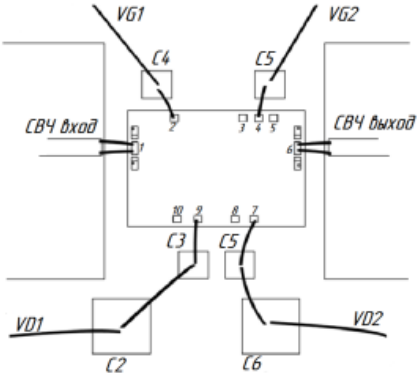
*Таблица*

Сравнение характеристик различных адгезивов

| Метод монтажа | Преимущества | Недостатки |
|---|---|---|
| С применением эвтектических сплавов | Низкие температуры монтажа | Низкая температурная стабильность собранного узла, возникновение значительных механических напряжений |
| С применением клея | Хорошая температурная стабильность, электропроводимость | Высокие температуры процесса монтажа |
| С применением металлических сплавов (Au, Sn) | Отсутствие температурной усталости, высокая прочность | Отсутствие компенсации механических напряжений, высокая стоимость |

**Присоединение выводов микросхемы**

После установки кристалла выполняется процесс соединения контактных площадок кристалла с соответствующими элементами проводящего рисунка на печатной плате. Наиболее популярным и применяемым методом считается разварка с помощью проволочного проводника. Полуавтоматическая установка для разварки приваривает тонкие проволоки, как правило золотые, так как золото обеспечивает хорошие антикоррозионные свойства, соединяя каждую контактную площадку кристалла с соответствующей площадкой на печатной плате, как показано на рисунке.




Графическое отображение длин проволочных соединений:
VG1, VG2 – напряжение управления, VD1, VD2 – напряжение питания

На этапах разработки и изготовления функционального узла необходимо соблюдать требования к параметрам проволочных соединений (длине и диаметру), входов/выходов микросхемы с соответствующими линиями передачи СВЧ-сигнала, а также с линиями подачи питающего и управляющего напряжений. Среди широкого выбора соединительных проволок или лент для подключения ИС СВЧ-диапазона рекомендуется использовать золотую проволоку.

Микросхемы ИС СВЧ-диапазона рассчитаны на включение между двумя 50-Омными линиями передачи в режиме согласования импедансов, отсюда вытекают жесткие требования к длине проволочных соединений, поскольку увеличение длины проводника приводит к увеличению индукционной составляющей, что в конечном счете отразится на СВЧ-характеристиках микросхемы. Например, длина золотого проводника диаметром 25 мкм от 0,12 до 0,19 мм соответствует индуктивности от 0,10 до 0,15 нГн [5]. Как правило, требования к параметрам соединяющих выводов производитель приводит в доку-

ментации на бескорпусную ИС. Если же никаких рекомендаций не указано, то длина проводника должна быть рассчитана исходя из технического задания на разрабатываемый узел.

Соединения рекомендуется выполнять термоультразвуковой сваркой золотым шариком. Этот метод представляет собой сочетание лучших качеств ультразвуковой и термокомпрессионной сварки, обладает высокой производительностью, высокой прочностью, хорошей повторяемостью и возможностью работы с малым шагом. Все соединения должны быть выполнены с применением усилия сжатия 20–50 гс. В зону сварки следует подавать минимальное количество ультразвуковой энергии, обеспечивающее надежность и качество соединения [6]. Проволочные выводы после термоультразвуковой сварки не должны касаться структуры ребер кристалла ИС.

**Заключение**

В статье были рассмотрены методы монтажа бескорпусных микросхем на печатную плату СВЧ-устройства. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки.

Были рассмотрены особенности присоединения проволочных выводов от кристалла ИС на контактные площадки печатной платы. Были описаны рекомендации по выбору материала проволочных выводов и их длин.

Применение современной полупроводниковой базы на основе бескорпусных ИС позволяет значительно снизить массогабаритные показатели СВЧ-устройств и повысить их надежность, что особенно актуально при разработке бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

**Библиографический список**

1. Инженерное пособие: технологич. матер. для сборки и герметизации микросхем. ЗАО «Предприятие „Остек“». URL: https://ostec-materials. ru.

2. Технологические процессы. Монтаж кристаллов в корпус // ЭЛТЕХ. Технологическое оборудование для микроэлектроники. URL: http://equip. eltech. com/catalog/5831.

3. Мэнгин Ч. Г. Технология поверхностного монтажа. Будущее технологии сборки в электронике / Ч. Г. Мэнгин, С. Макклелланд; пер. с англ. 1990.

4. Jacques Coderre. Step-by-Step Die Placement: Which is Right for Your Application. Industry Search Web Site.

5. UMS User Guide for Bare Dies GaAs MMIC: Storage, Pick & Place, Die Attach and Wire Bonding. United Monolithic Semiconductors S. A. S.

6. National Semiconductor Application Note: Analysis of Die Product Assembly Techniques – COB.

**УДК 629.735.33**

***С. В. Воронина***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных лазерных средств
***В. Г. Федченко***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОСОБЫХ СИТУАЦИЙ ПОЛЕТА И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖА ЛА

При создании перспективных пилотажно-навигационных комплексов и в процессе перехода к полной автоматизации управления летательным аппаратом (ЛА), становится актуальной уже на сегодняшний день интеллектуальная поддержка летного экипажа. В данный момент известен способ интеллектуальной поддержки деятельности экипажа ЛА, приведенный в описании к патенту Российской Федерации № 2018966.

Этот способ заключается в измерении полетной информации, вводе ее в вычислительный комплекс и обработке по программе, осуществляющей анализ измеренной полетной информации, и при возникновении особой ситуации полета появление на дисплее информации о последовательности необходимых действий экипажа.

Целью этого способа является улучшение качественных характеристик и обеспечение безопасности ЛА за счет раннего выявления возникновения опасной ситуации, повышения эффективности восприятия и переработки информации, уменьшения вероятности ошибочных действий экипажа. В основу разработки экспертной системы могут быть положены сценарии как гипотетических, так и реально происходивших событий, связанных с безопасностью ЛА.

Особые случаи полета кодируются заранее и вводятся в блок памяти вычислительного комплекса.

Основные недостатки способа:

- отсутствие возможности раннего выявления предпосылок возникновения опасной ситуации;
- известное заранее фиксированное количество нештатных ситуаций;
- отсутствие учета дестабилизирующих составляющих человеческого фактора (усталость, слабая профессиональная подготовка, нелояльность);
- ограниченные возможности восприятия и анализа визуальной информации.

Обработка большого количества сигналов, получаемых как на борту, так и из внешней среды, обеспечивает необходимой информацией интеллектуальную систему. Но возникает вопрос, как использовать получаемые данные в экспертной системе, выдавая на их основе рекомендации экипажу в особых ситуациях полета.

Уровень безопасности полетов определяется вероятностью того, что в полете не возникнет такая особая ситуация, как катастрофа. Особая ситуация – это совокупность условий, связанных с потенциальным снижением уровня безопасности полета.

Особые ситуации в полете возникают в следующих случаях:

- попадание воздушного судна в опасное метеорологическое явление;
- отказ двигателя (двигателей);
- отказ систем воздушного судна, приводящий к необходимости изменения плана или профиля полета, в том числе к вынужденной посадке;
- пожар на воздушном судне;
- потеря устойчивости, управляемости, нарушение прочности;
- потеря радиосвязи (отказ бортовых или наземных систем радиосвязи);
- потеря ориентировки;
- нападение на экипаж (пассажиров).

По степени опасности особые ситуации подразделяются на усложнение условий полета, сложную, аварийную и катастрофическую ситуации.

- *Усложнение условий полета* не приводит к необходимости немедленного или не предусмотренного заранее изменения плана полета и не препятствует его благополучному завершению.

- *Сложная ситуация* – особая ситуация, характеризующаяся заметным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж или заметным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости или летных характеристик, но без достижения предельных ограничений и расчетных условий.
- *Аварийная ситуация* – особая ситуация, характеризующаяся значительным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж или значительным ухудшением характеристик устойчивости и управляемости или летных характеристик, приводящих к превышению предельных ограничений или расчетных условий.
- *Катастрофическая ситуация* – особая ситуация, при возникновении которой предотвращение гибели людей и потери ЛА оказывается практически невозможно.

Особые случаи в связи с их внезапным возникновением не могут быть заранее прогнозируемы, и возникновение их представляет опасность для благополучного завершения полета. Этим они отличаются от особых условий полетов, которые заранее известны, к ним готовятся при проведении предварительной и предполетной подготовки.

Бортовые информационные системы предоставляют экипажу самолета всю необходимую информацию – в визуальной, звуковой и тактильной форме. На пассажирском ЛА могут устанавливаться следующие информационные системы.

*Система электронной индикации* предназначена для индикации пилотажной и навигационной информации. В состав системы входят индикаторы, от 1 до 3 вычислителей, которые часто называют генераторами символов, и пульты управления. У индикатора имеется экран, на котором индицируется информация, ранее представлявшаяся на шкалах отдельных 30 приборов. Генератор символов управляет построением изображения на индикаторе. Он принимает и обрабатывает пилотажную и навигационную информацию от различных систем ЛА. Пульт управления служит для связи пилота с системой, он обеспечивает выбор форматов изображения и регулирование яркости индикаторов.

Перед каждым пилотом находятся два индикатора. На экране одного индицируется пилотажная информация, на экране другого – навигационная. Для управления изображением на своих индикаторах у каждого пилота есть пульт управления. Каждый из двух основных генераторов символов управляет парой индикаторов, третий генератор символов – резервный, он участвует в работе системы только при отказе одного из основных.

*Комплексная информационная система сигнализации.* Ее основной функцией является предупреждение экипажа о возникновении опасностей в полете и на борту ЛА.

В частности, выдается сигнализация:

- о неправильной конфигурации органов управления самолета (асимметрия закрылков, посадка с убранным шасси и т. п.);
- о превышении максимально допустимой скорости;
- о достижении минимальной скорости полета;
- о слишком малой высоте полета;
- о сдвиге ветра;
- о неправильной работе бортовых систем и агрегатов (пожар двигателя, отказ генератора и т. п.).

Кроме сигнализации эта система обеспечивает пилотов информацией о параметрах и состоянии двигателей и общесамолетных (общевертолетных) систем.

Для индикации своих сообщений экипажу система содержит индикатор, способный показывать цифробуквенную информацию. Система индицирует аварийные, предупреждающие и уведомляющие сообщения, а также использует другие способы сигнализации – с помощью звуковых сигналов (звонки, гонги и т. п.), тактильных воздействий (тряска штурвала).

*Электронные планшеты* индицируют пилоту различную справочную информацию, ранее находившуюся в кабине ЛА на бумажных носителях. Такое устройство представляет собой бортовой вариант портативного компьютера *laptop*.

*Метеонавигационная радиолокационная станция (МНРЛС) «КОНТУР-10Ц»* предназначена для использования на самолетах и вертолетах различных классов. Она обеспечивает обнаружение опасных зон конвективной облачности и грозовой деятельности с определением степени их опасности,

а также зон турбулентности в метеообразованиях. Радиолокационная информация отображается на цветном индикаторе. Предусмотрены встроенный контроль работоспособности для определения неисправности с точностью до блока, включая линии связи и стабилизации зоны обзора.

Метеонавигационная радиолокационная станция имеет несколько режимов работы:

- «МЕТЕО» – метео, метео-сквозь-метео, турбулентность до 100 км;
- «ДЕЖУРНОЕ МЕТЕО» – режим предназначен для оповещения экипажа об обнаружении опасных для полета метеообразований при отображении на МФИ информации от систем типа TCAS, TAWS, навигационных систем и др.;
- «ЗЕМЛЯ» – обнаружение радиолокационноконтрастных ориентиров;
- «ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ» – (только для серии 5) режим предназначен для просмотра вертикального профиля метеообразований на выбранном направлении.

Высокий потенциал МНРЛС получен за счет цифровой обработки сигнала на промежуточной частоте, линейности приемника, оптимизации цифровой обработки сигнала под каждый режим работы и масштаб дальности.

Бортовая интегрированная аппаратура навигации и посадки *«Курс-93М»* предназначена для обеспечения полетов по сигналам наземных радиомаяков VOR, выполнения предпосадочных маневров и заходов на посадку по сигналам посадочных радиомаяков международной системы ILS и систем типа СП.

Аппаратура «Курс-93М» является радиотехническим средством, состоящим из УКВ-радиоприемников, работающих по сигналам наземных радиомаяков, и устройств обработки информации и преобразования ее в сигналы:

- бокового положения самолета в горизонтальной плоскости относительно оси взлетно-посадочной полосы;
- продольного положения самолета относительно плоскости, проходящей под углом снижения самолета в вертикальной плоскости;
- бокового положения самолета относительно линии заданного азимута;
- азимута самолета относительно радиомаяка VOR.

Аппаратура «Курс-93М» обеспечивает:

- самолетовождение по заданному азимуту;
- определение местонахождения самолета по азимутам двух радиомаяков VOR;
- определение момента пролета и опознавание работающих трассовых и посадочных маркерных радиомаяков;
- выполнение предпосадочного маневра и захода на посадку по сигналам работающих курсовых, глиссадных и маркерных радиомаяков систем ILS и типа СП.

К основным недостаткам данных систем относятся:

- невозможность составить полную картину происходящего, учитывая данные собранные с одной системы;
- разные способы отображения информации каждой из систем, вследствие чего увеличивается время принятия решения пилотом в критических ситуациях.

Основной задачей является создание комплексной централизованной системы, обобщающей данные информационных систем различного предназначения, способной выводить общую оценку показателей самолета и выдавать соответствующие рекомендации.

Выдача рекомендаций командному составу будет осуществляться по правилам вывода, заложенным в экспертную систему по результатам обработки комплекса сценариев аварийных ситуаций. Экспертные системы периодически должны пополняться новой информацией, получаемой в процессе эксплуатации как конкретного корабля, так и аналогичных объектов. Информация о текущих значениях наблюдаемых параметров может быть получена от систем контроля психофизиологического состояния личного состава, предусматривающих периодический контроль путем решения тестовых задач или непрерывный контроль психофизиологических параметров с дистанционным съемом показаний.

Для улучшения восприятия и анализа визуальной информации путем ее интеграции представление информации командному составу производится в виде системы пиктографических знаков в сочетании с синтезированными анимированными изображениями лиц командного состава, отображающими комплексные оценки степени безопасности корабля по своим заведованиям.

Предоставление обобщенной информации для командного состава на дисплеях в виде пиктографических знаков, принятых для определенных видов опасности (пожар, вода), может быть реализовано путем изменения их размеров, цвета и конфигурации.

Синтезированные анимированные изображения лиц командного состава могут быть заранее размещены в базе данных экспертной системы и выводятся на дисплей в соответствии с оценкой ситуации, определенной экспертной системой.

**Библиографический список**

1. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы: курс лекций. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.

2. Пат. 2 244 343 Российская Федерация, G08B23/00. Сигнализация, реагирующая на незаданные заранее, нежелаемые или ненормальные условия / Гончаров А. В. (RU), Проскуряков Н. В. (RU), Можаев А. А. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» (RU). № 2002120088/09; заявл. 30.07.2002; опубл. 20.02.2004.

3. Земляный Е. С. Пилотажно-навигационный комплекс с интеллектуальной поддержкой экипажа летательного аппарата: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.11.03) / Земляный Е. С. М.: ФГБОУВПО «МГТУ им Н. Э. Баумана», 2016.

**УДК 629.735.33**

***О. А. Гоголев***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***О. Л. Смирнов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

# КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ПЛАСТМАССОВЫХ КОРПУСОВ

В настоящее время проблема формирования электромагнитной обстановки, обеспечивающей нормальное функционирование радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), играет важную роль. Создание такой обстановки и поддержание электромагнитной безопасности может осуществляться различными способами, из которых наиболее эффективным на сегодня является экранирование электромагнитных волн защитными экранами.

В связи с всеобщей тенденцией снижение веса изделий, их производители переходят от металлических корпусов, которые могут обладать хорошими экранирующими свойствами без каких либо покрытий, к более легким и технологичным пластиковым корпусам, которые при всех их преимуществах не обладают экранирующими свойствами, поэтому при их применении встает важный вопрос их экранирования. Так как пространство внутри изделий очень часто бывает ограничено и все внутренние органы изделия взаимосвязаны, то установка громоздких экранов, выполненных из листов металла, не представляется возможной. В таких случаях экранирование осуществляется путем нанесения металлизированных покрытий на поверхность корпуса изделия, при этом большую роль в эффективности экранирования играет выбор материала для нанесения.

Рассмотрим основные критерии выбора материала металлизированного покрытия, наносимого на пластмассовые поверхности.

1. **Определение частоты, длины волны и зоны действия источника излучения**

Электромагнитные поля (ЭМП) – особая форма существования материи, характеризующаяся совокупностью электрических и магнитных свойств. К основным параметрам электромагнитного поля относятся частота, длинна волн и скорость их распространения. Скорость распространения электромагнитных волн постоянна для конкретной среды и равна скорости света (в вакууме скорость света $c = 3 \times 10^8$ м/с). Принята следующая классификация электромагнитных волн (табл. 1) [1].

*Таблица 1*

Классификация электромагнитных волн

| № диапазона | Название диапазонов по частоте | Диапазон частот | Название диапазонов по длине волн | Длина волн |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Крайне низкие, КНЧ | 3–30 Гц | Декамегаметровые | 100–10 мм |
| 2 | Сверхнизкие, СНЧ | 30–300 Гц | Мегаметровые | 10–1 мм |
| 3 | Инфранизкие, ИНЧ | 0,3–3 кГц | Гектокилометровые | 1000–10 км |
| 4 | Очень низкие, ОНЧ | 3–30 кГц | Мириаметровые | 100–10 км |
| 5 | Низкие, НЧ | 30–300 кГц | Километровые | 10–1 км |
| 6 | Средние, СЧ | 0,3–3 МГц | Гектометровые | 1–0,1 км |
| 7 | Высокие, ВЧ | 3–30 МГц | Декаметровые | 100–10 м |
| 8 | Очень высокие, ОВЧ | 30–300 МГц | Метровые | 10–1 м |
| 9 | Ультравысокие, УВЧ | 0,3–3 ГГц | Дециметровые | 1–0,1 м |
| 10 | Сверхвысокие, СВЧ | 3–30 ГГц | Сантиметровые | 10–1 см |
| 11 | Крайне высокие, КВЧ | 30–300 ГГц | Миллиметровые | 10–1 мм |
| 12 | Гипервысокие, ГВЧ | 300–3000 ГГц | Децимиллиметровые | 1–0,1 мм |

Начиная от источника излучения всю область распространения электромагнитных волн можно условно разделить на три зоны:

1) ближнюю – здесь преимущественно действует механизм индукции с достаточно четким разделением на магнитную и электрическую составляющие. Напряженность поля быстро убывает (обратно пропорционально квадрату или кубу расстояния до источника), то есть $1/r^2$ или $1/r^3$;
2) переходную – зона формирования плоской электромагнитной волны;
3) дальнюю – зона действия плоской электромагнитной волны. Здесь напряженность поля убывает обратно пропорционально расстоянию до источника, то есть $1/r$.

Радиус ближней зоны принимается равным 1/6 длины волны, дальней – примерно 6 длин волн, переходная зона находится между ними (см. рисунок).

На рисунке E = 377 Н, где 377 – константа, волновое сопротивление вакуума, Ом.

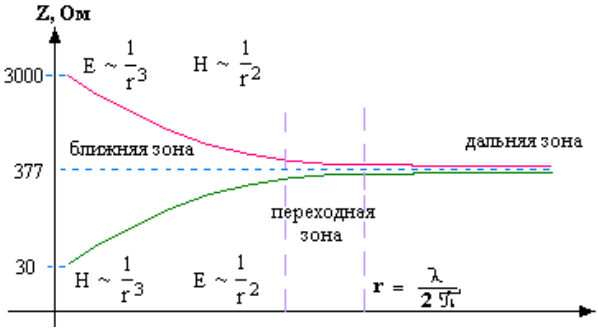



Схема зон распространения электромагнитных волн и напряженности поля

2. **Глубина проникновения электромагнитной волны ЭМВ (δ)**

В теории электромагнитного поля есть понятие глубины проникновения электромагнитной волны (которое с точки зрения электрических проводников называется толщиной скин-слоя), представляющее собой расстояние от поверхности вглубь проводящей среды, на котором напряженность электрического и магнитных полей, а следовательно, и плотность тока, уменьшаются в e = 2,71 раза. Она определяется как величина, обратная коэффициенту затухания, и зависит от частоты: чем больше частота, тем меньше глубина проникновения. $\delta = 1/\sqrt{\pi\mu f\sigma}$, где $f$ – частота электромагнитной волны, μ – абсолютная магнитная проницаемость, σ – удельная проводимость материала экрана [2].

3. **Удельная проводимость (удельная электропроводимость) (σ)**

Мера способности вещества проводить электрический ток измеряется в $Ом^{-1}*м^{-1}$. Величина, обратная удельной проводимости, называется удельным сопротивлением [2] (табл. 2).

*Таблица 2*

Удельное сопротивление и удельная электропроводность металлов

| Материал | Удельное сопротивление ρ (Ом*м) при 20 °С | Удельная электропроводность (См/м) при 20 °С |
|---|---|---|
| Серебро | $1{,}59 \times 10^{-8}$ | $6{,}30 \times 10^{-7}$ |
| Медь | $1{,}68 \times 10^{-8}$ | $5{,}96 \times 10^{-7}$ |
| Золото | $2{,}44 \times 10^{-8}$ | $4{,}10 \times 10^{-7}$ |
| Алюминий | $2{,}82 \times 10^{-8}$ | $3{,}5 \times 10^{-7}$ |
| Вольфрам | $5{,}60 \times 10^{-8}$ | $1{,}79 \times 10^{-7}$ |
| Цинк | $5{,}90 \times 10^{-8}$ | $1{,}69 \times 10^{-7}$ |
| Никель | $6{,}99 \times 10^{-8}$ | $1{,}43 \times 10^{-7}$ |
| Литий | $9{,}28 \times 10^{-8}$ | $1{,}08 \times 10^{-7}$ |
| Железо | $1{,}0 \times 10^{-7}$ | $1{,}00 \times 10^{-7}$ |

| Материал | Удельное сопротивление ρ (Ом*м) при 20 °С | Удельная электропроводность (См/м) при 20 °С |
|---|---|---|
| Платина | $1{,}06 \times 10^{-7}$ | $9{,}43 \times 10^{-7}$ |
| Олово | $1{,}09 \times 10^{-7}$ | $9{,}17 \times 10^{-7}$ |
| Свинец | $2{,}2 \times 10^{-7}$ | $4{,}55 \times 10^{-7}$ |
| Нихром | $1{,}10 \times 10^{-6}$ | $9{,}09 \times 10^{-7}$ |

4. **Магнитная проводимость (μ)**

Это физическая величина, характеризующая магнитные свойства вещества. Она определяет связь между магнитной индукцией и магнитным полем вещества.

По значению магнитной проницаемости вещества делятся на три группы: диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. Значения относительной магнитной проницаемости диамагнитных и парамагнитных материалов очень мало отличаются от единицы, поэтому для практических расчетов их магнитную проницаемость принимают равной единице [2].

*Таблица 3*

Значение относительной магнитной проницаемости μ

| Парамагнитные | μ | Диамагнитные | μ | Ферромагнитные | μ |
|---|---|---|---|---|---|
| Воздух | 1,0000003 | Висмут | 0,999825 | АРМКО-железо | 7000 |
| Олово | 1,000001 | Графит | 0,999895 | Пермаллой | 75000 |
| Алюминий | 1,000023 | Сурьма | 0,999937 | Листовая электро-техническая сталь | 1440 |
| Платина | 1,000364 | Серебро | 0,999981 | Никель | 1120 |
| Марганец | 1,0037 | Медь | 0,999991 | Кобальт | 174 |
| Палладий | 1,00069 | Цинк | 0,999981 | Чугун | 620 |

5. **Способ металлизации пластмасс**

Среди методов нанесения металлических покрытий на пластмассы можно выделить следующие:

- *механические* – покрытие формируют в виде фольги или слоя требуемой конфигурации и затем крепят его к поверхности пластикового изделия (обволакивание, огибание, склеивание, сваривание, горячее тиснение);
- *физические* – металл сначала доводят до парообразного или жидкого состояния и затем наносят на покрываемую поверхность (вакуумная металлизация или металлизация окунанием или обрызгиванием);
- *химические* – металл образуется в ходе химической реакции, протекающей на покрываемой поверхности. Химические способы металлизации в свою очередь подразделяются по виду среды, в которой протекает реакция металлизации (газовая, в растворе, в твердой фазе) [4].

6. **Адгезия**

Существуют несколько теорий, объясняющих адгезию между твердыми телами. В случае металлизированных пластмасс наиболее популярной является теория механического зацепления, предложенная Хейманом и впоследствии развитая Риделем. Согласно этой теории на поверхности хорошо протравленных пластмасс имеется большое число (до 10 на 1 см) микроуглублений размером от одного до нескольких микрометров, в которые проникает осаждаемый химическим способом металл, образуя механические замки. Теория хорошо объясняет образование прочной связи металла с пластмассами гетерогенного строения, с поверхности которых при травлении легко удаляется одна из фаз: для АБС-сополимеров – глобулы полибутадиена, для полипропилена – аморфная фаза.

Для функциональных металлических покрытий на пластмассах решающее значение имеют свойства металлического слоя, например электропроводность, магнитные свойства и другие, определяемые структурой металла и структурой покрытия. Адгезия – наиболее важное свойство, определяющее практическое применение металлизированных пластиков. От нее зависят и другие свойства: тепло-

стойкость и износостойкость. При декоративной металлизации пластмасс наименьшей допустимой адгезией на отслаивание считается 0,35–0,5 кгс/см. Нормальной является адгезия порядка 0,8–1,5 кгс/см на отслаивание или порядка 140 кгс/см$^2$ на отрыв. Для функциональных покрытий требования к адгезии значительно ниже, так как они работают в более постоянных и мягких условиях [3, 4].

**Вывод**

Эффективность экранирования пластмассовых корпусов при помощи металлизированных покрытий зависит от многих факторов, в том числе от конструктивных особенностей корпуса. Наиболее важную роль играет выбор материала покрытия. Для правильного выбора материала следует учесть множество теоретических факторов, но не стоит забывать об экономической целесообразности, доступности материала на рынках, эргономических параметрах выбираемого материала. Также после выбора материала на основе теоретических факторов необходимо провести практические испытания для подтверждения расчетных параметров, таких как эффективность экранирования (Дб).

**Библиографический список**

1. Сафонов Л. Электрические прямоугольные соединители. Обеспечение эффективности экранирования за счет применения металлизированных пластмассовых корпусов / Л. Сафонов, А. Сафонов // Технологии в электронной промышленности. 2007. С. 54–58.

2. Седельников Ю. Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Ю. Е.Седельников, Д. А. Веденькин; под ред. Ю. Е. Седельникова. Казань: ООО «Новое знание», 2016. 344 с.

3. Джек Е. МакКаски. Изучение механизмов сцепления металла с пластмассой // Мир гальваники. 2007. № 2. С. 17–22.

4. Ильин В. А. Металлизация диэлектриков. М.: Машиностроение, 1977. 80 с.

**УДК 621.37**

***Н. А. Грамзин***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных средств
***Д. К. Шелест***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Среди существующих методов обеспечения электромагнитной совместимости и помехоустойчивости наиболее распространен метод электромагнитного экранирования. Его широкое применение объясняется следующими достоинствами: высокая эффективность экранирования, доступность. Главный недостаток – вес экранов, но в настоящее время он легко устраняется благодаря использованию композиционных и сетчатых материалов.

Частое применение электромагнитных экранов из сетчатых материалов обусловлено их основными достоинствами: легкостью, простотой изготовления, удобством сборки и эксплуатации, высокими вентиляционными свойствами, светопроницаемостью, а самое главное – возможностью обеспечить высокую степень экранирования в широком диапазоне частот. Главными недостатками являются меньшая механическая прочность, потери эффективности в результате старения. Стоит отметить, что при грамотной эксплуатации данные недостатки могут быть устранены [1, 2].

Экспериментально подтверждено следующее: качество контакта в узлах ячеек сетки практически не влияет на эффективность экранирования. На практике видно, что даже в старых сетках, покрытых коррозионным слоем, в местах перекрещивания токи отлично переходят с одной проволоки на другую. Следовательно, для того чтобы обеспечить высокую степень экранирования, необходимо и достаточно создать по швам в местах соединений отдельных кусков сетки хороший электрический контакт. Компенсация нарушений контакта в узлах ячеек на высоких частотах произойдет за счет малых переходных емкостных сопротивлений [1, 2].

Основные параметры, определяющие экранирующие свойства сетчатых материалов:

– размер ячейки $w$ (расстояние между соседними центрами проволоки);

– диаметр проволоки $d$;

– удельная проводимость материала сетки $\rho$.

В соответствии с этим различают густые ($w / d \le 4$) и редкие ($w / d > 4$) сетки. Для определения эффективности экранирования сетчатых экранов можно воспользоваться выражением (1). Данное выражение справедливо для редких сеток [1]. Так, при расчете эффективности экранирования для густых сеток результаты будут не совсем корректны.

$$Э = \frac{\lambda}{2w\left(\ln\left(\frac{\pi d}{w}\right)\right)}, \text{ Дб} \qquad (1)$$

Для определения эффективности экранирования проволочных сеток можно воспользоваться выражениями (2) – (11), применяемыми для экрана с перфорацией прямоугольными отверстиями (рис. 1), приняв за толщину экрана $t$ диаметр проволоки $d$ и К1 = 0. В случае если сетчатый материал с шестигранными отверстиями, пользуются выражениями (12) – (20), применяемыми для экранов с перфорацией круглыми отверстиями (рис. 2), приняв в качестве диаметра отверстия $d$ расстояние между гранями, а вместо расстояния между отверстиями $S$ – толщину стенок.

$$Э = К_{отр\,1} + К_{погл\,1} + К_{м.\,отр\,1} + К1 + К2 + К3, \text{ Дб} \qquad (2)$$

где

$$К_{отр\,1} = 27{,}3\left(\frac{t}{W}\right), \qquad (3)$$

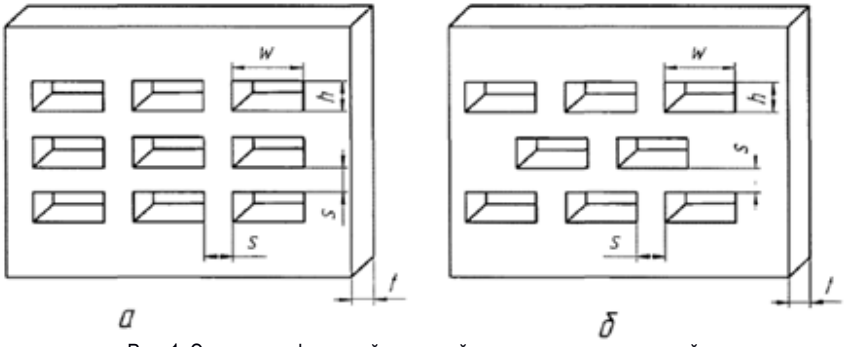



Рис. 1. Экран с перфорацией матрицей прямоугольных отверстий

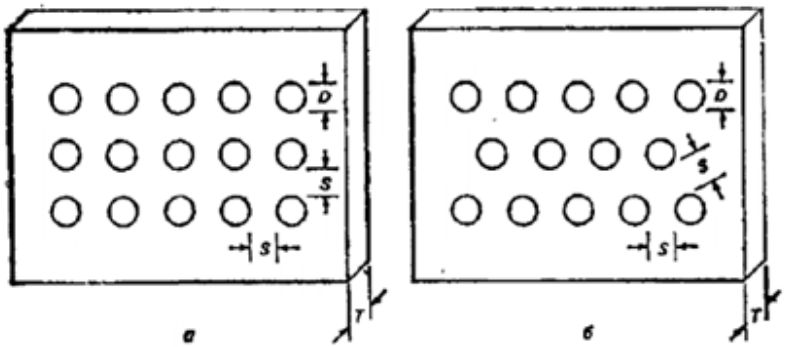



Рис. 2. Экран с перфорацией матрицей круглых отверстий

$$K_{\text{погл }1} = 20\lg\left(\frac{|1+k|^2}{4|k|}\right), \tag{4}$$

$$K_{\text{м. отр }1} = 20\lg 1 - \frac{(k-1)^2}{(k+1)^2 10^{-2{,}73\,t/W}}, \tag{5}$$

для магнитных полей

$$k = \frac{W}{\pi r}, \tag{6}$$

для плоских волн

$$k = \frac{j2W}{\lambda}, \tag{7}$$

для электрических полей

$$k = \frac{-4\pi r W}{\lambda^2}, \tag{8}$$

$$K1 = 10\lg\frac{(W+S)(H+S)}{WH}, \tag{9}$$

$$K2 = -20\lg 1 + \frac{35}{(S/\delta)^{2,3}}, \tag{10}$$

$$К3 = 20\lg\frac{\exp\left(\frac{6{,}29t}{W}\right)+1}{\exp\left(\frac{6{,}29t}{w}\right)-1} \tag{11}$$

$$Э = К_{отр\,1} + К_{погл\,1} + К_{м.\,отр\,1} + К1 + К2 + К3,\ Дб \tag{12}$$

$$К_{отр\,1} = 32\left(\frac{t}{d}\right), \tag{13}$$

$$К_{погл\,1} = 20\lg\left(\frac{|1+k|^2}{4}|k|\right), \tag{14}$$

$$К_{м.\,отр\,1} = 20\lg\left|1-\frac{(k-1)^2}{(k+1)^2 10^{-2{,}73\,t/W}}\right|, \tag{15}$$

$$k = \begin{cases} \dfrac{d}{3{,}682r}, \text{ для магнитных полей} \\ \dfrac{j2\pi d}{3{,}682\lambda}, \text{ для плоских волн} \\ \dfrac{-4\pi^2 dr}{3{,}682\lambda^2}, \text{ для электрических полей} \end{cases} \tag{16}$$

$$К1 = \begin{cases} 10\lg\left[\dfrac{4(d+S)^2}{\pi d^2}\right], Дб \\ 10\lg\left[\dfrac{3{,}464(d+S)^2}{\pi d^2}\right], Дб \end{cases} \tag{17}$$

$$К2 = -20\lg\left[1+\frac{35}{(S/\delta)^{2,3}}\right], \tag{18}$$

$$К3 = 20\lg\frac{\exp\left(\frac{7{,}37t}{W}\right)+1}{\exp\left(\frac{7{,}37t}{w}\right)-1}. \tag{19}$$

В источнике [3] есть описание зависимостей эффективности экранирования от частоты для двух медных и двух стальных сеток. Результаты представлены на рис. 3. Медные сетки обозначаются сплошными линиями, стальные – штриховыми.

Кривая *1* – медная сетка, кривая *2* – стальная с $d$ = 0,2 мм и расстоянием между соседними проволоками $w$ = 1 мм. Кривая *3* – медная сетка, кривая *4* – стальная с $d$ = 2 мм, $w$ = 10 мм.

В ходе анализа зависимостей были выявлены следующие закономерности:

1. В связи с тем, что активное сопротивление каждой проволоки на низких частотах обратно пропорционально $d^2$, при выполнении условия $w/d$ и для одного и того же материала редкие сетки на низких частотах более эффективны, чем густые.

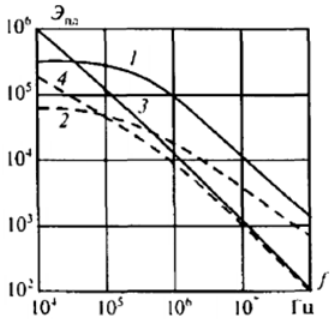



Рис. 3. Зависимость эффективности от частоты для металлических сеток

2. Медные сетки на низких частотах эффективнее стальных, поскольку удельная проводимость меди больше, чем у стали.

3. Толстые сетки при одинаковых размере ячейки и материале эффективнее сеток из тонкой проволоки.

4. При $d \ll \delta$ экран из двустенной сетки намного эффективнее одностенного, в отличие от случая применения сплошных экранов.

**Библиографический список**

1. Князев А. Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А. Д. Князев, Л. Н. Кечиев, Б. В. Петров. М.: Радио и связь, 1989. 224 с.

2. Волин М. Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1981. 296 с.

3. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Интеллект, 2010. 120 с.

**УДК 621.3.049.77**

***Е. М. Дорофеева***
студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ

На сегодняшний день соединение с помощью проволочных выводов является самым распространенным видом электрического соединения между контактной площадкой кристалла и выводами корпуса или элементов, несмотря на стремительное развитие конкурирующих вариантов. Проволочный монтаж – базовый метод сборки интегральных микросхем (включая БИС). Это обусловлено не только геометрическими размерами микросхем, но и высокой автоматизацией данного процесса, универсальностью технологических вариантов производства.

Недостатком проволочного монтажа является то, что получаемые перемычки часто становятся причиной отказов интегральных микросхем. Как правило, такие отказы вызваны разрушением выводов у самого их основания из-за микротрещин, образующихся во время формирования паяного соединения и последующего образования механических напряжений в зоне соединения. Логичным решением проблемы является изменение технологии образования паяного соединения.

Последовательность операций при сборке микросхем с использованием проволочных соединений представлена на рис. 1.

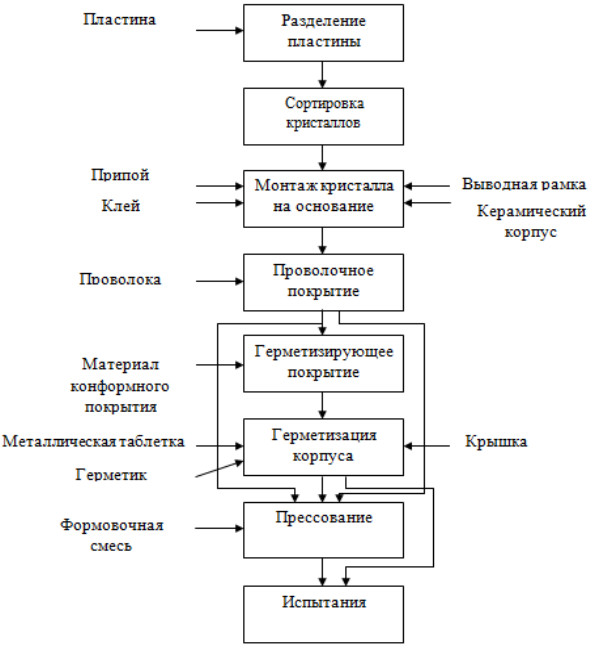



Рис. 1. Операции сборки кристаллов при проволочном монтаже

Для монтажа алюминиевых проволочных выводов к контактным площадкам и траверсам корпусов можно использовать ультразвуковую пайку (рис. 2).

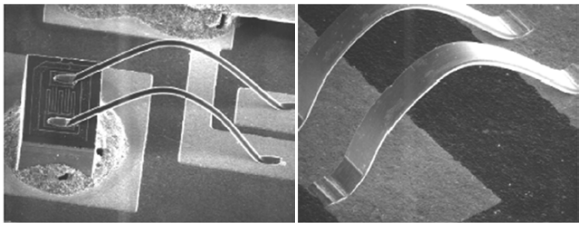


Рис. 2. Паяные соединения круглого и плоского сечений

Передаваемая УЗ-генератором электрическая энергия влияет на амплитуду вырабатываемых ультразвуковых колебаний: при малых значениях колебаний паяные соединения могут не образоваться, в то время как при больших значениях элементы, подлежащие монтажу, могут разрушиться.

Время пайки ультразвуком определяют исходя из времени разрушения оксидных пленок соединяемых элементов, а также характером взаимодействия используемых материалов в твердой среде. Повышение времени пайки способствует увеличению прочности соединений, что объясняется усилением диффузионного взаимодействия. Однако при времени пайки, превышающем 0,5 секунды, такой эффект сменяется усталостным разрушением соединений.

Еще одним фактором, влияющим на прочность соединения, является статическая нагрузка на инструмент. Она определяет усилие сжатия подлежащих соединению компонентов, не вызывая критическую деформацию, что позволяет получать стабильные по прочности паяные соединения.

В состав УЗ-системы микросварки входят ультразвуковой генератор (УЗГ) и ультразвуковой преобразователь (УЗП), преобразующий подводимую электрическую энергию в энергию механических колебаний. Конструкция УЗП состоит из следующих составных частей (рис. 3): магнитострикционного преобразователя или пьезокерамического вибратора, состоящего из четырех или шести пьезокерамических колец, стянутых между собой шпилькой с металлическими накладками; цилиндрического держателя, закрепленного в узле волновода и предназначенного для крепежа УЗП в сварочной головке установки; волновода или акустического трансформатора. На конце волновода закреплен микроинструмент с помощью клеммного или торцевого зажима.

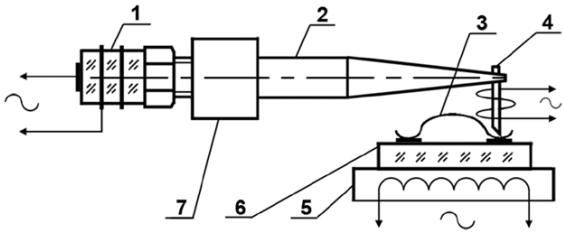



Рис. 3. Схема УЗ-микросварки: *1* – УЗ-преобразователь; *2* – волновод; *3* – микропроводник; *4* – инструмент; *5* – нагреватель; *6* – кристалл; *7* – держатель

Сечение волновода обычно уменьшается к концу волновода, где крепится микроинструмент, чем достигается необходимый коэффициент усиления механических колебаний.

Моделирование процесса с помощью полного факторного эксперимента (ПФЭ) проводится по заранее подготовленному плану. Среди преимуществ ПФЭ можно выделить четкую и строгую логическую схему проведения процесса исследования, сокращение объема исследований, формализацию и оптимизацию процесса построения модели.

При ПФЭ модель процесса представляет полином:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i \neq j}^{k} b_{ij} x_i x_j. \qquad (1)$$

Для обработки результатов опыта вводится кодирование независимых факторов $X_i$:

$$X_i = (x_i - x_{0i}) / \Delta x_i, \tag{2}$$

где $x_i$ – натуральное значение фактора; $x_{0i}$ – базовый, или начальный, уровень $i$-го фактора; $\Delta x_i$ – шаг варьирования по $i$-му фактору.

Если число уровней каждого фактора равно двум (верхний и нижний), то общее число опытов $N = 2^k$, где $k$ – число факторов. Условия эксперимента записывают в виде матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов. После выполнения ПФЭ осуществляют независимую оценку коэффициентов полинома:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \overline{y_i}}{N}, b_i = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i \overline{y_i}}{N}, b_{ij} = \frac{\sum_{i=j}^{N} x_i x_j \overline{y_i}}{N}. \tag{3}$$

Далее определяют дисперсии среднего арифметического в каждой строке матрицы, которые должны быть однородны:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m} \left( y_i - \overline{y_i} \right)^2, \tag{4}$$

где $m$ – количество параллельных опытов.

Если одна дисперсия значительно превышает остальные, можно воспользоваться критерием Кохрена, который пригоден, когда число опытов во всех точках одинаково. При этом рассчитывают дисперсии в каждой горизонтальной строке матрицы $S_i^2$, а затем из всех дисперсий выбирают наибольшую $S_{\max}^2$, рассчитывают критерий Кохрена

$$G = S_{\max}^2 \{y\} / \sum_{i=1}^{N} S_i^2 \tag{5}$$

и сравнивают с табличным значением в зависимости от выбранного уровня вероятности $P$. Если табличное значение критерия больше, чем рассчитанное, то дисперсии однородны. Дисперсия всего эксперимента

$$S^2 \left( \overline{y} \right) = \left( \sum_{i=1}^{N} S_i^2 \right) / N. \tag{6}$$

При ортогональном планировании дисперсии ошибок определения каждого из коэффициентов равны между собой:

$$\sigma^2 \{b_i\} = S^2 \{\overline{y_i}\} / N. \tag{7}$$

Оценка достоверности коэффициентов регрессии производится с помощью критерия Стьюдента ($t$). Если $b_i < t_{\text{табл}} \sigma(b_i)$, то коэффициент считается незначимым. Значения критерия Стьюдента определяются в зависимости от числа степеней свободы $f_1 = N(m - 1)$ и уровня значимости.

Для оценки адекватности математической модели используют критерий Фишера ($F$). Для этого оценивают дисперсию адекватности и $F$-критерий:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{N-d} \sum_{i=1}^{N} \left( \overline{y_i} - \hat{y}_i \right)^2, \tag{8}$$

где $d$ – число членов в уравнении регрессии, за исключением $b_0$.

$$F = \sigma_{ad}^2 / S^2 \left( \hat{y} \right). \tag{9}$$

Если $F < F_{табл}$, то модель признается адекватной. Значение $F_{табл}$ выбирается в зависимости от числа степеней свободы $f_1 = N - d$ и $f_2 = N(m - 1)$. Если условие не выполняется, то модель считается неадекватной. Для получения адекватной модели необходимо сузить интервалы варьирования, увеличить количество параллельных опытов $m$ и повторить ПФЭ.

После проведения ПФЭ дальнейшие действия должны сводиться к нахождению оптимальных сочетаний факторов, чтобы приблизить данный процесс к оптимальному. На первом этапе по коэффициентам в уравнении регрессии судят о том, как сильно и в каком направлении влияет каждый фактор на параметр оптимизации. Увеличение фактора при положительном коэффициенте увеличивает значение функции $y$, увеличение факторов при отрицательном коэффициенте уменьшает значение функции. Абсолютные значения коэффициентов возрастают с увеличением интервалов варьирования.

Далее анализируются эффекты взаимодействия. Если эффект взаимодействия двух факторов имеет положительный знак, то для увеличения функции $y$ требуется одновременное увеличение или уменьшение значений факторов, а для уменьшения $y$ значения факторов должны одновременно изменяться в разных направлениях.

**Библиографический список**

1. Белоус А. И. Основы технологии микромонтажа интегральных схем / А. И. Белоус, В. А. Емельянов, А. С. Турцевич. М.: Книга, 2013. 45–49 с.

2. Ланин В. Д. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике // Технологии в электронной промышленности. М.: Книга, 2007. № 16.

3. Кундас С. П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / С. П. Кундас, В. Д. Ланин, М. Д. Тявловский, А. П. Достанко М.: Книга, 2002. 264 с.

**УДК 629.735.33**

***А. Е. Драчев***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Д. К. Шелест***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛООТВОДОМ НА ОСНОВАНИЕ

Модель для расчета тепловых режимов модулей рамочных конструкций с теплоотводом на основание, приведенная далее, дает возможность определять параметры элементов конструкции устройств при различных входных параметрах: количество слоев в пакете, мощность каждого слоя платы, условия установки и эксплуатации [1].

Для удобства расчетов рассматривается цилиндрическая структура, представляющая собой набор круглых теплопроводящих дисков с различным тепловыделением. При этом можно считать, что задача имеет радиальную симметрию, то есть что интенсивность тепловыделения зависит только от радиуса рассматриваемой на диске точки. Радиус самого диска принимается таким, чтобы длина окружности диска равнялась периметру рассматриваемой платы. Обозначив через *a* и *b* длины сторон прямоугольной платы модуля, для радиуса эквивалентного диска будет справедливо следующее равенство (1):

$$R = \frac{a+b}{\pi}. \tag{1}$$

Далее рассматривается распределение температуры на отдельном слое. Пусть интенсивность тепловыделения *q* зависит от радиуса, то есть *q = q(r)*. Уравнение для баланса тепла в полярных координатах имеет следующий вид (2):

$$kd\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dU}{dr}\right)+q(r)=0, \tag{3}$$

где *U(r)* – температура в слое, зависящая от координат, *k* – коэффициент теплопроводности материала слоя, *d* – толщина теплопроводящего слоя. Интегрируем это уравнение по площади круга радиуса *r* (3):

$$2\pi kdr\frac{dU}{dr}=-\int_0^{2\pi}\int_0^{r} rq(r)\,dr\,d\varphi=-Q(r), \tag{3}$$

где *Q(r)* – общее тепловыделение всех активных элементов, расположенных внутри этого круга. Отсюда температура любой точки внутри круга может быть выражена через температуру границы *U(r)* (4):

$$U(r)=U(R)+\frac{1}{2\pi kd}\int_r^R Q(r)\frac{dr}{r}. \tag{4}$$

Перепад температуры между центром платы и периферией в случае равномерного тепловыделения равен (5):

$$\Delta U=U(0)-U(r)=\frac{1}{4}\frac{qR^2}{kd}=\frac{Q}{4\pi kd}. \tag{5}$$

Рассмотрим режим, обеспечивающий нормальную работу электрорадиоэлементов при условии, что теплообмен на поверхности платы отсутствует и на монтажном основании поддерживается постоянная температура.

Примем температуру основания равной нулю. Это не уменьшает общности рассмотрения, так как при температуре основания не равной нулю все результаты следует увеличить на значение температуры основания. Поскольку в самой плате тепло практически не распространяется, то для упрощения расчетов считается, что все тепло, выделяемое активными элементами, передается металлической подложке платы модуля с кондуктивным теплоотводом.

Нумерация слоев производится с основания. Таким образом, первый тепловыделяющий слой имеет номер *1*, а последний слой – номер *N*. Верхняя крышка конструкции, в которой тепло не выделяется, имеет номер *N* + *1*.

Для боковой поверхности конструкции при отсутствии теплообмена уравнение теплопроводности в установившемся стационарном режиме имеет простой вид (6):

$$\frac{d^2U}{dz^2} = 0. \tag{6}$$

Оно имеет линейное решение (7):

$$U(z) = A(z) + B. \tag{7}$$

Поскольку на линии пересечения экрана с боковой поверхностью конструкции имеет место выход тепла на боковую поверхность и этот выход различен для разных слоев, то коэффициенты *A* и *B* могут быть различными при переходе от слоя к слою. Поэтому для каждого слоя решения уравнения могут быть различными.

Обозначим через $U_n(z)$ температуру боковой поверхности в интервале между выходами на поверхность (*n* – *1*)-го и *n*-го слоев, а через $U(n)$ – температуру в месте выхода на поверхность *n*-го слоя, тогда

$$U_n(z) = A_n(z) + B_n. \tag{8}$$

На границе, то есть на линии выхода теплопроводящего слоя на боковую поверхность конструкции, должны выполняться условия (9) и (10):

$$U_n(z) = U_{n+1}(z)\big|_{z=nl}; \tag{9}$$

$$kd_1\left[\frac{dU_{n+1}(z)}{dz} - \frac{dU_n(z)}{dz}\right]_{z=nl} = -\frac{Q_n}{2\pi R}. \tag{10}$$

где *k* – коэффициент теплопроводности материала боковой поверхности, $d_1$ – толщина боковой стенки.

При *z* = 0 $U_1(0) = 0$. Отсюда $B_1 = 0$. При *z* = *(N* + 1*)l* (11):

$$\left.\frac{dU_{N+1}}{dz}\right|_{z=(N+1)l} = 0. \tag{11}$$

Тогда $A_N + 1 = 0$. Простой подстановкой можно получить следующую систему уравнений (12) и (13):

$$(A_{n+1} - A_n)nl + (B_{n+1} - B_n) = 0; \tag{12}$$

$$A_{n+1} - A_n = \frac{Q_n}{2\pi k d_1 R}. \tag{13}$$

Суммируя уравнения (12) от *n* = *1* до *n* – *1*, а уравнение (13) от *n* – *1* до *N*, получаем (14) и (15):

$$B_n = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i il}{2\pi R k d_1}; \tag{14}$$

$$A_n = \sum_{i=n-1}^{N} \frac{Q_i}{2\pi R k d_1}. \quad (15)$$

Тогда функция $Q_n(z)$имеет вид (16):

$$U_n(z) = \frac{1}{2\pi R k d_1}\left[\left(\sum_{i=n-1}^{N} Q_i\right) z + l\sum_{i=1}^{n-1} i Q_i\right]. \quad (16)$$

В местах соединения слоев с боковой поверхностью, то есть при $z = n1$, будет справедливо следующее выражение (17):

$$U(n) = \frac{1}{2\pi R k d_1}\left[n\sum_{i=n-1}^{N} Q_i + \sum_{i=1}^{n-1} i Q_i\right]. \quad (17)$$

Таким образом, зная тепловыделение каждого слоя $Q_n$, с помощью полученного выражения можно вычислить температуры в местах выхода слоев на боковую поверхность. Далее при известных расположениях и тепловыделениях активных элементов можно найти температурное поле в каждом слое.

**Библиографический список**

1. Богданов Ю. А. Расчет тепловых режимов рамочных конструкций с теплоотводом на основание / Ю. А. Богданов, И. Э. Квинт [и др. ] // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 10–13.

**УДК** 621.3.036.2

***Д. А. Жданов***
студент кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств
***Д. К. Шелест***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ТЕРМОИНТЕРФЕЙСЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Одной из важнейших задач, возникающих сегодня у разработчиков радиоэлектронных средств, является задача теплоотвода. В большинстве случаев оптимальным решением данной задачи является применение термоинтерфейсов. В данной статье рассматриваются их формы и типы.

Термоинтерфейс – это слой теплопроводящего состава между охлаждаемой поверхностью и отводящим тепло устройством. Существуют следующие формы термоинтерфейсов: теплопроводящие пастообразные составы, полимеризующиеся теплопроводные составы, теплопроводящие клеящие составы, теплопроводящие прокладки, припои и жидкие металлы.

Типы термоинтерфейсов: теплопроводная паста (термопаста), теплопроводящие клеи, пайка, изолирующие термоинтерфейсы.

Теплопроводная паста – многокомпонентное пластичное вещество с высокой теплопроводностью, используемое для уменьшения теплового сопротивления между двумя соприкасающимися поверхностями. Типичными и самыми распространенными термопастами отечественного производства являются КПТ-8 и АлСил-3. Термопаста используется в электронных устройствах в качестве термоинтерфейса между тепловыделяющими элементами и устройствами отвода тепла от них (например, между процессором и радиатором). Главное требование при применении теплопроводящей пасты – минимальная толщина ее слоя. Паста заполняет мельчайшие углубления в поверхностях и вытесняет воздух, обладающий крайне низкой теплопроводностью.

Основные требования к термопастам:

- наименьшее тепловое сопротивление;
- стабильность свойств с течением времени работы и хранения;
- стабильность свойств в рабочем диапазоне температур;
- удобство нанесения и легкость смывания.

В некоторых случаях от теплопроводных составов требуются высокие электроизоляционные свойства.

Теплопроводящие клеи применяются в случае, если невозможно использование теплопроводной пасты из-за отсутствия крепежа для монтажа теплоотводящей арматуры к процессору, транзистору и т. п. Это неразборное соединение и требует соблюдения технологии склеивания. В случае ее нарушения возможно увеличение толщины термоинтерфейса, которое приведет к ухудшению теплопроводности соединения.

Пайка – набирающий популярность термоинтерфейс, основанный на пайке поверхностей легкоплавким металлом. При правильном применении такой метод дает рекордные параметры удельной теплопроводности, однако он имеет множество ограничений и подводных камней.

В первую очередь проблемой является материал поверхностей и качество подготовки к монтажу. В производственных условиях возможна пайка любых материалов (некоторые требуют специальной подготовки поверхностей). В бытовых условиях или в мастерских пайкой соединяются медные, серебряные, золотые поверхности и другие хорошо поддающиеся лужению материалы. Алюминиевые, керамические и полимерные поверхности совершенно непригодны (а значит, невозможна гальваническая изоляция деталей).

Перед соединением пайкой поверхности очищают от загрязнений. Чрезвычайно важна качественная очистка поверхностей от всех типов загрязнений и следов коррозии, поскольку при низких температурах флюсы неэффективны и не используются. Пайка выполняется нагревом соединения при заданном производителем термоинтерфейса усилии. При этом некоторые типы промышленных термоинтерфейсов требуют первоначального разогрева обеих спаиваемых деталей до 60–90 °С, что может

быть опасно для чувствительных к перегреву электронных компонентов. Обычно рекомендуют делать предварительный разогрев (например, феном) с последующей окончательной спайкой саморазогревом работающего устройства.

Изолирующие термоинтерфейсы обычно используются в силовой электронике. Электрическая изоляция выполняется с помощью керамических, слюдяных, силиконовых или пластиковых прокладок, подложек, покрытий. Это могут быть:

- гибкие прокладки из силиконовых компаундов и твердые прокладки из керамики;
- печатные платы с основой из алюминиевого или медного листа, покрытого тонким керамическим слоем, поверх которого нанесена медная фольга дорожек. Такие платы, как правило, односторонние (фольга с одной стороны), а второй стороной они крепятся к теплоотводу (радиатору);
- полностью изолированные силовые компоненты (металлический теплоотвод стандартных корпусов силовых электронных компонентов покрыт слоем эпоксидного состава).

Из рассмотренных типов термоинтерфейсов теплопроводная паста наиболее приспособлена для решения задачи теплоотвода, поскольку она эффективна, доступна и проста в применении. Для силовой электроники целесообразно использовать изолирующие термоинтефейсы с термопастой одновременно.

**Библиографический список**

1. Шишкин Р. А., Ерхова Н. А., Елагин А. А. [и др.] Теплопроводные пасты высокотемпературного назначения // Технические науки: от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXI междунар. науч.-практ. конф. № 2(27). Новосибирск: СибАК, 2014.

2. Мюллер Скотт. Модификации: охлаждение // Модернизация и ремонт ПК / Пер. с англ. 17-е изд. М.: Вильямс, 2008. С. 1308–1316.

**УДК 629.735.33**

***А. И. Кривалова***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## АНАЛИЗ ВИДОВ И СОСТОЯНИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОДЛОЖЕК, ПОДЛЕЖАЩИХ ОЧИСТКЕ, В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Характерными тенденциями современного полупроводникового производства являются повышение степени интеграции элементов на кристалле, увеличение диаметра пластин с соответствующим уменьшением топологических норм. С уменьшением минимальных размеров элементов и межсоединений в интегральных схемах (ИС) механические загрязнения (частицы) малых размеров оказывают все большее отрицательное влияние на работу приборов. Интерес вызывает процесс плазмохимической очистки («сухие» методы очистки), применяющийся в производстве электронных компонентов [1].

Плазменные процессы применяются перед операциями микросборки: монтаж кристаллов на подложки и в корпуса, разварка тонкой проволокой и герметизация. Большинство проблем, возникающих при изготовлении микросборок, связано с наличием загрязнений на поверхности подложек. В данной статье проведен анализ видов и источников загрязнений подложек, особенности плазменных процессов, применяемых перед операцией монтажа кристаллов на подложку.

Загрязнения представляют собой органические вещества, которые могут как естественным образом адсорбироваться из атмосферы, так и привноситься при неаккуратном обращении с подложками, например при тактильном контакте.

В субмикронной и нанометровой технологиях не допускается наличие посторонних частиц на поверхностях полупроводниковых пластин, так как это приводит к возникновению дефектов и снижению выхода годных ИС.

Основные источники загрязнений:

- персонал (волосы, отпечатки пальцев, частицы одежды, парфюмерия, продукты дыхания и др.) – по эмпирическим данным примерно 30–40% от общего количества загрязнений;
- технологические среды (загрязнения от используемой воды, газов, химических реактивов и др.) – в среднем 5–10% от общего количества загрязнений;
- технологическое оборудование (конструкции, материалы, инструменты, тара и др.) – от 20 до 30% от общего количества загрязнений;
- производственная среда помещения и технологический процесс (пыль, водяные пары, пары масел и др.) – около 25–35% от общего количества загрязнений.

Из приведенных данных видно, что основным источником загрязнений является персонал. В табл. 1 рассмотрены типичные ситуации, создающие повышение уровня загрязненности персоналом.

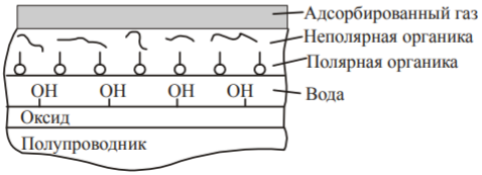
*Таблица 1*

| Ситуация | Коэффициент повышения уровня загрязненности воздушной среды чистой комнаты |
|---|---|
| Более трех сотрудников собираются вместе | 1,5–3 |
| Ходьба обычная | 1,2–2 |
| Ходьба медленная | 1,0–1,2 |
| Снятие спецодежды | 10–50 |
| Надевание спецодежды | 1,5–3 |
| Вынимание носового платка из кармана | 3–10 |
| Дыхание в течение 20 минут после курения | 2–5 |
| Чихание или кашель | 5–20 |

Необходимо тщательно продумывать планировку чистой комнаты и расположение технологического оборудования в ней, чтобы ограничить движение персонала.

При изготовлении ИС полупроводниковые пластины на каждом этапе обработки загрязняются частицами пыли, молекулами металлов и органических веществ. В реакторах на поверхности кремниевой пластины образуются скопления продуктов реакций и частиц кварца, используемого для изготовления оснастки, а также тонкий слой естественного («воздушного») оксида.

Загрязнения на поверхности пластины существуют в твердой, жидкой и газообразной фазах, а также в виде смесей. Характер расположения различных типов загрязнений на поверхности кремния представлен на рисунке.




Типы загрязнений на поверхности кремния

Слой естественного оксида образуется при промывке пластин водой и хранении пластин полупроводника в межоперационной таре и является поверхностным загрязнением, толщина пленки которого зависит от времени их хранения.

Основные типы загрязнений, источники их образования, формы прилипания к поверхности полупроводников, а также влияние примесных загрязнений на характеристики ИС представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

| Типы загрязнений | Источники загрязнений | Формы прилипания | Влияние на характеристики ИС |
|---|---|---|---|
| Ионные (щелочные металлы: Na, K и др.) | Персонал, технологические среды (растворы, вода) | Физическая или химическая адсорбция в виде ионов | Нестабильность параметров вследствие появления подвижных ионов, встроенный заряд в МОП ИС |
| Атомарные (тяжелые металлы: Cu, Fe, Au и др.) | Химикаты, оснастка, персонал | В виде атомов | Уменьшение времени жизни неосновных носителей заряда, увеличение тока утечки |
| Молекулярные (органические вещества, жиры, масла) | Технологические среды, персонал и оборудование | В виде молекул | Плохая адгезия между слоями ИС, ухудшение контактных свойств на границах раздела, образование дефектов в виде карбида Si |
| Прилипшие частицы (пыль, продукты реакции) | Технологическое оборудование и среды, персонал, воздух, вода | Физическая и химическая адсорбция | Дефекты фотолитографии, проколы в диэлектриках |

Содержание таблицы убедительно доказывает необходимость очистки пластин для удаления загрязнений. При этом поверхность считается чистой, если она содержит количество загрязнений меньше допустимого, обеспечивающего необходимые электрофизические параметры и выход годных ИС.

Выход годных определяется следующим образом:

$$\eta = [1/(1 + D_1S) \times 1/(1+D_2S) \times \ldots \times 1/(1 + D_nS)]100\%,$$

где $D_1$, $D_2$, $D_n$ – плотность дефектов в каждом последующем функциональном слое; $S$ – площадь кристалла.

Сухие методы очистки позволяют автоматизировать процессы очистки, но более эффективно применение комбинированных методов очистки.

В табл. 3 представлены сведения о физических (сухих) методах очистки, принципах очистки и удаляемых типах загрязнений [2].

*Таблица 3*

| Метод | Принцип очистки | Удаляемые типы загрязнений |
|---|---|---|
| Плазменный | Химические взаимодействия в плазме, бомбардировка тяжелыми ионами плазмы | Молекулярные, диоксид кремния, фоторезисты, инородные атомы |
| Ионно-лучевой | Травление распылением под действием ионного пучка | Атомарные, молекулярные |
| Фотохимический | Фотохимическое взаимодействие в среде активных газов | Молекулярные, диоксид кремния, фоторезисты |
| Высокотемпературный | Десорбция, испарение в вакууме, восстановительная обработка | Молекулярные, атомарные, ионные |

Косвенным методом оценки качества плазменной очистки является измерение угла смачивания (угла между поверхностью и касательной к профилю находящейся на ней капли жидкости в точке примыкания капли к поверхности). После обработки плазмой гидрофильные свойства поверхности изделий улучшаются, следовательно, угол смачивания уменьшается. Для контроля качества очистки существуют специальные установки, основанные на этом принципе, они помогают правильно подобрать рабочий режим.

Рассмотрим некоторые типичные проблемы, которые необходимо решить при плазменной очистке. При монтаже полупроводникового кристалла на клей необходимо обеспечить его равномерное нанесение. С этой целью подбирается оптимальное распределение клея по посадочному месту, но загрязнения могут значительно снизить эффективность этой меры. Они препятствуют качественной адгезии клея к подложке, вследствие чего даже при наилучшим образом подобранном способе нанесения клея в дальнейшем образуются отслоения. Помимо низкого качества монтажа с точки зрения его механической прочности, важным негативным фактором при этом является низкая теплопроводность, что ведет к перегреву кристалла при работе электронного устройства. Плазменная очистка перед нанесением клея обеспечивает прочность соединения кристалла с подложкой и хороший теплоотвод.

При оснащении производства новым технологическим оборудованием системы плазменной очистки оказываются далеко не на первом плане. В то же время условия складирования материалов не всегда идеальны, и при длительном хранении естественное загрязнение неминуемо. Даже при применении самого современного и совершенного оборудования микромонтажа, микросварки и герметизации неизбежно появление определенного процента брака, который можно значительно снизить с помощью плазменной очистки. Следует отметить, что инвестиции в оборудование плазменной очистки довольно быстро себя окупают [3].

Чистая активированная поверхность обеспечивает адгезионно-прочное соединение, улучшая как надежность изделия, так и процент выхода годных изделий.

Для обеспечения качественной очистки совершенствуются процессы очистки, разрабатываются методики контроля состояния поверхности и т. д. В связи с увеличением площади подложек, занятых под топологию, возникает вопрос о воспроизводимости и стабильности качества очистки по всей поверхности подложки, а в конечном счете – о повышении качества процесса очистки в условиях серийного производства. В отличие от стандартной обработки в жидких химических средах применение плазменной технологии существенно улучшает качество очистки подложек, а также обеспечивает высокую повторяемость результатов, что значительно повышает эффективность производства микросборок.

**Библиографический список**

1. Технология очистки подложек для производства микроэлектронных изделий. URL: https://refdb.ru/look/2286363-pall. html.

2. Симонов Б. М. Технологические основы микроэлектроники: учеб. пособие / Б. М. Симонов, А. В. Заводян; под ред. С. П. Тимошенкова. В 2 ч. Ч. 2. М.: МИЭТ, 2009. 156 с.: ил.

3. Симонов О. Технология плазменной очистки при микросборке // Печатный монтаж. 2016. № 3. С. 148–152.

**УДК 629.735.33**

***Е. В. Кучерова***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКСЕЛЕРОМЕТРА

Развитие авиационного приборостроения неразрывно связано с созданием летательных аппаратов (ЛА) новых типов, обладающих большой скоростью и дальностью полета и требующих все более высокого уровня автоматизации процессов управления полетом [1, 2].

Среди множества информационных систем, обеспечивающих формирование данных о текущих параметрах движения ЛА, особое место занимают инерциальные навигационные системы (ИНС). Являясь автономными, они обеспечивают необходимой информацией все системы управления движением ЛА [2, 3].

Следует отметить, что в последнее время большое распространение получили бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), в которых физическая опорная система заменена математической. Данная тенденция связанна с рядом преимуществ БИНС по сравнению с платформенными ИНС, к которым можно отнести:

- значительное упрощение конструкции, следствием чего является уменьшение массогабаритных параметров;
- повышение надежности;
- сокращение стоимости жизненного цикла;
- уменьшение энергопотребления;
- увеличение объема формируемой информации.

Повышение точности любой инерциальной навигационной системы прямо связано с созданием акселерометров прецизионного класса [4]. Тенденция широкого распространения бесплатформенных систем еще более усложняет задачу, так как резко ужесточает требования к параметрам точности акселерометров. Решение задач, связанных с обеспечением точности параметров акселерометров, является целью данной публикации [2, 3].

Требования к точности акселерометра и пути формирования точностных характеристик рассмотрим на примере современного МЭМС-акселерометра ADXL1004.

Новый датчик способен измерять ускорения в большом динамическом диапазоне: он отличается высокой чувствительностью и большим максимальным измеряемым значением ускорения. Во всем измеряемом диапазоне акселерометр имеет высокую линейность, что в сочетании с низким уровнем собственных шумов позволяет получать данные об ускорениях с высокой точностью. Благодаря высокой резонансной частоте акселерометр имеет плоскую амплитудно-частотную характеристику вплоть до 24 кГц [5]. При этом датчик потребляет небольшой ток. Для питания достаточно одного однополярного напряжения.

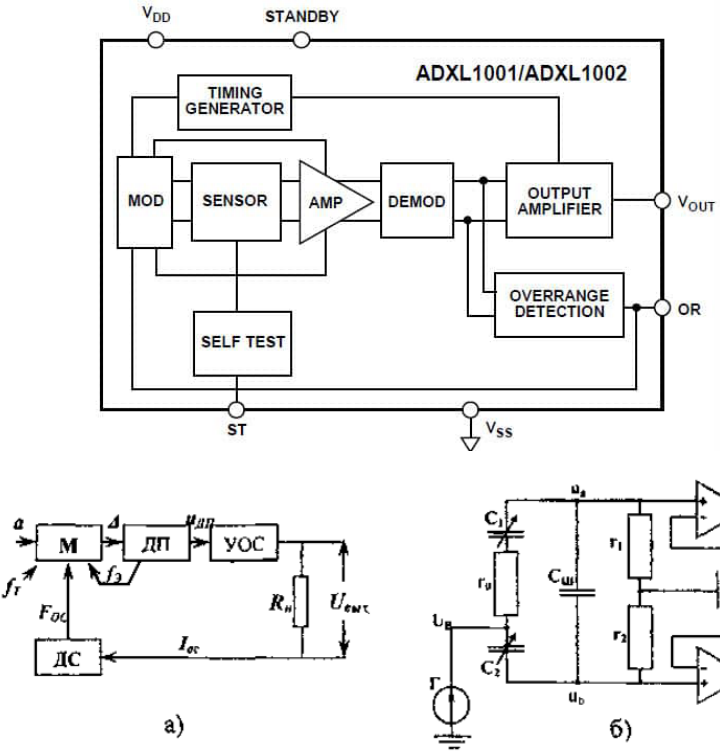
Основные технические характеристики ADXL1004:

- диапазон измерений: ±500 *g*;
- диапазон напряжения питания: 3,3–5,25 В;
- чувствительность: 4 мВ/*g*;
- резонансная частота: 45 кГц;
- плотность шума: 125 мк*g*/√Гц;
- энергопотребление: 1 мА;
- линейность: ±0,25%;
- рабочий температурный диапазон: –40…+125 °С;
- типоразмер корпуса: 32-LFCSP (5×5×1,8 мм).

Анализ показал, что для данного прибора доминирующими погрешностями в настоящее время являются величина и нестабильность нулевого сигнала и пространственного положения оси чувствительности («база»), основными источниками которых являются [6]:

- изменение входного сопротивления и влияние нулевого сигнала усилителя обратной связи;
- асимметричности характеристик возмущающих моментов и параметров датчика положения (ДП);
- нестабильность положения кварцевой пластины относительно корпусов чувствительного элемента (ЧЭ) и самого ЧЭ относительно корпуса акселерометра, обусловленная различием температурного коэффициента линейного расширения кварцевой пластины, соединительного и установочного колец, корпусов ЧЭ и корпуса акселерометра.

Структурная схема рассматриваемого класса акселерометров приведена на рисунке.




Структурная схема акселерометра

При движении акселерометра с ускорением $a$ на массу $M$ действует инерционная сила, вызывающая перемещения массы относительно корпуса $\Delta$. Это перемещение преобразуется ДП в электрический сигнал $u_{дп}$, который усиливается усилителем обратной связи (УОС) до величины $U$ и поступает на сопротивление нагрузки $R_н$, и датчик силы (ДС). Последний создает силу $F_{ос}$, приложенную к массе и компенсирующую инерционную силу.

Выходным сигналом акселерометра является падение напряжения $U_{вых}$ на сопротивление $R_н$.

Кроме рассмотренных сил на массу действует упругая сила от подвеса массы в корпусе $f_m$ и реактивная сила ДП $f_э$. Конструктивно подвес массы и датчик положения всегда выполняют таким образом, чтобы при $\Delta = 0$ $f_m$ и $f_э$ также были равны 0.

Однако реальный акселерометр в силу неизбежных технологических погрешностей отдельных элементов и их сборки характеризуется тем, что в случае отсутствия ускорения на его выходе будет некоторый нулевой сигнал $U_{вых}$, величина которого определяется условием равновесия возмущающих сил, действующих на массу.

Уровень точности акселерометров, необходимый для построения прецизионных БИНС, оценивается величиной 3". Следовательно, погрешности определения параметров приборов не должны превышать 1".

Используемая в настоящее время методика калибровки, основанная на векторном эталоне, не может обеспечить данной точности во всем температурном диапазоне и требует включения в состав оборудования прецизионных оптических делительных головок с точностью позиционирования на уровне 1"–2", что приводит к увеличению стоимости рабочего места калибровки акселерометров и трудоемкости процесса.

Для получения более совершенной методики калибровки предпочтительно использование скалярного эталона, в качестве которого в работе был выбран квадрат модуля вектора силы тяжести, точно известный для любой точки Земли. В отличие от векторного скалярный эталон не имеет привязки к системе координат испытательного оборудования. В основном в ИНС используется сборка из трех ортогонально расположенных акселерометров, позволяющая определять кажущееся ускорение объекта, что в статике равносильно определению ускорения силы тяжести.

Для математического описания методики калибровки в работе была определена модель погрешностей триады акселерометров и составлены уравнения связи, выражающие рассматриваемые погрешности приборов через их выходные сигналы. Выражение, определяющее связь выходных сигналов калибруемых акселерометров с их параметрами, может быть представлено в следующем виде [6]:

$$\frac{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 - 1}{2} = \sum_{i=0}^{2} \Delta_{fx} * B_x^{j+1} + \sum_{i=0}^{2} \Delta_{fy} * B_y^{j+1} + \sum_{i=0}^{2} \Delta_{fz} * B_z^{j+1} + \Psi_{xy} * B_x * B_y + \\ + \Psi_{xy} * B_x * B_y + \Psi_{xz} * B_x * B_z + \Psi_{yz} * B_z * B_Y,$$

где $\Psi_{xy}$, $\Psi_{zx}$, $\Psi_{yz}$ – углы неортогональности между соответствующими осями; $Bj$ – выходной сигнал $J$-ого акселерометра с учетом погрешностей, возникающих из-за неточного расположения приборов; $\Delta j$ – безразмерный коэффициент погрешности $j$-ой степени.

При выводе данного уравнения использовалось предположение о малости величин $\Delta$ и $\alpha$ (составляющей углов неортогональностей), т. е. полагалось, что $\alpha * \Delta = 0$, и возможности в данных условиях с точностью до первого порядка малости принять входное ускорение как выходной сигнал акселерометра.

Изложенные методические положения и рекомендации могут быть полезны в решении задач обеспечения точностных характеристик акселерометров при их разработке и технологическом проектировании.

**Библиографический список**

1. Буравлев А. П. Электромагнитный сферический подвес пространственного измерителя линейных ускорений / А. П. Буравлев, О. Л. Мумин // Гироскопия и навигация. 1996. № 4 (15). С. 52.

2. Одинцов А. А. Теория и расчет гироскопических приборов. Киев. 1985. С. 7–10.

3. Сирота В. А. Конструктивно-технологические способы снижения погрешности поплавковых гироскопов: дисс. на соискание у. с. к. т. н. М.: МАТИ, 1994. С. 3–5.

4. Будкин В. Л. Разработка конструкции и технологии изготовления микродатчика ускорений / В. Л. Будкин, Г. И. Джанджгава, В. П. Ларин, Ю. А. Минаев, С. В. Прозоров, А. К. Соломатин, В. М. Соловьев, В. А. Кальнов, В. И. Казаков // Гироскопия и навигация. 2000. № 4(31). С. 30.

5. Казакевич А. Акселерометры Analog Devices. Устройство, применение и непрерывное обновление // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 46–49.

6. Измайлов А. Е. Исследование точности прецизионных акселерометров и повышение их качества: дисс. на соискание у. с. к. т. н. М.: МАТИ. 2003. С. 6, 48–51, 109–111.

**УДК** 004.932.4

***К. А. Лебедев***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Е. М. Анодина-Андреевская***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ

В процессе получения и обработки информации исходные данные неизбежно претерпевают искажения, так как совершенной системы регистрации не существует вследствие неустранимых физических ограничений. Следовательно, полученные данные не являются тождественными оригиналу. Поскольку научное применение всегда накладывает ограничения на точность полученных результатов, существует необходимость ужесточать требования к погрешностям измерений. В этой работе будут рассмотрены алгоритмы устранения искажающих факторов, влияющих на получение двухмерных наборов данных, а именно изображений [1].

В данной работе ставится цель добиться видимого восстановления искаженных изображений на основе последовательных приближений (итераций) Ландвебера – Фридмана, реализовав этот метод в системе MATLAB.

Метод итераций реализует более общий подход к процессу восстановления исходного сигнала и обладает рядом недостатков и преимуществ. Преимущества этого метода перед методами, работающими в частотном пространстве, заключаются в меньшей чувствительности к погрешностям входных данных и возможности использования пространственно-неинвариантной аппаратной искажающей функции и в более адекватной физической природе получения решения. К недостаткам можно отнести более низкое качество восстановленного изображения и большое время обработки.

Схема итераций Фридмана в простейшей форме:

$$w_k(x,y) = w_{k-1}(x,y) + \nu\left[ g(x,y) - \int_a^b \int_c^d h(x-\xi, y-\eta) w_{k-1}(x,y)\, d\xi\, d\eta \right], \quad (1)$$

$$k = 1,2,3..., \quad a \le x \le b, \quad c \le y \le d,$$

$$0 < \nu < 2. \quad (2)$$

Численная реализация имеет вид [2]:

$$w_k(j,i) = w_{k-1}(j,i) + \nu\left[ g(j,i) - \frac{1}{Q} \sum_{j'=\max\{1,j-r\}}^{\min\{m,j+r\}} \sum_{i'=\max\{1,i-r\}}^{\min\{n,i+r\}} h(i-i', j-j') w_{k-1}(j',i') \right], \quad (3)$$

$$k = 1, 2, 3,..., K, \ j = 1, 2, 3,..., m, \ i = 1, 2,..., n, \ 0 < \nu < 2,$$

где $K$ – максимальное число итераций. Формула (3) справедлива для случая, когда функция расчетной точки (ФРТ) $h$ – любого вида, но разностная и определена в пределах квадратного окна $(2r+1)\times(2r+1)$, а вне окна равна нулю. Однако эффективнее заранее единожды вычислить значения ядра в каждой точке квадратного окна $(2r+1)\times(2r+1)$, а потом извлекать эти значения из памяти и использовать их в (3), чем для каждой отдельной точки изображения с координатами $(x,y)$ заново вычислять значения ФРТ [2].

Итак, в каждом шаге необходимо выполнить операцию пространственной свертки, исходя из значений, полученных на предыдущем шаге $w_{k-1}$, или из начального приближения $w_0$. Количество итераций при этом не должно превышать величины $K$, т. е. при выполнении условия $k > K$ мы получаем приближенное решение.

Исходя из вышесказанного, составлена блок-схема программы с алгоритмом итеративной регуляризации Фридмана для получения искаженного зашумленного изображения и его восстановления (рис. 1), на ее основе создана *m*-функция в MATLAB, результат ее работы на рис. 3.

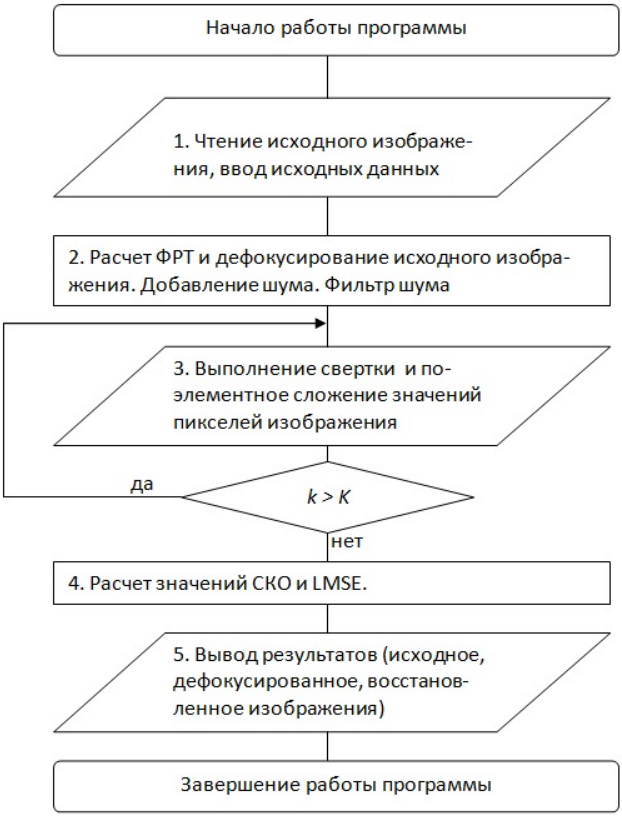
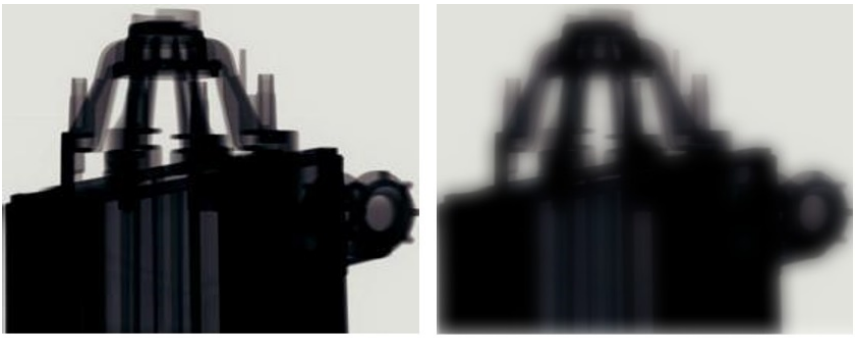



Рис. 1. Алгоритм работы программы



а) б)

Рис. 2. *а* – исходное изображение, *б* – искаженное изображение

Рис. 3. Восстановленное изображение

Реализованный метод итеративной регуляризации Фридмана хоть и уступает в быстродействии на несколько порядков стандартным методам прямой фильтрации, реализованным в пакете дополнения IPT системы MATLAB, но обладает большей гибкостью, меньшими краевыми дефектами при восстановлении, а также большей стабильностью при наличии ошибок в искаженных данных (рис. 2, *б*).

**Библиографический список**

1. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 78 с.
2. Сизиков В. С. Обратные прикладные задачи и MATLAB: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2011. 247 с.

**УДК 629.735.33**

***Н. С. Макаренко***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Д. К. Шелест***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБКО-ЖЕСТКОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ СО ВСТРОЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Необходимо разработать конструкцию гибко-жесткой платы (ГЖП) по технологии встраивания компонентов внутрь печатной платы (ПП), что позволяет уменьшить ее габариты. Кроме того, необходимо разработать ГЖП со встроенными компонентами, предназначенную для теплонагруженных узлов. В связи с этим предлагается конструкция ГЖП на металлическом основании, спроектированная по технологии встраивания компонентов [1, 2].

Для изготовления ГЖП по технологии встраивания активных и пассивных компонентов необходимо применять в качестве подложки ПП термостойкие материалы или материалы, способные выполнять роль радиатора, вследствие того, что кристаллы микросхем выделяют значительное количество тепла.

В качестве основания для подложки ПП выбрано алюминиевое основание (алюминиевый сплав АМг-2,5). Алюминий обладает высокой электропроводимостью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью. Большинство алюминиевых предметов изготовлено из алюминиевых сплавов. Кроме того, применяя алюминиевый сплав АМг-2,5, не потребуется выполнять внутренние слои ПП в виде металлизированных слоев земли и питания, так как эту роль может выполнять алюминиевая подложка.

Также следует отметить, что пассивные компоненты решено устанавливать на жесткую часть ГЖП. Гибкая часть ГЖП предназначена для соединения двух жестких частей ГЖП.

Конструкция ГЖП со встроенными компонентами включает:

– алюминиевый слой (сплав АМг-2,5). Предназначен для встраивания активных компонентов по технологии внутреннего монтажа;

– париленовый слой. Предназначен для формирования токопроводящих дорожек методом вакуумного напыления сквозь съемные технологические маски по технологии внутреннего монтажа;

– адгезионный слой. Предназначен для соединения медной фольги с гибкой частью ГЖП, а также для соединения слоев гибкой и жесткой частей многослойной ГЖП;

– покровный слой. Предназначен для обеспечения механической защиты хрупких проводников на гибкой части ПП;

– препрег. Предназначен для связи слоев в процессе прессования. Используется в качестве связующего слоя для изготовления жестких слоев;

– базовый слой (стеклотекстолит фольгированный FR-4). Фольгированный материал, который применяется в жестких ПП;

– полиамидный слой. Применяется в качестве гибкой части многослойной ГЖП;

– клей (тип клея 6041SF, производитель *Diemat*). Применяется для фиксации активных компонентов;

– силиконовый валик. Предназначен для обеспечения необходимой гибкости в местах динамического изгиба ГЖП.

Гибко-жесткую плату предлагается изготовить по следующей технологии:

– встраивание пассивных компонентов внутрь ПП;

– установка активных компонентов (кристаллов микросхем) по технологии внутреннего монтажа;

– установка поверхностно-монтируемых компонентов на подложку, в которую встроены активные и пассивные компоненты.

Пояснения к технологическим операциям приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

Технология изготовления ГЖП

| Этапы монтажа | Структура | Примечание | Толщина слоя, $10^{-3}$ м |
|---|---|---|---|
| 1 | Заготовка анодированный алюминий (сплав АМг-2,5) | Базовая подложка для встраивания активных компонентов | 0,5 |
| 2 | Формирование отверстий для закладки кристаллов активных компонентов | Отверстия формируются методом штамповки | - |
| 3, 4 | Формирование диэлектрического слоя парилена | Применяется установка нанесения париленового слоя «УНБ-3». Париленовая пленка осаждается при температуре 7–28 °С | 0,008 |
| 5 | Закладка и фиксация кристаллов в отверстиях основы | Применяется ручная установка закладки кристаллов ГТМИЭТ. Фиксация происходит с применением установки дозатора клея Д4 и установки газодинамического напыления «Димет-405» | – |
| 6 | Формирование окон в париленовом слое над контактными площадками кристаллов | Применяется установка ионно-плазменного травления «Плазма ТМ-200-01» | – |
| 7 | Напыление токоведущих дорожек | Применяется технология совмещения свободной маски и подложки (установка двухстороннего совмещения «ЭМ-5086»). Технология напыления осуществляется на установке «Магна ТМ-200-01» | 0,003 |
| 8 | Фольгированный удиэлектрик FR-4 | Базовый материал для формирования структуры со встроенными элементами (чип-резисторами и чип-конденсаторами) | 0,168 |
| 9 | Формирование токоведущих дорожек | Комбинированный позитивный метод | – |
| 10 | Прессование слоев | Соединение структуры слоев с применением препрега – связующего материала на основе эпоксидной смолы в стадии «В» (недоотвержденная смола, сохраняющая в этой стадии свои клейкие свойства). Соединение происходит при воздействии температуры 140–195 °С | 0,859 |
| 11 | Монтаж пассивных элементов | Нанесение припойной пасты. Установка компонентов по технологии поверхностного монтажа | 2,159 |
| 12 | Фольгированный полиимид | Базовый материал для формирования гибкой части многослойной ГЖП | 0,025 |
| 13 | Формирование токоведущих дорожек и покровного слоя | Комбинированный позитивный метод для формирования проводников и контактных площадок | 0,043 |
| 14 | Фольгированный диэлектрик FR-4 | Базовый материал для монтажа поверхностно-монтируемых компонентов | 0,168 |
| 15 | Формирование токоведущих дорожек | Комбинированный позитивный метод | – |

| Этапы монтажа | Структура | Примечание | Толщина слоя, $10^{-3}$ м |
|---|---|---|---|
| 16 | Формирование конфигурации слоев | Конфигурация слоев включает:<br>– двусторонний фольгированный материал;<br>– препрег;<br>– гибкий фольгированный материал;<br>– структуру со встроенными компонентами | 2,755 |
| 17 | Прессование слоев и нанесение силиконового валика | Соединение препрега происходит при воздействие температуры 140–195 °С | 2,755 |
| 18 | Формирование отверстий, нанесение паяльной маски и монтаж поверхностно-монтируемых компонентов | Отверстия формируются методом сверления. Нанесение припойной пасты печатью (с применением трафарета) | 2,78 (суммарная толщина ГЖП) |

В табл. 2 показан сравнительный анализ конструкций и технологий изготовления ГЖП по технологии поверхностного монтажа с ГЖП, спроектированной по технологии внутреннего монтажа.

*Таблица 2*

Сравнение конструкций и технологий ГЖП

| ГЖП, спроектированная по технологии поверхностного монтажа | ГЖП, спроектированная по технологии внутреннего монтажа |
|---|---|
| Большое число глухих и слепых отверстий, что связано с установкой многовыводных корпусированных микросхем (BGA) на поверхность ПП. Следовательно, отдельно взятое отверстие вносит дополнительные искажения и помехи | Глухие и слепые отверстия отсутствуют вследствие установки активных элементов внутрь ПП и формирования межсоединений (печатных проводников) напылением проводящего материала и последующим их соединением с контактными площадками активных компонентов |
| Корпуса активных элементов препятствуют рассеиванию тепла | Кристаллы активных элементов монтируются на металлическое основание, которое является теплоотводом |
| Наличие межслойных переходов (глухих и слепых отверстий) ограничивает быстродействие печатного узла | Кристаллы активных элементов расположены близко друг к другу, что уменьшает длину линии связи и повышает быстродействие печатного узла |
| Необходимость экранировки: применение медных полигонов в качестве сигнально-потенциальных звеньев в качестве шины «земля» или «питание» | Роль экрана выполняет металлическая подложка. Кроме того, она может выполнять роль шины «земли» или «питания» |

Предложена конструкции ГЖП, спроектированная по технологии встраивания активных и пассивных компонентов. Показана полезность данной конструкции, позволяющей решить задачи минимизации помех и габаритных размеров. Предлагаемая конструкция ГЖП со встроенными компонентами может быть применена в аппаратуре, в которой требуется уменьшить габариты и вес: медицинской, военной, космической, бытовой.

**Библиографический список**

1. Аветисов А. Г. Разработка гибко-жесткой платы со встроенными элементами // Проектирование и технология электронных средств. 2010. № 4. С. 2–7.

2. Аветисов А. Г. Проектирование печатных плат со встроенными компонентами / А. Г. Аветисов, Р. М.-Ф Салихджанова // 61-я науч.-технич. конф.: сб. трудов. Ч. 3. Технические науки. М.: МГТУ МИРЭА, 2012. С. 11–15.

**УДК 629.735.33**

***В. А. Морозов***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Б. Г. Филатов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООТВОДА

В статье приводится анализ возможных путей создания (изготовления) конструкции кондуктивного теплоотвода для модуля на печатной плате.

Применение новой элементной базы, позволяющей уменьшить массу и габариты устройств, во многих случаях увеличивает удельные рассеиваемые мощности, что заставляет искать новые пути решения задач обеспечения теплового режима. Применяемое обычно в блоках и модулях охлаждение за счет конвекции часто не пригодно для использования на борту летательного аппарата (ЛА), так как на больших высотах давление газа очень низкое и конвективного теплоотвода практически нет.

Рациональным решением в такой ситуации является применение систем с кондуктивным охлаждением, которое позволяет одновременно решить как проблему устойчивости системы к механическим воздействиям, так и проблему теплоотвода [1].

При кондуктивном охлаждении тепло от нагретых электронных компонентов передается последовательно через теплоотвод на корпус модуля или блока, с которого благодаря большой площади контакта между ним и корпусом ЛА и его малым тепловым сопротивлением легко отводится на корпус и далее во внешнюю среду.

Как правило, корпус модуля со всех сторон окружает печатную плату, при этом его внутренняя сторона (сторона теплоотвода) должна быть отфрезерована в соответствии с профилем конкретной печатной платы. Так как конфигурация каждой печатной платы уникальна, разработка конструкции теплоотвода требует полной детальной информации о плате для технологического процесса фрезерования теплоотвода из цельного куска металла [1]. Внутренняя поверхность теплоотвода должна плотно прилегать непосредственно к тепловыделяющим компонентам на печатной плате, причем для улучшения теплопередачи в зоне контакта применяются специальные эластичные прокладки или традиционная термопаста.

Типовой техпроцесс получения металлической детали включает в себя пять шагов, каждый из которых требует участия различного оборудования и работы квалифицированного персонала: проектирование, получение сплава, изготовление заготовки, механическая обработка, сборка конструкции. Очевидно, что такой метод изготовления очень трудозатратный и материалоемкий.

3D-технологии позволят значительно упростить технологический процесс, начиная с момента проектирования и заканчивая созданием металлической детали. Укрупненно порядок действий в данном случае будет выглядеть так: сканирование объекта, проектирование с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), печать детали на 3D-принтере.

На первом этапе будет использоваться 3D-сканер, способный быстро перевести требуемый рельеф печатной платы в компьютерную модель, которая будет нужна для дальнейших расчетов теплового режима конструкции.

Принцип работы 3D-сканера достаточно прост: он заключается в получении и сравнении изображения от двух камер. Подобно тому, как человек способен определять расстояние до предметов при помощи глаз, 3D-сканер вычисляет расстояние до объекта. Обычно в дополнение к камерам используется подсветка (лазер или вспышка лампы), помогающая достигать высокой точности и надежности в измерениях.

Все данные об измерениях, а также снимки переходят в компьютер, данные и поверхность сканируемой детали запоминаются, анализируются и выводятся на экран в виде трехмерного изображения. С помощью компьютера можно управлять процессом сканирования, выбирать разрешение и необходимые области для уточнения детализации, сохранять и изменять полученные с помощью трехмерного лазерного сканера данные.

Современные трехмерные сканеры способны всего за несколько минут произвести оцифровку любого предмета с точностью до 20–50 мкм. Это позволяет создать точную 3D-модель любой платы. Полученная методом сканирования модель может быть обработана средствами САПР и в дальнейшем может использоваться для инженерных расчетов и для математического моделирования. В последующем можно воссоздать реальный объект на 3D-принтере по образцу трехмерной модели.

Из всего вышесказанного следует, что данная технология универсальна и может быть применима при модернизации многих объектов радиоэлектронной аппаратуры с целью уменьшения массогабаритных характеристик, улучшения теплового режима, повышения вибро- и ударопрочности и т. д. А поскольку цена 3D-сканера невелика, то позволить себе его может не только крупный завод или конструкторское бюро, но и небольшая компания. Стоимость зависит от технологии, применяемой для сканирования, используемых компонентах, а также класса точности.

Итак, после сканирования модуля при помощи трехмерного сканера у нас имеется его математическая модель. При помощи САПР проводим детальное компьютерное моделирование его теплового режима, по результатам которого проект дорабатывается и снова моделируется до тех пор, пока не будет получен наилучший результат.

Для создания теплоотводящей панели на основе ее компьютерной модели можно использовать 3D-печать. Ее сущность заключается в аддитивном производстве, то есть в производстве за счет добавления материала. Данный термин был придуман не случайно, ибо в этом и состоит основное отличие множественных технологий 3D-печати от привычных методов промышленного производства, получивших название «субтрактивные технологии», то есть «отнимающие».

Если при фрезеровке, шлифовке, резке и прочих схожих процедурах лишний материал удаляется с заготовки, то в случае с аддитивным производством материал постепенно добавляется до получения цельной модели. Это позволяет точно определить, какое количество металла понадобится для производства изделия и, следовательно, избавиться от лишних расходов материала.

В 3D-печати используют современные полимеры, а с недавнего времени научились использовать металлы. Изделия, созданные из металла при помощи 3D-печати, в настоящее время не уступают по качеству деталям, созданным традиционными методами литья или механической обработки, а в ряде случаев и превосходят их в цене и скорости изготовления.

3D-печать из металла подразумевает аддитивную технологию производства с использованием металлического порошка. Мы имеем дело либо с методом прямого лазерного спекания металлов (DMLS), либо с методом выборочной лазерной плавки (SLM). Рассмотрим более подробно технологию SLM (рис. 1).

Технология SLM (*Selective Laser Melting* – селективное лазерное плавление) – технология 3D-печати, позволяющая создавать металлические модели путем послойного плавления порошков различных металлов и сплавов. К подобным материалам относятся титан, нержавеющая сталь, хром, инструментальная сталь и сплав кобальт-хром.

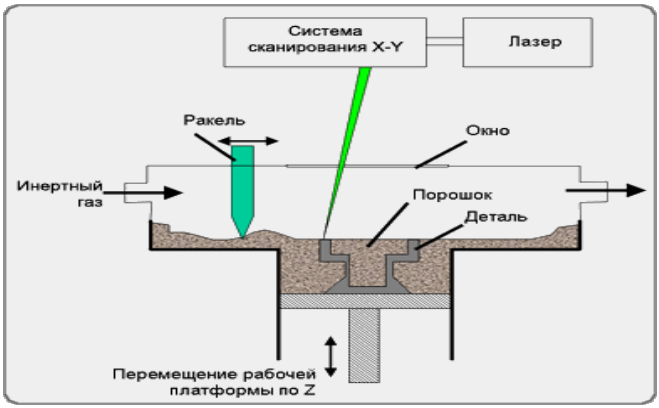



Рис. 1. Схематическое изображение технологии SLM

Системы, использующие технологию SLM, позволяют непосредственно из 3D-модели создавать высокоточные сплошные металлические детали практически любой сложности и геометрии. Данная технология отлично подходит для изготовления высокоточных деталей и узлов различных конструкций. При этом 3D-принтеры, основанные на технологии SLM, имеют колоссальное преимущество в производительности и себестоимости по сравнению с традиционными технологиями изготовления металлических деталей.

Рабочая область производственных SLM 3D-принтеров представляет собой герметичную камеру, заполненную в процессе печати инертным газом (рис. 1). Особенность инертных газов состоит в том, что они не вступают в химическую реакцию с окружающими элементами.

Поэтому использование инертного газа позволяет предотвратить влияние воздуха на металлическую заготовку, что существенно улучшает ее физические и механические свойства. Принцип создания моделей по технологии SLM заключается в следующем:

1. На рабочую платформу с помощью ракеля наносится равномерный тонкий слой металлического порошка.

2. Мощный лазерный луч, управляемый специальной системой сканирования, очерчивает на нанесенном слое текущее сечение детали. Энергия лазерного луча приводит к сплавлению частиц порошка, в результате чего образуется очередной сплавленный слой будущей детали.

3. Рабочая платформа опускается вниз на величину толщины одного слоя модели.

4. На рабочую платформу поверх созданного слоя наносится следующий слой металлического порошка. Лазерный луч очерчивает на нанесенном слое следующее сечение детали, и т. д.

5. Действия продолжаются до тех пор, пока процесс «выращивания» металлической детали не будет завершен. После печати последнего слоя нерасплавленные частицы порошка удаляются с помощью газа под высоким давлением. В итоге не выходе получается металлическая деталь, полностью готовая к использованию и не требующая постобработки.

Основные преимущества технологии SLM:

- отсутствует необходимость в поддерживающем материале;
- сплавление позволяет получать сплошные детали без пористых участков;
- значительно повышается производительность процесса создания металлических деталей с одновременным снижением их себестоимости;
- отсутствуют дефекты литья, нет необходимости в постобработке.

Если же речь идет о печати с использованием современных полимеров, то тут стоит упомянуть о технологии SLS (*Selective Laser Sintering* – селективное лазерное спекание) – это технология 3D-печати, основанная на послойном спекании порошковых полимерных материалов. Как правило, такие материалы представляют собой инженерный пластик, обладающий отличными механическими свойствами и не только. Эта технология может успешно применяться как для создания формовок для пластмассового и металлического литья, так и для изготовления полнофункциональных моделей.

Характерная особенность в конструкции 3D-принтеров, использующих технологию SLS, – наличие двух камер с подвижными платформами (рабочая камера, а также камера для подачи порошка). Герметичная рабочая камера принтера на протяжении всего процесса печати заполнена инертным газом (рис. 2). Принцип создания моделей по технологии SLS заключается в следующем:

1. Тонкий слой порошкообразного рабочего материала, находящегося в соответствующей камере, переносится на рабочую платформу равномерным тонким слоем с помощью специального ролика – разравнивателя порошка.

2. Лазерный луч, направление которого варьируется подвижным зеркалом, очерчивает на нанесенном слое порошка текущее сечение модели. Поскольку лазерный луч является сфокусированным источником тепла, происходит спекание гранул материала, в результате которого на том месте, где проходил лазерный луч, образуется твердый полимер. Таким образом, на данном этапе формируется очередной слой будущей детали.

3. Подвижная платформа рабочей камеры опускается вниз (как правило, на доли миллиметра), для того чтобы можно было нанести следующий слой материала поверх отвердевшего. В то же время подвижное дно в камере для подачи порошка поднимается вверх.

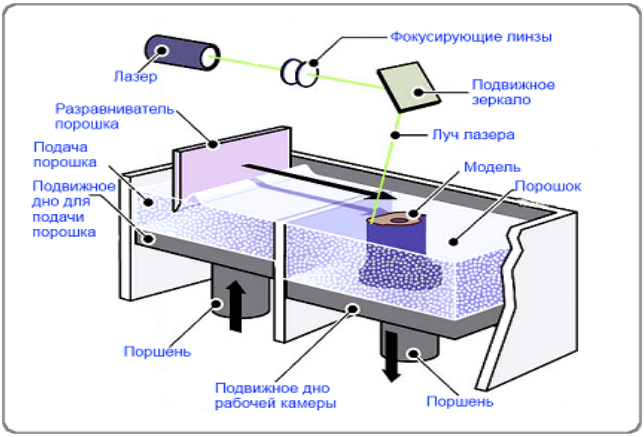



Рис. 2. Схема 3D-печати по технологии SLS

4. С помощью разравнивателя равномерно наносится следующий слой порошка в рабочей камере поверх предыдущего, под действием лазера новый слой затвердевает и спекается с предыдущим, и т. д.

5. Действия повторяются до тех пор, пока не будет готова вся модель. Таким образом, распечатываемая деталь «выращивается» снизу вверх.

Основное преимущество технологии SLS – отсутствие необходимости в поддерживающем материале, поскольку незатвердевший порошок окружает модель и поддерживает все ее части на протяжении всего процесса 3D-печати.

К недостаткам можно отнести тот факт, что используемый порошок не сплавляется, а спекается, поэтому поверхность и структура модели характеризуются некоторой пористостью. Однако современные материалы для SLS-печати довольно мелкодисперсны, поэтому к заметному ухудшению качества модели и ее поверхности это не приводит.

Помимо металлических порошков, для формирования кондуктивного теплоотвода можно использовать теплорассеивающие пластмассы – полимерные композиты с многократно увеличенной теплопроводностью (рис. 3) [2].

Такое резкое повышение теплопроводности теплорассеивающих полимерных композитов (ТРПК) стало возможным за счет подбора специальных технологических добавок, использования наполнителей с высокой теплопроводностью (до 150–250 Вт/мК), специализированного технологического оборудования для их высокого и сверхвысокого наполнения [2].

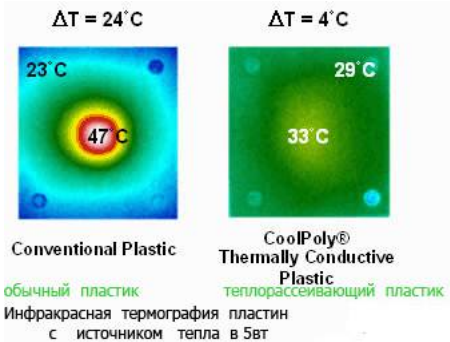



Рис. 3. Иллюстрация способности теплорассеивающих пластмасс минимизировать локальные перегревы и перепады температур

В зависимости от наполнителя эти композиты могут либо сохранять свои электроизоляционные свойства, либо иметь на 5–10 порядков более низкие поверхностные электрические сопротивления, т. е. одновременно соответствовать требованиям, предъявляемым к антистатическим и электропроводящим пластмассам [2].

По основным технико-экономическим показателям, за исключением теплопроводности (см. таблицу), ТРПК имеют серьезное преимущество в сравнении с алюминиевыми сплавами.

*Таблица*

Сравнение теплорассеивающих пластмасс и алюминиевых сплавов для изготовления термоинтерфейсов

| Показатель | Алюминиевые сплавы | Теплорассеивающие полимерные композиты |
|---|---|---|
| Теплопроводность, Вт/мК | 50–100 | 3–40 |
| Сложность конструкции | 2D-дизайн | 3D-дизайн |
| Точность изготовления | Средняя | Высокая |
| Шероховатость поверхности Ra, мкм | 2,5–1,25 | 0,63 |
| Коэффициент линейного термического расширения | 25–30 | 8–11 |
| Усадка при литье, % | 0,7–1,3 | 0,1–0,3 |
| Финишная механическая доработка | Требуется | Не требуется |
| Удельный вес | 2,7 | 1,6–1,8 |
| Использование термопаст при монтаже МЭУ | Всегда | Редко |
| Относительная себестоимость (при серийном производстве) | 1,0 | 0,4–0,6 |

Исследования, проведенные компанией *Cool Polymers*, показали, что два одинаковых по геометрическим размерам радиатора, изготовленных из алюминия и ТРПК на основе углеродного наполнителя, продемонстрировали в условиях естественного охлаждения практически одинаковую теплопроизводительность, но при этом не потребовали дополнительной механической доработки. В итоге (при крупносерийном производстве) радиаторы, изготовленные из ТРПК, стоили почти в два раза меньше, а их вес уменьшился на 40% [2].

Все вышесказанное позволяет нам сделать ряд выводов:

- Использование 3D-сканера позволяет значительно упростить и сократить процесс проектирования кондуктивного теплоотвода.
- Применение технологий 3D-печати позволит удешевить и ускорить процесс создания теплоотводящей панели вне зависимости от сложности требуемого рельефа.
- Использование композитных материалов позволит удешевить и облегчить конструкцию, не сильно ухудшив тепловые характеристики.

**Библиографический список**

1. Гарсия В. Бортовые вычислительные комплексы с кондуктивным теплоотводом: пример конструктивной реализации на основе спецификации VPX REDI // Современные технологии автоматизации. 2013. № 1. С. 34–40.

2. Криваткин А. Теплорассеивающие пластмассы – вызов алюминию / А. Криваткин, Ю. Сакуненко // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1. С. 54–56.

**УДК 53.083.722**

***Н. В. Никандров***
магистрант кафедры конструирования и технологий лазерных и электронных средств
***О. П. Куркова***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

**Введение**

В настоящее время технология мониторинга сложных технических объектов находится в стадии разработки концептуальных основ и отработки экспериментальных решений. В качестве основного инструмента предлагается построение распределенных измерительных систем датчиков, позволяющих проводить комплексный сбор, обработку, хранение данных и организацию доступа к полученным данным пользователя системы.

**Постановка задачи**

Основная сложность создания таких систем обуславливается в первую очередь характеристиками самих технических объектов, такими как территориальная распределенность элементов технических объектов, структурное подобие основных элементов сложных технических объектов и связей между ними, функциональная сложность. Также при разработке распределенных систем необходимо учитывать сложность обработки и передачи большого объема данных, принимаемых от датчиков системы, и координации работы датчиков в составе распределенной системы.

В данной статье будут рассмотрены основные требования, виды и особенности метрологических характеристик распределенных оптоволоконных измерительных систем.

**Требования к функциям распределенных измерительных систем**

Перечисленные ранее особенности формируют требования к функциям распределенных измерительных систем:

1. Обеспечение непрерывного контроля состояния объекта с учетом особенностей его функционирования. Контроль состояния включает в себя оперативное информирование о состоянии объекта, а также постоянный мониторинг системы на предмет корректности работы, т. е. отсутствия нештатных ситуации. Для решения этой задачи требуется быстрая, в пределах 3–5 минут, реакция системы на нештатную ситуацию и оперативная передача информации о ее возникновении пользователю.

2. Осуществление распределенного сбора и обработки данных, накопленных датчиками. Учитывая, что количество датчиков в составе системы может превышать несколько десятков, объем данных становится очень большим. Но актуальность для пользователя может иметь не весь объем информации, а только данные об изменении некоторого физического процесса. Поэтому должна быть обеспечена локальная обработка данных и передача только ценной информации.

3. Использование стандартных, открытых, универсальных протоколов и интерфейсов. Система строится на базе многоцелевых протоколов и интерфейсов, позволяющих системе обладать возможностью увеличиваться в размере (т. е. количестве узлов) без нарушения предъявляемых к ней требований.

4. Реализация алгоритмов внутренней координации работы распределенной системы. Для автономного функционирования распределенной системы без постоянного контроля со стороны пользователя система должна обладать свойствами самоорганизации, самовосстановления и динамической адаптации структуры в зависимости от изменений внешней среды.

Этот перечень необходимых требований к функциональности распределенной системы может быть расширен в зависимости от области применения системы.

**Виды распределенных оптоволоконных измерительных систем**

Волоконно-оптические датчики благодаря таким конструктивным особенностям, как нечувствительность к внешним электромагнитным полям, пожаро- и взрывобезопасность (из-за того, что носителем сигнала является маломощное оптическое излучение), химическая инертность, являются весьма перспективными для использования их в качестве чувствительных элементов в распределенных волоконно-оптических, оптико-электронных измерительных системах, осуществляющих реконструкции распределения физических полей во времени и пространстве.

Данные системы можно разделить на два вида:

1) распределенные, в которых измерения осуществляются по всей длине оптического волокна;

2) квазираспределенные (термин «квазираспределенные» широко используется в зарубежной литературе – quasi-distributed, в отечественной литературе этот термин впервые использовал академик ДВО РАН Ю. Н. Кульчин), в которых измерения осуществляются на отдельных участках, где расположены датчики физических параметров (деформации, температуры, давления и т. п.) [3].

**Особенности метрологических характеристик распределенных оптоволоконных измерительных систем**

Метрологические характеристики распределенных измерительных систем определяются следующими параметрами: диапазоном измеряемой величины, максимальной длиной оптического волокна, погрешностью измерения величины и пространственной разрешающей способностью.

В распределенных волоконно-оптических датчиках, где чувствительным элементом является волокно, диапазон измеряемых величин ограничен возможностью внутренней структуры волокна выдерживать воздействие внешних факторов (деформация до 0,5%, температура –50…+140 °С). Кроме того, в зависимости от метода измерения и используемой аппаратуры могут существовать еще и дополнительные аппаратные ограничения на диапазон измеряемой величины [1].

Рассмотрим особенности применения распределенных волоконно-оптических датчиков на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна.

Характерной особенностью распределенных волоконно-оптических датчиков на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна является то, что точность измерения не зависит от диапазона измеряемой величины (из-за линейной зависимости сдвига частоты от деформации и температуры). Совсем иначе дело обстоит с зависимостью точности измерения от пространственной разрешающей способности. Разрешающая способность определяется длительностью импульса накачки (при рефлектометрическом методе). Однако чем меньше длительность импульса, тем шире его спектр и меньше мощность рассеянного излучения, что неизбежно отрицательно сказывается на точности нахождения центральной частоты рассеяния. Спектр рассеяния Мандельштама – Бриллюэна тоже уширяется, и его форма начинает отклоняться от лоренцевой кривой [2].

Еще одной проблемой распределенных измерительных волоконно-оптических датчиков на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна является то, что они измеряют по существу сдвиг частоты, а коэффициенты, по которым происходит пересчет измеряемой характеристики, в общем случае разные и зависят от состава и содержания легирующих добавок в сердцевине волокна [1]. Поэтому при эксплуатации для обеспечения максимальной точности должна быть использована только та марка волокна, на которой проводилась калибровка. Кроме того, системы на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна не способны различить влияние температуры и деформации.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование систем на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна целесообразно только в тех случаях, когда частота опроса датчиков может составлять несколько минут, а также когда априори известно распределение температуры в оптическом волокне [4].

**Заключение**

В данной статье были рассмотрены основные требования, виды и особенности метрологических характеристик распределенных оптоволоконных измерительных систем.

Была рассмотрена система на основе эффекта рассеяния Мандельштама – Бриллюэна, ее особенности и целесообразность применения на тех или иных объектах измерения.

Применение распределенных измерительных систем на основе оптоволоконных датчиков позволяет производить контроль механических деформаций исследуемого объекта в режиме реального времени. Использование оптического сигнала сводит пожароопасность данной системы к минимуму, что позволяет применять подобные системы на таких объектах, как нефтехранилища, нефтеналивные танкеры и на объектах с подобными высокими требованиями к пожарной безопасности.

**Библиографический список**

1. Кульчин Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические датчики и измерительные сети. Владивосток: Дальнаука, 1999. 283 с.

2. Пнев А. Б. Оптико-электронные измерительные системы на основе квазираспределенных волоконно-оптических брэгговских датчиков. М., 2008. 176 с.

3. Пнев А. Б. Информационно-измерительные системы на основе волоконно-оптических датчиков для мониторинга состояния инфраструктурных объектов / А. Б. Пнев, С. В. Тихомиров, Н. П. Хатырев и др. // Фотон-экспресс. 2006. Т. 5. С. 14–21.

4. Васильев С. А. Волоконные решетки показателя преломления и их применение / С. А. Васильев, Е. М. Дианов, О. И. Медведков и др. // Квантовая электроника. 2005. Т. 35. С. 1085–1103.

**УДК 621.37**

***С. Р. Нургалиев***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***А. Л. Ляшенко***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

# МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАТЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

**Методы анализа электромагнитных процессов печатной платы**

Межсоединения конструктива кусочно-однородны по длине. На концах нагружены элементами, представляющими произвольные цепи. Если вдоль линии имеются неоднородности, то межсоединения можно разбить на ряд однородных участков, а влияние неоднородностей учесть, вводя соответствующие эквивалентные цепи.

В линиях связи многослойных печатных плат (МПП) распространяются квази-ТЕМ-волны, а для анализа межсоединений в сверхбольших интегральных схемах (СБИС) применимы методы теории цепей. С учетом этих особенностей межсоединения конструктива можно описать системой дифференциальных уравнений в частных производных во временной области и системой обыкновенных дифференциальных уравнений в частотной области.

Существует несколько методов решения подобных уравнений: методы нормальных волн в частотной и временной области, метод функции Грина, метод пошагового продвижения по времени (см. таблицу).

*Таблица*

Методы анализа электромагнитных процессов

| п/п | Метод | Недостатки |
|---|---|---|
| 1 | Метод нормальных волн во временной области (система дифференциальных уравнений (ДУ) в частных производных) | Межсоединения только без потерь и однородные по длине |
| 2 | Метод нормальных волн в частотной области. Система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) | Только линейные нагружающие цепи и инвариантные во времени |
| 3 | Метод функций Грина (системы ОДУ и ДУ в частных производных) | Большие затраты машинных ресурсов, длительность отклика межсоединений превышает несколько периодов прохождения сигнала |
| 4 | Метод продвижения во времени (система ДУ в частных производных) | Сложные эквивалентные цепи для частотно-зависимых параметров межсоединений |

**Классификация методов повышения электромагнитной совместимости**

Традиционно приводятся три группы методов повышения электромагнитной совместимости (ЭМС) электронных средств (ЭС) на интегральные схемы (ИС).

*1. Методы усовершенствования ИС в процессе их проектирования и изготовления.* При этом решаются две основные задачи:

а) повышение устойчивости элементов ИС к электромагнитным помехам;

б) уменьшение амплитуды и длительности электромагнитных помех, создаваемых самими элементами ИС при переключении.

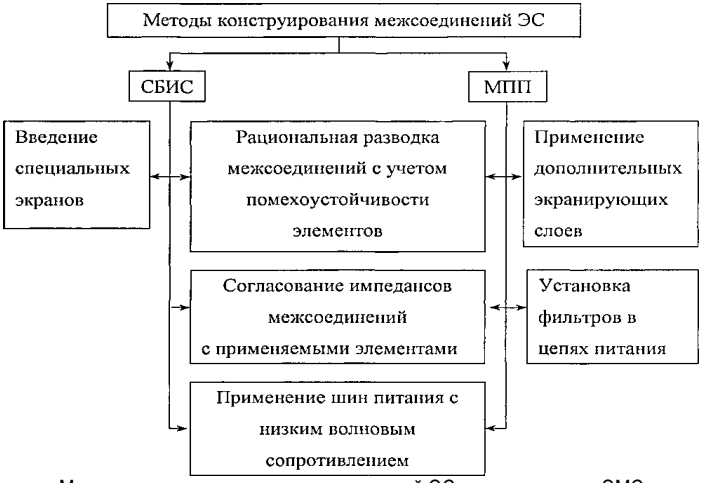
*2. Методы конструирования межсоединений, монтажа и компоновки ИС в устройстве*, обеспечивающие уменьшение уровня перекрестных помех, малые отражения сигналов от несогласованных нагрузок и неоднородностей, малое затухание и искажение полезного сигнала. Уменьшение паразит-

ных связей между цепью питания и заземлением и т. д. при включении распределенных вдоль линии нагрузок. В основе этих методов конструирования межсоединений ЭС лежит рациональная разводка топологии конструктивов с учетом помехоустойчивости применяемых элементов.

Уровень электромагнитных помех в конструктивах снижают с помощью введения экранирующих плоскостей между сигнальными слоями, одновременно выполняющих роль шин земли. Конструкция межсоединений выбирается такой, чтобы их волновое сопротивление по величине было ближе к входным и выходным сопротивлениям применяемых элементов схем.

*3. Методы стробирования схем в процессе обработки информации в ЭС.* Запись информации производится в конце каждого такта после завершения переходных электромагнитных процессов. При этом резко уменьшается вероятность ложного срабатывания. К этой же группе относятся структурные методы повышения помехоустойчивости. В них вводятся дополнительные логические связи или проводится 2–3-кратное решение задачи с последующим сравнением результатов. Однако методы этой группы уменьшают быстродействие и увеличивают число элементов схем в ЭС.

Методы конструирования межсоединений ЭС на конструктивных модулях СБИС и МПП для повышения ЭМС представлены на рисунке.




Методы конструирования межсоединений ЭС для повышения ЭМС

Эти методы широко применяются в практике проектирования ЭС, однако с ростом быстродействия элементной базы возникла потребность в конкретных рекомендациях по использованию межсоединений в сочетании с тем или иным типом ИС. Известны, например, рекомендации по выполнению межсоединений в МПП, имеющие как общий, так и частный характер («ИС – тип печатной платы»). Рекомендации ориентированы на снижение уровней электромагнитных помех:

- шаг размещения параллельно расположенных проводников должен составлять для двухслойной платы 2,5–3,75 мм, а для МПП – 1,25–2,5 мм (транзисторно-транзисторная логика ИС);
- сигнальные проводники в смежных слоях размещают под углом 90° или 45°;
- значение допустимой длины двух параллельных сигнальных межсоединений ограничивать 56–85 мм, а если число параллельных проводников больше двух, то приемлемое значение длины параллельных проводников выбирать меньше 1/3 их критической длины;
- нагрузочные резисторы устанавливать на расстоянии до 5–7 см от передающей микросхемы;
- при длинах межсоединений более 10 см необходимо использовать только согласованные линии связи;
- микросхемы должны монтироваться на МПП, имеющие специально выделенные сетчатые или сплошные слои земли, основного и вспомогательного питания;

– выдерживать постоянное волновое сопротивление межсоединения на всем протяжении, во всех конструктивных модулях, по которым проходит данная связь;
– применять параллельное согласование линий связи резисторами в 50 Ом.

Очевидно, что подобные рекомендации по обеспечению ЭМС, несомненно, полезны при проектировании межсоединений на конструктивных модулях ЭС, но они не описывают все возможные варианты защиты от электромагнитных помех и требуют проведения предварительных экспериментальных исследований. Рекомендации также не гарантируют отсутствия опасных уровней электромагнитных помех в конструктиве, не позволяют оценить величины возможных помех и, следовательно, осуществить прогноз работоспособности проектируемого ЭС. Для создания оптимальной конструкции межсоединения, цифрового узла и ЭС необходимо проводить анализ в каждом конкретном случае.

**Библиографический список**

1. Авдеев Е. В. Моделирование межсоединений для автоматизированного проектирования сверхбыстродействующих больших интегральных схем / Е. В. Авдеев, С. Д. Резников // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1984. Вып. 5 (III). С. 42–46.

2. Алешин А. В. Разработка методов проектирования РЭС с учетом требований ЭМС в распределенной вычислительной среде // Технологии ЭМС. 2005. № 1. С. 47–52.

**УДК 629.735.33**

***В. Ю. Орлов***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. Г. Федченко***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

При диагностике сложных аналоговых электронных модулей радиоэлектронных систем (РЭС) в условиях частичной неопределенности возникают значительные трудности. Они также обусловлены тем, что при моделировании сложных объектов действует фундаментальное положение кибернетики: при сложности объекта выше некоторого уровня его адекватная (полная) модель не может быть более простой. Поэтому фактически ни одна электронная система, содержащая модули, выполняющие преобразование аналоговых сигналов, не имеет исчерпывающего математического описания. Такие устройства, как приемники и передатчики телевизионных и аудиосигналов, блоки питания, стабилизаторы, генераторы и т. п., могут быть аналого-цифровыми, но основная функциональная часть схемы реализована в аналоговой области. Поэтому задача диагностирования аналоговых устройств по-прежнему актуальна.

Для эффективного решения задачи обнаружения возникших в процессе эксплуатации дефектов необходимо уже при проектировании обеспечить диагностируемость РЭС [1]. Наибольшее применение при решении задачи диагностики нашли следующие методы и технологии:

1) DFT (*Design for Test*), или технология проектирования контролепригодных схем, – технология, которая упрощает разработку и проведение производственных испытаний, а также обеспечивает диагностируемость электронного оборудования;

2) JTAG (*Joint Test Automation Group*), или *Boundary Scan*, – периферийное сканирование, используемое для внутрисхемной проверки работоспособности плат. Эта технология предполагает отсутствие зондов, но при ее использовании преимущества традиционной внутрисхемной проверки сохраняются, то есть диагностируется работоспособность элементов схемы;

3) ATPG (*Automated Template Generation*), или технология автоматической генерации образцов, используемая для электрической проверки полупроводников, где тестовый набор автоматически генерируется программой;

4) BIST, или встроенное самотестирование, – технология проектирования дополнительного оборудования и программного обеспечения, содержащихся в интегральных схемах и позволяющих проводить проверку их работы с использованием их собственных схем.

Перечисленные методы ориентированы на применение для диагностики цифровых электронных средств, печатных плат и интегральных микросхем. Для диагностирования аналоговых схем используются следующие методы: метод справочников, параметрическая идентификация, методы контроля неисправностей, приближенные методы и т. д. [2]. Многие из этих методов обладают следующими недостатками: необходимость доступа ко всем узлам схемы, большой объем вычислений, чувствительность к погрешностям вычислений, трудность практической реализации.

Для выхода из создавшейся ситуации при формировании диагностических моделей аналоговых систем, как правило, используют три уровня описания: алгоритмический, функциональный и узловой. В этом случае полное математическое описание строится по линейному принципу:

$$L = L_{уу} + L_{фу} + L_{ау}, \quad (1)$$

где $L_{уу}$ – язык узлового уровня; $L_{фу}$ – язык функционального уровня; $L_{ау}$ – язык алгоритмического уровня.

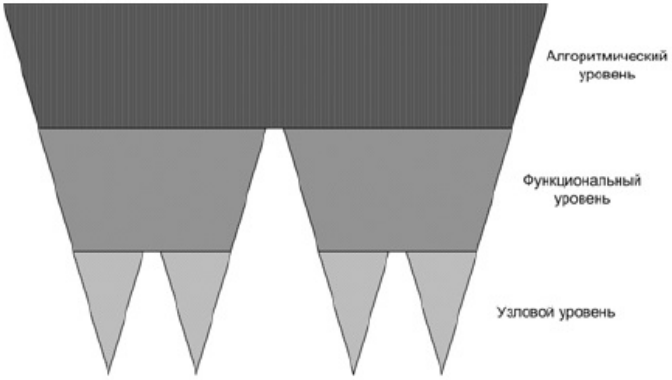
Многоуровневая модель выглядит следующим образом:

$$L = L_{ау}\,(L_{фу}\,(L_{уу})). \quad (2)$$

Такая последовательность создания многоуровневых диагностических моделей, как показала практика, является оптимальной с точки зрения снижения трудоемкости и уменьшения временных характеристик процесса диагностирования аналоговых устройств. Это связано с тем, что на каждом этапе

создания тестовых наборов тестовые алгоритмы осуществляют поиск неисправности с заданным уровнем детализации.

Таким образом, происходит ступенчатое углубление детализации. На рисунке изображен процесс поиска кратных неисправностей одного структурного модуля.




Процесс поиска одиночных и кратных отказов в аналоговых модулях РЭС

В соответствии с данным подходом по мере реализации процесса диагностирования происходит постепенное снятие неопределенности. При этом чем больше информации получено, тем меньше степень неопределенности состояния объекта диагностирования.

В статье предлагается решение задачи минимизации времени диагностики аналоговых модулей посредством применения метода принудительной диагностики. Суть метода принудительной диагностики заключается в подаче внешних тестовых воздействий на определенный исследуемый элемент объекта диагностики посредством специального зонда и анализе полученного с выходов элемента откликов.

При таком подходе работоспособность РЭС определяют, сравнивая ее динамические характеристики с аналитической моделью диагностируемого узла. Технические средства определения работоспособности при этом строятся по разным принципам в зависимости от формулировки условий работоспособности. Если условия работоспособности формулируются как ограничение на изменение показателей формы временной характеристики, то, как правило, осуществляют тестовое диагностирование, используя в качестве тестового воздействия единичное импульсное или ступенчатое напряжение.

Известно, что динамические свойства любой радиотехнической системы можно описать ее откликом $h(t)$, т. е. функцией веса. Если функцию $h(t)$ разложить в ряд Фурье и установить аналитическую зависимость между коэффициентами ряда для отклика $h(t)$ и параметрами диагностируемой аппаратуры, то на этой основе можно проводить диагностирование.

Известно, что передаточная функция системы есть преобразование по Лапласу ее отклика. Производя с передаточной функцией аналогичные преобразования, можно определить коэффициенты $an$ и $bn$ ряда Фурье [3]. Весовая функция $h(t)$ в общем случае зависит от всех параметров диагностируемого объекта:

$$h(t=)f(x_1, x_2, \ldots, x_6)$$

Пусть $h(t) = 0$ при $t \geq t_0$. Продолжим ее четным образом. Тогда четную периодическую функцию $h(t)$ можно разложить в ряд Фурье по косинусам:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos\frac{n\pi}{t_0} t, \qquad (3)$$

где $a_n = \frac{2}{t_0}\int_0^{t_0} h(t)\cos\frac{n\pi}{t_0} t dt.$

Между откликом диагностируемого объекта и действительной частью передаточной функции $\mathrm{Re}(\omega)$ существует следующая зависимость:

$$\mathrm{Re}(\omega) = \int_0^{\infty} h(t)\cos t dt.$$

Учитывая (3), можно записать

$$\mathrm{Re}\left(,\{x\}\right) = \int_0^{\infty} h(t)\cos t dt. \qquad (4)$$

Сравнивая (3) и (4), видим, что для фиксированных частот они отличаются только множителем $2/t_0$. Отсюда получаем формулы, выражающие коэффициенты Фурье через фиксированные значения вещественной частотной передаточной функции диагностируемой системы:

$$a_n = \frac{2}{t_0}\mathrm{Re}\left[{}_n,\{x\}\right],$$

где ${}_1 = \pi / t_0$; ${}_2 = 2\pi / t_0$.

Тогда будем иметь

$$h(t) = \frac{2}{t_0}\sum Re\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right)\cos\frac{n\pi}{t_0}t. \qquad (5)$$

Известно, что для всякой ограниченной кусочно-непрерывной функции, каковыми являются временные характеристики диагностируемой аппаратуры, ряд Фурье сходится в среднем к функции $h(t)$:

$$\int\left[h(t) - S_n(t)\right]^2 dt = 0, \text{ при} n \to \infty, \text{ где } S_n(t) \text{ – сумма членов ряда.}$$

Из сходимости следует, что можно определить отклик системы, пользуясь дискретными значениями действительной части частотной передаточной функции $\mathrm{H}(\omega)$. С увеличением числа членов ряда точность аппроксимации $h(t)$ рядом (5) увеличивается, но при этом увеличивается и объем вычислений, так как растет число гармоник, которые нужно учитывать.

Для получения переходных характеристик достаточно проинтегрировать ряд (5) от 0 до $t_0$. Тогда

$$\mathrm{H}(t) = \frac{2}{t_0}\sum_{n_0}^{\infty}\mathrm{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right)\sin\left(\frac{n\pi}{t_0}t\right). \qquad (6)$$

Или, учитывая равенство (4), $\mathrm{H}(t) = \sum_{n_0}^{\infty} a_n \sin\left(\frac{n\pi}{t_0}t\right)$.

На основании выражения (6) составляют систему уравнений, которая используется для нахождения уходов соответствующих параметров диагностируемого объекта:

$$H(t_1) = \frac{2}{t_0}\sum\mathrm{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right)\sin\left(\frac{n\pi}{t_0}t_1\right);$$

$$H(t_2) = \frac{2}{t_0}\sum\mathrm{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right)\sin\left(\frac{n\pi}{t_0}t_2\right);$$

……

$$\mathrm{H}(t_{\hat{e}}) = \frac{2}{t_0}\sum\mathrm{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right)\sin\left(\frac{n\pi}{t_0}t_{\hat{e}}\right),$$

– значения переходной характеристики для системы с номинальными параметрами, измеренными через интервалы $\Delta t = \pi / \omega_0$; $\omega_0 = 2\pi / t_0$. Так как коэффициенты Фурье являются функциями всех параметров диагностируемой аппаратуры, можно определить текущие значения контролируемых параметров $\{x\}$ решением системы алгебраических уравнений:

$$a_0 = \frac{2}{t_0}\mathrm{Re}\left(0,\{x\}\right);$$

$$a_0 = \frac{2}{t_0}\mathrm{Re}\left(\frac{\pi}{t_0},\{x\}\right);$$

....

$$a_n = \frac{2}{t_0}\mathrm{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0},\{x\}\right),$$

где $a_0, \ldots, a_n$ – текущие значения коэффициентов Фурье, снимаемых с анализатора, на вход которого подано напряжение, соответствующее отклику диагностируемого объекта; $\mathrm{Re}(n\pi/t_0, \{x\})$ – вещественная часть частотной передаточной функции.

Основной проблемой до последнего времени был значительный объем вычислений, выполняемый при анализе откликов. Но с появлением цифровых сигнальных процессоров основная нагрузка ложится как раз на такие устройства. При этом процессор позволяет достаточно просто реализовать процесс формирования различных тестовых сигналов.

**Библиографический список**

1. Бушуева М. Е. Методы и алгоритмы обеспечения контролепригодности сложных технических систем при кратных дефектах: дис. к. т. н. 05.13.01. Н. Новгород: НГТУ, 1997. 170 с.

2. Воловикова В. Е. Диагностика аналоговых схем с учетом тепловых режимов электрорадиоэлементов / В. Е. Воловикова, С. У. Уйвасов // Теория и практика контроля, измерений, испытаний и диагностики. 2009. № 3. С. 23–28.

3. Кирпиченко Ю. Р. Диагностика бытовой радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие. 2012. 77 с.

**УДК 520.364**

***А. Ю. Поликарпова***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Е. В. Кравец***
кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ВОСХОДЯЩЕМ ТЕПЛОВОМ КОНВЕКТИВНОМ ПОТОКЕ

Как известно, над очагом горения образуется восходящий тепловой конвективный поток [1]. Такой восходящий поток представляет собой смесь горячего и относительно холодного воздуха и продуктов горения, поднимающийся к потолку помещения. Все свойства данного потока носят случайный характер, так как связаны с непрерывным случайным перемешиванием горячих и относительно холодных воздушных масс.

Области контакта горячего и холодного воздуха образуют границы раздела сред с различными показателями преломления, и при этом пространственное положение, размеры, а также интенсивность (разность показателей преломления нагретых и холодных воздушных масс) являются случайными.

Диэлектрическая проницаемость воздуха зависит от физического состояния среды, которое характеризуется атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха. При возникновении возгораний воздух нагревается, следовательно, изменяется его диэлектрическая проницаемость. Интенсивность протекания процесса нагрева воздуха зависит от конкретного источника горения.

Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры воздуха описывается выражением [2]

$$\varepsilon = 1 + \frac{158 \cdot 10^{-8}}{T}\left(p + \frac{4800e}{T}\right),$$

где $p$ (Па) – атмосферное давление; $T$ – температура в градусах Кельвина; $e$ – абсолютная влажность воздуха.

На графике (рис. 1) представлены зависимости диэлектрической проницаемости от температуры при абсолютной влажности воздуха 5, 10, 20 и 30 г/м$^3$.

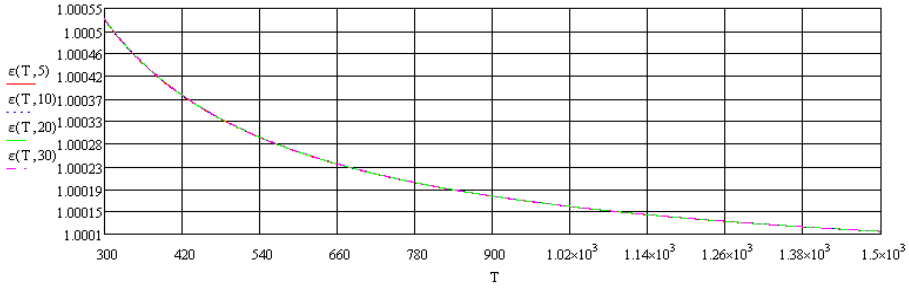



Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры (в градусах Кельвина) воздуха, при различных значениях начальной влажности воздуха

Как видно из графика, влияние влажности воздуха на диэлектрическую проницаемость пренебрежимо мало. По этой причине в дальнейшем рассмотрим только один случай со значением абсолютной влажности воздуха 10 г/м$^3$ (60% при 20 ˚С).

Получаем зависимость показателя преломления воздуха от температуры:

$$n = \sqrt{\varepsilon} \approx 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2}$$

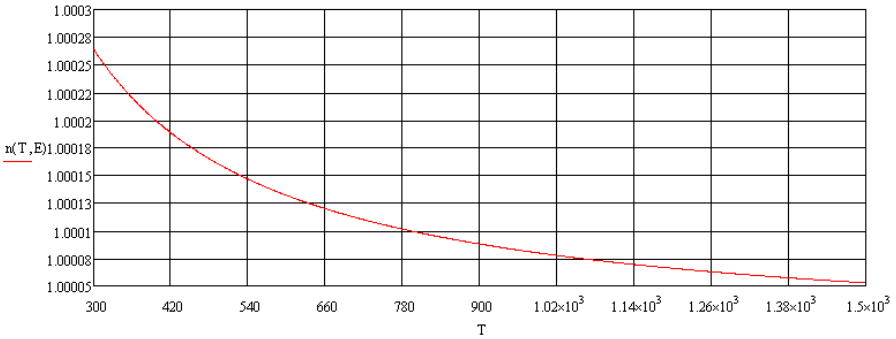



Рис. 2. Зависимость показателя преломления воздуха от температуры (в градусах Кельвина)

На графике (рис. 2) видно, что показатель преломления изменяется в 4–5 знаке после запятой. Несмотря на то что изменение мало, его можно наблюдать невооруженным взглядом по искажению изображения на заднем плане, если смотреть сквозь такой поток (например, если смотреть в открытое зимой окно или сквозь тепловые потоки нагретых предметов).

Рассмотрим это явление в простом эксперименте, проиллюстрированном на рис. 3.

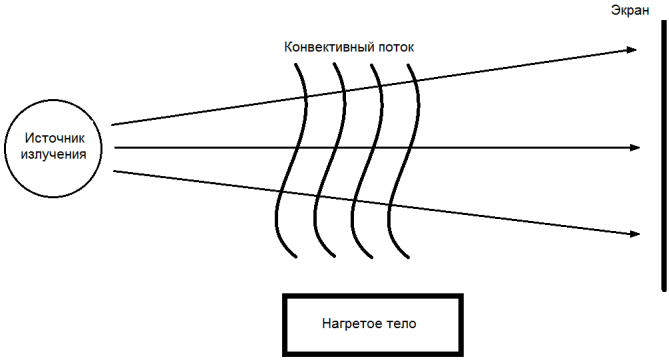



Рис. 3. Наблюдение искажений оптического излучения конвективным потоком

В таком опыте можно наблюдать флуктуации интенсивности света в различных точках экрана при использовании источника излучения, создающего равномерную освещенность экрана, постоянную во времени (например, солнце).

Эти факты говорят о том, что даже небольшое изменение показателя преломления вызывает значительные флуктуационные искажения оптических сигналов за счет формирования в пространстве границ разделов сред с разными показателями преломления (нагретый и относительно холодный воздух).

Известно, что при наблюдении интерференционной картины с использованием интерферометра [3] (на рис. 3 представлен интерферометр Майкельсона) на площадке фотодетектора интенсивность сигнала будет зависеть от разности оптического хода опорного и измерительного лучей. Разность оптического хода определяет разность фаз оптических сигналов, приходящих с опорного и измерительного плеч интерферометра [4]:

$$I = I_1 + I_2 + 2E_{1_0}E_{2_0}\cos\left(kr_1 - kr_2 + \varphi_1 - \varphi_2\right),$$

где $r_1$ и $r_2$ – расстояния от точки наблюдения до источника излучения через опорное и измерительное плечи; $k$ – волновое число.

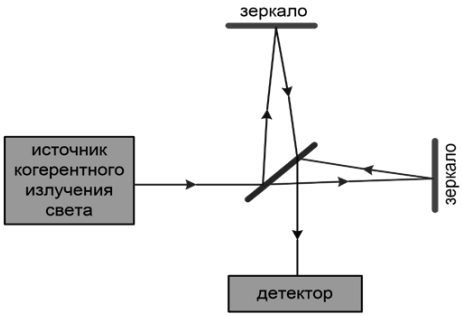



Рис. 4. Интерферометр Майкельсона

Если между одним из непрозрачных зеркал и полупрозрачным зеркалом будет протекать восходящий конвективный поток, то это приведет к изменению разности оптического хода лучей в плечах, что в свою очередь приведет к пульсациям оптического сигнала на фотоприемнике.

Например, при изменении температуры от 300 °К (27 °С) до 350 °К (77 °С) изменение оптической разности хода лучей в плечах (температура воздуха в опорном плече 27 °С) при длине плеч 1 м составит

$$Ln - Ln_0 = 1{,}0052 - 1{,}00045 = 0{,}00007 \text{ м} = 70 \text{ мкм}.$$

При длине волны зондирующего излучения 1 мкм такое изменение при наблюдении интерференционной картины приведет к тому, что с выхода фотоприемника поступит сигнал, содержащий 70 максимумов и 70 минимумов.

Нагретые и холодные массы воздуха в процессе горения перемешиваются непрерывно, и с выхода фотоприемника мы будем получать случайный электрический сигнал. Предполагается, что такой сигнал является характерным только для движущихся тепловых фронтов.

**Библиографический список**

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. М.: Стройиздат, 1990. 420 с.
2. Благовещенский Д. В. Распространение радиоволн. СПб.: ГУАП, 2002. 69 с.
3. Гладышева Т. М. Интерферометр Майкельсона / Т. М. Гладышева, В. О. Гладышев, Б. Г. Скуйбин, В. Л. Кауц. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 32 с.
4. Иванов В. Ю. Изучение основных явлений интерференции света с помощью интерферометра Майкельсона / В. Ю. Иванов, И. В. Митин, И. Б. Иванова. URL: http: //genphys. phys. msu. su/rus/lab/opt/Lab135_2017. pdf/.

**УДК 629.735.33**

*С. А. Пыжова*
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных лазерных средств
*В. Г. Федченко*
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сельское хозяйство – одна из самых перспективных сфер для использования данных аэрофотосъемки в целях повышения интенсификации растениеводческого производства. Постоянное повышение требований к качеству сельскохозяйственной продукции, высокая стоимость средств защиты растений, общее ухудшение фитосанитарной и экологической ситуации обостряет проблемы, связанные с применением средств защиты растений в сельскохозяйственном производстве. В практике защиты растений чаще всего применяются химические методы. Именно ядохимикаты являются одними из важнейших загрязнителей природной среды, которые приводят к ее деградации. Они же попадают в питьевую воду и пищевые продукты, в результате чего страдает здоровье людей.

Мониторинг местности с воздуха используется уже давно, особенно за рубежом. Эффективность использования земель в сельском хозяйстве, площади затопления и подтопления, влияние климатических факторов и многое другое активно исследуется при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В последнее время такое исследование стало значительно дешевле. Технология многовинтовых коптеров позволяет проводить аэрофотосъемку быстро и без значительных вложений по сравнению с традиционной топографической съемкой.

Фермеры и экологи все чаще в последнее время прибегают к помощи аэрофотосъемки, которая выполняется с летального аппарата, для последующего получения цветного аэрофотоматериала или ортофотопланов территории. В краткие сроки можно получить материал для формирования карт распространения видов растительности, для подсчета и контроля посевных площадей. Для получения снимков местности высокого разрешения применяются фотокамеры, которые устанавливают на летальных объектах. В дронах предусмотрен специальный механизм, который позволяет проводить качественное фотографирование местности со значительной высоты без вибраций и влияния ветра – гироскопический подвес. Он способен справиться с ветром до 12 м/с.

После получения снимков выполняется так называемая трансформация фотоснимков. Для этого применяются специальные программные комплексы. Один из таких комплексов – цифровая станция *Delta*. Она позволяет произвести качественную обработку полученных фотоснимков местности в довольно короткие сроки. Сегодня есть программы, которые выполняют склейку фотоснимков и создают 3D-модели на персональных компьютерах.

Несмотря на то что геодезические измерения непосредственно на самой поверхности земли позволяют получить более точные параметры рельефа координат заданных точек, аэрофотосъемка, в свою очередь, дает возможность составлять топографические планы масштабов 1 : 2000, 1 : 5000 и 1 : 10 000 в значительно более краткие сроки и по меньшей цене. К тому же аэрофотосъемка позволяет получить максимально достоверное расположение абсолютно всех объектов местности в цветном виде.

Работа самолетов и вертолетов на полях напрямую зависит от метеорологических условий, что является существенным недостатком в земледелии, где от скорости решения проблемы зачастую зависит судьба будущего урожая. Кроме того, на небольших площадях использовать большую авиацию не всегда рентабельно.

С конца прошлого века авиастроители добились значительных успехов в создании более мобильных, малобюджетных, экономичных моделей, отличающихся повышенной маневренностью, предназначенных и для сельскохозяйственных целей в том числе. Спрос на машины класса легких летательных аппаратов, среди которых наиболее известны *Cessna*, «Бекас», Су-38, НАРП, «Спектр» и др., полностью обоснован, поскольку применение данной техники для обработки полей и культур позволяет повысить урожайность на 20–30%. Задействуют эту технику преимущественно на полях с зерновыми колосовыми культурами и рисом.

Оснащенный системой распыления форсуночного типа легкий самолет, обладающий средними техническими характеристиками, при скорости 90 км/ч и ширине захвата 20 м способен обработать за день более 1000 га полей. При этом удается избежать повреждения посевов, обработать те участки, куда доступ традиционной сельскохозяйственной технике закрыт по причине труднодоступности (в том числе высокой влажности почвы), в кратчайшие сроки ликвидировать локальные очаги заражения культур болезнями или вредителями, расходуя минимальное количество химических препаратов и соблюдая высокую точность обработки.

Для ультрамалообъемных работ в аграрном секторе были разработаны мотодельтапланы, оснащенные опрыскивателями с вращающимися распылителями жидкости. Созданные специально для работы на посевах, садах и виноградниках, мотодельтапланы (Т-2М и Т-2М СХ, «Ветер», «Гриф», «Горизонт») идеально подходят для выпуска на поля трихограмм. Их можно использовать для внесения минеральных удобрений, обработки посевов пестицидами, десикантами и другими химическими веществами.

Эти летательные аппараты укомплектованы объемными баками общей вместительностью от 100–200 л (в зависимости от грузоподъемности машины и модификации крыла), комбинированными распыляющими приспособлениями, способными производить мелкокапельный (с величиной капли до 100 мкм) полив (опрыскивание) или обработку (удобрение) сухими препаратами (минеральным комплексом) на оптимальной высоте от 1 до 3 м. Производительность при этом составляет около 500 га в день.

Особенности конструкции мотодельтаплана способствуют хорошему проникновению препарата даже в загущенных посадках и высокой плотности его распыления, а расход рабочего раствора составляет около 5 л/га. При этом турбулентность, возникающая при работе машины, обеспечивает обработку не только верхней, но и нижней стороны листовых пластин. Эффективность применения мотодельтаплана заключается в значительном уменьшении денежных затрат на его обслуживание и топливо по сравнению с самолетами и уменьшении (на треть) нормы расхода химических препаратов.

Но серьезным недостатком легкой и сверхлегкой авиации является низкий уровень защиты пилотов от воздействия высокотоксичных ядохимикатов. Поэтому появление БПЛА, открывшее новую эру развития во многих областях человеческой деятельности, дает возможность повышения эффективности, экономичности, безопасности и дальнейшего усовершенствования ведения аграрных работ с применением эффективного земледелия.

Последние разработки позволяют проводить также спектральный анализ грунта, с помощью которого можно определить точную влажность каждого участка, количество в нем минеральных и органических веществ, контролировать рост и состояние посевов, а также перспективы будущего урожая.

Очень интересна технология посадки семян с помощью БПЛА. В этом случае аппарат «выстреливает» в почву капсулы с семенами, содержащие стимулятор роста и все необходимые для успешного развития растения элементы.

За один час работы БПЛА способен с высокой точностью внести трихограммы на поле площадью до 4 га. Оснащенные ультразвуковыми отпугивателями аппараты предохранят посевы от грызунов и птиц. Применение их для поливов, подкормок удобрениями, обработки пестицидами может проводиться удаленно, с высокой точностью, не допуская распространения дисперсного облака на соседние посевы.

Цифровой фотоаппарат – разновидность фотоаппарата, в котором светочувствительным материалом является матрица (или несколько матриц), состоящая из отдельных пикселей, сигнал с которых представляется, обрабатывается и хранится в самом аппарате в цифровом виде.

В основе устройства любой цифровой камеры лежит слияние двух технологий – фотографической и электронной. Фотографическая технология не отличается от технологий, применяемых в пленочных фотоаппаратах. К ней относятся:

- оптическая система;
- механизмы диафрагмирования, фокусировки и экспозиции (затвор);
- системы визирования, подсветки, автоматической установки экспозиционных параметров, вспомогательные системы.

Неметрические цифровые камеры позволяют получать снимки, которые не являются источником измерительной информации. Такие снимки используются в художественной фотографии, для получения иллюстраций, для публикаций в средствах массовой информации, в том числе в Интернете, для бытового фотографирования и во многих других областях.

Цифровые аэросъемочные фотоаппараты относятся к метрическим камерам. Среди них различают среднеформатные и полноформатные камеры. К полноформатным камерам относят такие, разрешение которых составляет порядка 100 Мб и более.

На сегодняшний день конструктивно цифровые камеры разделяются на две основные группы: кадровые и сканирующие.

Кадровые камеры, в свою очередь, можно разделить на среднеформатные, состоящие из одной цветной ПЗС-матрицы и имеющие разрешение в 20–40 мегапикселей, и полноформатные, представленные моделями Z/I *Imaging* DMC и *Vexcel UltraCam*. Примером сканирующих камер, которые еще иногда называют трилинейными (*trilinear*), являются модели *Leica Geosystems* ADS40 и *Wehrli/ Geosystem* 3 DAS.

Эксперты отмечают, что сканирующие камеры слабо применимы для создания крупномасштабных ортофотопланов, когда необходимо обеспечить точность определения координат 0,10 м и выше. По заявлениям производителей кадровых камер, для них всегда можно подобрать масштаб съемки, обеспечивающий точность вплоть до 0,05 м.

В сканирующей камере это зачастую оказывается недостижимым из-за принципиальной невозможности применения системы компенсации сдвига. При стандартной скорости самолета 250–300 км/ч (АН-30) и типовой выдержке 1/500, смещение самолета за время экспозиции составляет 0,15 м, что довольно критично при разрешении на местности 0,10 м и выше. Правда, использование для съемки менее скоростного АН-2 (160–180 км/ч) или вертолета позволяет обойти эту проблему. Однако в общем случае можно говорить о том, что камеры со сканирующей системой получения изображения наиболее эффективны, когда требуется точность 0,15–0,6 м. Эти камеры прекрасно подходят для оперативного создания ортофотопланов масштаба 1 : 2000 и в качестве более дешевой альтернативы по сравнению с данными космической съемки. Для создания инженерных планов в векторном виде масштабов 1 : 1000 – 1 : 500 предпочтительнее использовать кадровые камеры.

Согласно публикациям в сети Интернет из списка, представленного выше, наиболее популярна 3-DAS-1 ввиду ее не слишком высокой стоимости и доступности для компаний.

Рынок цифровых камер динамично развивается и в последнее время пополнился новыми разработками. К ним относятся:

- сканирующая камера JAS150 компании *Jena Optronik* (Германия);
- полноформатная цифровая камера от DIMAC *Systems* (Люксембург).

Ввиду высокой стоимости описанных выше специализированных аэрофотокамер для выполнения аэрофотосъемочных работ были приспособлены некоторые модели неметрических фотокамер. Так, например, для аэрофотосъемки сегодня применяют *Nikon* D2X, *Canon* EOS 7D *Kit*, а также широкоугольные зум-объективы *Canon* EF 16-35 f/2.8L, EF 70-200 f/2.8 L USM, EF 100-400 f/4.5-5.6L IS USM. Эти камеры, конечно, обладают более скромными техническими характеристиками, но при соблюдении определенных условий и использовании гирорамы позволяют получить снимки достаточно высокого качества для их последующей обработки при помощи программных средств с учетом поставленных перед специалистами целей.

Действуя в рамках указанного алгоритма, для анализа отобрали две группы камер – метрические и неметрические. Их оценку будем производить по шести ключевым критериям: разрешение, поддержка GPS, скорость съемки, вес, скорость подготовки к работе, стоимость. Для построения согласованных количественных шкал была принята максимальная оценка каждого критерия 10 баллов. Результаты дальнейших расчетов и интегральная оценка по каждой фотокамере приведены в таблице.

По данным таблицы можно сделать вывод, что неметрические камеры существенно уступают метрическим только по разрешению. По всем другим оцениваемым критериям они либо равны им, либо превосходят. Особенно значительное преимущество формируется по критериям стоимости, веса камеры и скорости съемки. На основе данных, приведенных в таблице, может быть сделан выбор конкретной модели фотоаппарата: наиболее подходящими являются *Canon* EOS 550D, *Panasonic Lumix* DMC-62 и *Nicon* D2X.

Выбор фотооборудования того или иного типа существенно зависит от решаемых задач. Сужая цели съемочных работ и потребность в них до рамок отдельно взятого хозяйства, получаем ряд ресурсных ограничений: трудовых, временных и, безусловно, финансовых, которые позволяют сформировать набор ключевых оценочных критериев. Применение метрических аэрофотоаппаратов требует значительного времени на подготовку системы к эксплуатации, штата сотрудников, их обучения, технической поддержки самой системы, то есть существенно увеличиваются временные и трудовые затраты на началь-

ном этапе работы. Кроме того, они массивны и неприменимы на сверхлегких летательных аппаратах. На выходе преимуществами являются качество и быстрота обработки, широкие возможности сопоставления и анализа информации. При этом высокое качество снимка замедляет скорость съемки и не позволяет использовать метрические камеры на самолетах со средней скоростью полета более 180 км/ч.

*Таблица*

Характеристики метрических и неметрических фотокамер и оценка каждого критерия

| Модель | Разрешение, Мпиксель/ балл | Поддержка GPS/балл | Скорость съемки, кадров/с/балл | Вес, кг/балл | Скорость подготовки к работе, ч/балл | Стоимость, тыс. дол./ балл | Интегральная оценка фотокамеры |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Метрические фотокамеры** | | | | | | | |
| Z/I Imaging DMC | 250 / 10 | Да / 10 | 0,81 / 0,68 | 66 / 0,08 | 4 / 0,63 | 1000 / 0,01 | **3,71** |
| Vexcel UltraCam | 200 / 8 | Да / 10 | 0,56 / 0,46 | 75 / 0,07 | 3,5 / 0,71 | 700 / 0,01 | **3,27** |
| Leica Geosystems ADS40 | 120 / 4,8 | Да / 10 | 0,88 / 0,73 | 38 / 0,13 | 4 / 0,63 | 1000 / 0,01 | **2,68** |
| Wehrli/Geosystem 3DAS | 106 / 4,24 | Да / 10 | 0,71 / 0,60 | 32 / 0,16 | 2,5 / 1,00 | 250 / 0,02 | **2,59** |
| **Неметрические фотокамеры** | | | | | | | |
| Canon EOS 550D | 18,7 / 0,748 | Да / 10 | 10 / 8,33 | 0,5 / 10 | 0,25 / 10 | 1,3 / 5 | **6,47** |
| Panasonic Lumix DMC-62 | 13,1 / 0,524 | Да / 10 | 2,5 / 2,08 | 0,7 / 7,14 | 0,25 / 10 | 0,6 / 10 | **6,24** |
| Sony Alpha DSLR-A390 | 16,7 / 0,668 | Да / 10 | 3 / 2,50 | 0,5 / 10 | 0,25 / 10 | 0,9 / 7 | **5,80** |
| Pentax K-5 | 16,9 / 0,676 | Да / 10 | 7 / 5,83 | 0,7 / 7,14 | 0,25 / 10 | 1 / 6 | **6,02** |
| Nicon D2X | 13 / 0,52 | Да / 10 | 12 / 10,00 | 1,07 / 4,67 | 0,25 / 10 | 1,3 / 5 | **6,23** |
| Canon EOS 5D | 22 / 0,88 | Да / 10 | 5 / 4,17 | 0,9 / 5,56 | 0,25 / 10 | 1,8 / 3 | **4,90** |
| Важность критерия, % | 20 | 15 | 20 | 10 | 10 | 25 | **100** |

Неметрические камеры уступают по качеству и возможностям автоматизированного анализа, но при этом не требуют реализации начального этапа, а обработка и анализ информации может проводиться в отдельной подготовленной для решения конкретных задач программе обработки изображений, что даже более адекватно существующим потребностям отдельных хозяйств. Кроме того, высокая скорость съемки позволяет делать выбор снимка с более высокой четкостью, а малый вес – осуществлять фотографирование с дельтапланов, мотодельтапланов и БПЛА. Решающим фактором является несопоставимость финансовых затрат на приобретение метрической и неметрической аэрофотокамер.

Таким образом, для поставленных задач мониторинга земель сельскохозяйственного назначения неметрические камеры с хорошим разрешением и дополнительным гироскопическим оборудованием являются более приемлемыми с точки зрения анализируемых критериев.

**Библиографический список**

1. Олейник С. В. Цифровые камеры для аэрофотосъемки / С. В. Олейник, В. Б. Гайда // Геопрофи. 2006. № 4. 45–51 с.

2. Тетеря А. Н. Опыт использования цифровой фотокамеры 3-DAS-1 // Геопрофи. 2008. № 1. 26–30 с.

3. Кадничанский С. А. Сравнительная оценка производительности цифровых аэросъемочных систем // Геопрофи. 2011. № 6. 18–24 с.

4. Хмелевский С. И. Тенденции в развитии цифровых аэросъемочных систем. Критерии сравнения и оценки // Геопрофи. 2011. № 2. 15–19 с.

5. Куницына Н. Н. Реализации теории принятия решений при выборе источников финансирования капитала организации / Н. Н. Куницына, Т. Г. Плешкова // Матер. XXXVII науч.-технич. конф. по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2007 год. Т. 3. Экономика. Ставрополь: СевКавГТУ, 2008. 173 с.

**УДК 621.396.1**

***И. А. Роща***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. Г. Федченко***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ВИБРОПРОЧНОСТЬЮ

В статье рассмотрен способ анализа характеристик печатных узлов (ПУ), который учитывает механическую прочность платы и проводников с применением экспертной системы. Предельные значения вибраций получаются на основе испытаний печатных плат с разным количеством слоев.

В настоящее время при разработке различной аппаратуры для сокращения сроков и уменьшения стоимости проектирования все чаще применяются автоматизированные системы принятия решений или экспертные системы (ЭС) [1]. Специалисты в области проектирования преобразуют свой опыт и знания, обобщенные результаты многолетней работы и исследований в совокупность фактов и правил, логических выводов. В дальнейшем эти факты и правила заносятся в базы знаний ЭС, использование которых при проектировании обеспечивает сокращение времени проектирования, повышение качества проектов.

Следует отметить, что человек способен сгенерировать новые знания на основе своего опыта, а также решать нестандартные новые задачи. Таким образом, ЭС, с одной стороны, создает предпосылки для появления новых решений, с другой стороны, не может полностью заменить реального специалиста-эксперта. Однако для решения большого количества типовых задач рядовыми инженерами ЭС дает большой выигрыш по времени, обеспечивая высокий уровень качества проектов. Следовательно, для проектирования ПУ с повышенной вибропрочностью, при выборе путей технических решений возможно и целесообразно использование ЭС.

Одним из основных видов несущих модулей для радиоэлектронного средства (РЭС) является печатная плата, обеспечивающая механическое и электрическое соединение электронных компонентов. На данный момент во многих устройствах используются многослойные печатные платы (МПП). Они представляют собой довольно сложные конструкции, состоящие из большого числа отдельных элементов, соединенных между собой, содержащие также встроенные резисторы и конденсаторы [2].

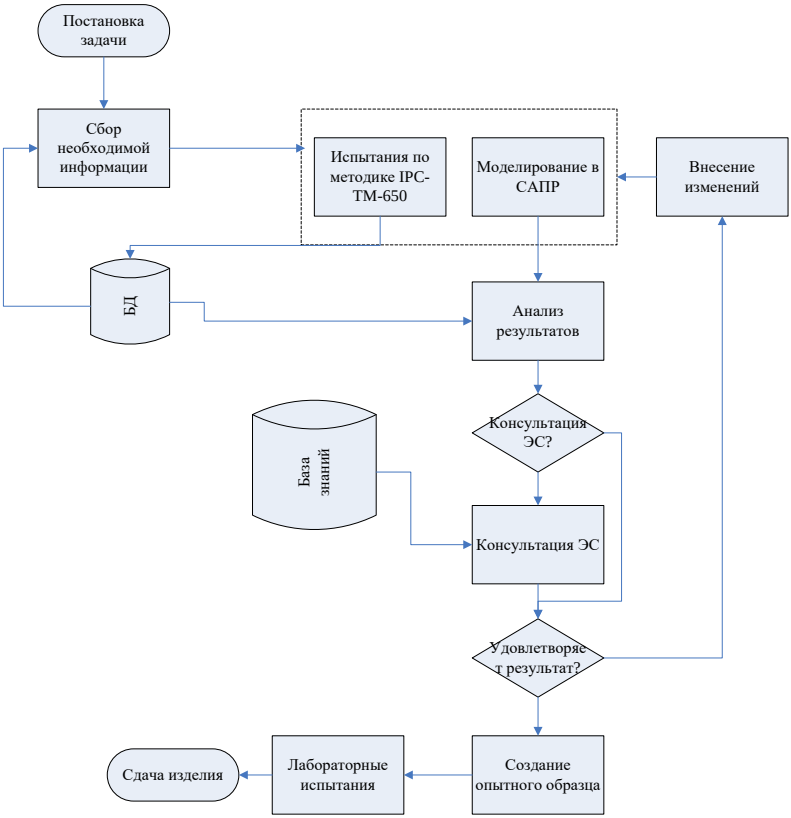
Стоит отметить, что на данный момент существует тенденция к миниатюризации, с каждым годом все больше уменьшаются габариты изделий, в частности и на основе печатных плат, что в свою очередь ведет к уменьшению размеров дорожек и переходных отверстий. Таким образом, внутри платы находится множество металлизированных отверстий, соединенных между собой, и при внешних воздействиях может произойти потеря контакта (выход из строя) у некоторых из них, зачастую это приводит к потере работоспособности платы и, соответственно, всего устройства.

В процессе разработки радиоэлектронного устройства опытный образец подвергают множеству испытаний, в частности испытаниям на вибропрочность. Нередко устранение выявленных недостатков приводит к переработке конструкции. Целесообразнее на этапе проектирования провести компьютерный анализ модели печатной платы с использованием ЭС, тем самым сократив количество доработок на конечных этапах моделирования.

В наиболее распространенных системах автоматизированного проектирования (САПР) высокого уровня, например таких, как *Creo Parametric*, нет возможности моделировать механические характеристики МПП, от которых во многом зависит работоспособность всего устройства.

В этой работе предлагается алгоритм (см. рисунок), позволяющий провести анализ вибрационных воздействий на печатную плату. Данный алгоритм предполагает использование стандарта IPC-TM-650 [3].

Собранные в процессе моделирования данные будут обработаны ЭС, в процессе обработки данных будет определено, лежат ли полученные в результате моделирования значения в пределах прочности компонентов.




Алгоритм анализа вибрационных воздействий

В заключение стоит отметить, что данная методика способна ускорить процесс разработки и доработки изделия, в первую очередь благодаря пополняемой базе данных по различным проектам печатных плат, которые можно использовать в качестве типовых решений, а также благодаря использованию САПР. Также благодаря обновляемым базам знаний применение ЭС при разработке может значительно увеличить достоверность статистических данных, что приведет к снижению количества ошибок на ранних этапах проектирования.

**Библиографический список**

1. Уотерман Д. Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат. М.: Мир, 1987. 441 с.

2. Муратов А. В. Проектирование и технология многослойных печатных плат со встроенными конденсаторами / А. В. Муратов, С. А. Донец, Н. Ю. Жукова // Проектирование и технология электронных средств. 2006. Т. 4. С. 20–25.

3. IPC-TM-650 Test Methods Manual.

**УДК** 629.735.33

***А. В. Рябов***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***П. А. Хабаров***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ РЭС

В настоящее время существует большое количество виброизоляторов (амортизаторов), на основе которых проектируют как пассивные, так и активные системы амортизации радиоэлектронных средств (РЭС). Активные системы амортизации РЭС эффективны, но чрезвычайно дороги, их применение оправдано в редких случаях. Информация, касающаяся описания общего принципа их работы, содержится в источниках, при этом конкретные реализации, как правило, закрыты.

Конструкторский расчет пассивных систем амортизации РЭС регламентирован ГОСТ 26568-85. Конструкторский расчет в основном сводится к проведению статического и динамического расчетов. При выполнении статического расчета проводят определение сил реакций виброизоляторов и величин статического прогиба, по которым с учетом возможного влияния дестабилизирующих факторов выбирают нужный типоразмер виброизолятора. При выполнении динамического расчета проводят оценку эффективности выбранной системы виброизоляции.

Наиболее сложная часть расчета пространственных систем виброизоляции – определение силы реакции виброизоляторов. Виброизоляторы выбирают с учетом всех направлений действия сил. В системах пространственного нагружения можно использовать только такие виброизоляторы, которые гарантируют работу по осям X, Y, Z (например, виброизоляторы следующих типов: АВД, АКСС, АПН, АСД, АР, АТ).

Силы реакции виброизоляторов $P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}$ должны удовлетворять уравнениям (1) и (2):

$$\sum_{i}^{N} P_{ix} = G_x, \ \sum_{i}^{N} P_{iy} = G_y, \ \sum_{i}^{N} P_{iz} = G_z, \tag{1}$$

$$\sum_{i}^{N} (P_{ix} y_i - P_{iy} x_i) = 0, \ \sum_{i}^{N} (P_{iy} z_i - P_{iz} y_i) = 0, \ \sum_{i}^{N} (P_{iz} x_i - P_{ix} z_i) = 0, \tag{2}$$

где $x_i$, $y_i$ и $z_i$ – координаты точки крепления к блоку $i$-го виброизолятора.

При этом оси прямоугольной системы координат X, Y, Z направлены параллельно главным осям, одна из которых совпадает с осью виброизолятора, а другие две перпендикулярны ей.

Выбор виброизоляторов происходит исходя из определения их несущих способностей и жесткости в осевых направлениях $P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}$. При этом $P_{\min} \le P_i \le P_{\max}$.

При расстановке виброизоляторов следует учитывать, что большие по горизонтали расстояния от виброизоляторов до их центра жесткости, лежащего на вертикали, проходящей через центр тяжести блока, приводят к высоким частотам собственных вращательных колебаний блока. Расстановка виброизоляторов должна быть симметричной, хотя бы относительно одной из главных центральных осей инерции амортизируемого блока.

Статические прогибы амортизаторов:

$$X_{icm} = \frac{P_{ix}}{k_{ix}}; \ Y_{icm} = \frac{P_{iy}}{k_{iy}}; \ Z_{icm} = \frac{P_{iz}}{k_{iz}}, \tag{3}$$

где $k_i$ – расчетная жесткость каждого виброизолятора:

$$k_i = \frac{k_p}{N}, \tag{4}$$

где $k_p$ – расчетная жесткость всех виброизоляторов:

$$k_p = 40mf^2, \tag{5}$$

где $f$ – частота возмущающих вибраций.

Если величина статических прогибов виброизоляторов получилась различной, то проводится выравнивание блока РЭС с помощью установки компенсирующих прокладок. Поэтому для расчета пассивной системы виброизоляции РЭС важно знать компоновку и расположение виброизоляторов (амортизаторов). Наибольшее распространение имеют системы виброизоляции с одной и двумя плоскостями симметрии.

После проведения статического расчета, когда известны места установки виброизоляторов и их марка, проводят динамический расчет системы виброизоляции. Эффективность пассивной системы виброизоляции в зарезонансной области оценивается следующей формулой:

$$Э = (1-\eta)\cdot 100\% \ , \tag{6}$$

где η – величина коэффициента динамичности, определяемая отношением

$$\eta = \frac{\sqrt{1+4\beta^2k^2}}{\sqrt{\left(1-k^2\right)^2+4\beta^2k^2}} \ , \tag{7}$$

где $k = f / f_0$ – относительная частота; β – коэффициент демпфирования.

Выражение (3) позволяет дать оценку эффективности пассивной системы виброизоляции на протяжении всего диапазона рабочих частот. На практике принято оценивать эффективность на нижней частоте границы рабочего диапазона. Причина заключается в том, что все виброизоляторы подразделяются на низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные. У низкочастотных виброизоляторов частота собственных колебаний в нагруженном состоянии не превышает 4 Гц, для среднечастотных – находится в пределах 8–10 Гц, у высокочастотных – в пределах 20–35 Гц. Поэтому, выбирая виброизолятор, необходимо обеспечить нахождение его резонансной частоты ниже границы рабочего диапазона, а расчет эффективности виброизоляции следует проводить на граничной частоте.

Согласно ГОСТ 11478-88, устанавливающему нормы климатических и механических воздействий, для РЭС I–IV групп эксплуатации нижняя граница частотного диапазона составляет 10 Гц. Для каждой из рассматриваемых систем виброизоляции на нижней граничной частоте, равной 10 Гц, эффективность будет составлять 44,6%. Традиционная методика не регламентирует дальнейшие действия инженера-конструктора по выбору системы виброизоляции.

Руководствуясь тем, что система виброизоляции 1 имеет резонанс на частоте 3,5 Гц и является низкочастотной, а система виброизоляции 2 имеет резонанс на частоте 5 Гц и является среднечастотной, следует выбрать систему 1, так как ее резонанс находится дальше от нижней границы рабочего диапазона частот.

Однако такой выбор ошибочен. Проведя расчет эффективности рассматриваемых систем виброизоляции на частотах выше границы нижней части рабочего диапазона, увидим, что система 2 эффективнее системы 1.

Вероятность возникновения ситуации, в которой эффективность двух систем виброизоляции равна (или приблизительно равна), невысока. Тем не менее эта вероятность существует, и неверный выбор системы виброизоляции приведет к снижению устойчивости проектируемой РЭС к воздействию вибрации.

Кроме этого, возможен другой случай, также не рассмотренный в рамках традиционной методики. Из-за своих конструктивных особенностей различные типы виброизоляторов имеют резонансные кривые, отличающиеся своей добротностью. Это может привести к тому, что на нижней граничной частоте (снова возьмем 10 Гц) эффективность системы 1, равная 27,5%, окажется выше, чем эффективность системы 2, равная 15,5%. В данном случае (если проводить расчеты только на граничной частоте нижнего диапазона) следует, что необходимо выбрать систему 1.

Однако, во-первых, обе системы не входят в резонанс в рабочем диапазоне частот, а значит, могут быть использованы. Во-вторых, эффективность системы 2 после частоты в 11 Гц до границы верхнего диапазона превышает эффективность системы 1. С учетом того, что весь диапазон находится в пределах от 10 до 1000 Гц, выбор системы 1 становится спорным.

Из рассмотренных примеров следует вывод, что совершенствование известной методики оценки эффективности системы виброизоляции блока РЭС с целью оценки эффективности на всем рабочем диапазоне частот является важной научно-практической задачей.

**Библиографический список**

1. Талицкий Е. Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: учеб. пособие. Владимир. 2001. 256 с.

**УДК 658.5**

***В. В. Солдатенкова***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***Н. Н. Иванов***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТОДИК ТЕХНОЛОГИЙ МОНТАЖА ПМК ОП И БЕССВИНЦОВЫХ ПМК ИП ТИПА BGA

Так как на плате, как правило, одновременно монтируются разные компоненты, в том числе и в бессвинцовом исполнении, необходимо правильно выбирать технологию пайки. Особенно это важно для компонентов с шариковыми выводами (типа BGA).

Для промышленных изделий электронной техники зарубежного производства характерно так называемое бессвинцовое исполнение. Это обусловлено тем, что в 2002 году была введена директива об ограничении использования опасных веществ (RoHS – *Restriction of Hazardous Substances*), в этот список входит и свинец. Следовательно, в большинстве зарубежных стран осуществлен полный переход на бессвинцовую технологию.

Для отечественной промышленности это стало огромной проблемой, так как изделиям, изготовленным по традиционной технологии («свинцовой»), автоматически закрылся путь на зарубежные рынки. Возникла необходимость монтажа бессвинцовых поверхностно-монтируемых компонентов (ПМК) в изделия отечественного производства (ОП).

Существует несколько методик пайки компонентов с шариковыми выводами типа BGA. Они представлены на рис. 1.

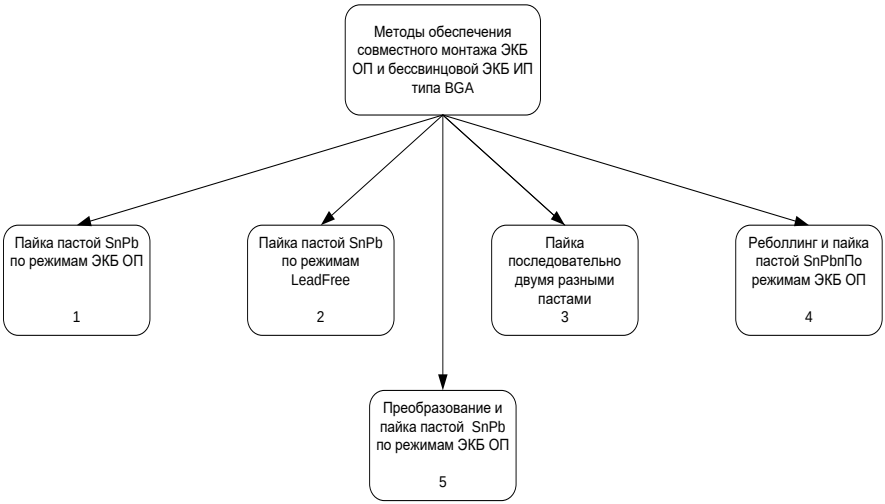



Рис. 1. Методики пайки компонентов с шариковыми выводами, типа BGA

**Методика 1**: пайка пастой SnPb по режимам электронно-компонентной базы отечественного производства (ПМК ОП). Сначала наносится свинецсодержащая припойная паста, затем на отпечаток пасты устанавливаются ПМК отечественного производства (ОП) и иностранного производства (ИП). Далее производится групповая пайка оплавлением по режимам для ПМК ОП, отмывка отпечатков пасты и контроль. При таком методе наблюдается дефект «голова на подушке» – граница плавления оловянно-свинцового припоя с шариком из бессвинцового припоя [1].

**Методика 2**: пайка пастой SnPb по режимам электронно-компонентной базы иностранного производства (ПМК ИП). В первую очередь наносится свинецсодержащая припойная паста, затем на отпечаток пасты устанавливаются ПМК (ОП и ИП). Далее производится групповая пайка оплавлением по режимам для ПМК ИП, отмывка отпечатков пасты и контроль. Данный метод не подходит для ПМК ОП и отечественных плат. У этой технологии имеются проблемы с отмывкой, и в большом количестве образуются интерметаллиды [1].

**Методика 3**: последовательная установка и пайка ПМК ИП бессвинцовой пастой по бессвинпцовому режиму, затем установка и пайка ПМК ОП свинецсодержащей пастой по свинцовым режимам. В первую очередь наносится бессвинцовая припойная паста, затем устанавливаются ПМК ИП и осуществляется групповая пайка оплавлением по режимам для ПМК ИП. Затем с помощью дозатора наносится свинецсодержащая припойная паста, устанавливаются ПМК ОП на пасту и осуществляется оплавление уже по режимам для ПМК ОП, а последними этапами идут отмывка отпечатков пасты и контроль. Такой метод требует больших трудозатрат, так как есть дополнительный цикл нагрева платы и ПМК ИП, и характеризуется плохой отмывкой флюса.

**Методика 4**: операция реболлинга. На начальном этапе удаляются бессвинцовые шарики и очищаются контактные площадки микросхемы от излишков припоя, далее следует отмывка и нанесение флюс-геля. Затем устанавливается микросхема в оснастку для реболлинга и засыпаются шарики припоя. После этого удаляется трафарет и производится пайка в конвекционной печи. На этом заканчивается комплекс операций по реболлингу. На следующем шаге наносится свинецсодержащая припойная паста, на нее устанавливаются ПМК ОП и осуществляется оплавление по режимам для ПМК ОП. А последними этапами идут отмывка отпечатков пасты и контроль.

Этот процесс является дорогим и трудоемким и имеет два лишних цикла нагрева. Кроме этого, для операции реболлинга дополнительно необходимы шарики припоя олова. Эта методика может привести к ухудшению ремонтопригодности изделия.

**Методика 5**: выполнение операции преобразования состава бессвинцовых шариков в состав, близкий к эвтектическому в системе SnPb, с использованием специальной преобразующей пасты, а затем пайка стандартной пастой SnPb по типовым режимам монтажа ОП одновременно всех ПМК.

Предварительно необходимо преобразовать бессвинцовые шарики в эвтектические. Преобразование происходит следующим образом:

- на подложку накладывается трафарет и наносится специальная преобразующая паста, созданная в ОАО «Авангард»;
- на эту подготовленную подложку накладывают микросхему;
- запускают процесс контактного плавления, в результате которого формируются новые шариковые выводы из околоэвтектического сплава SnPb.

Процесс преобразования изображен на рис. 2.

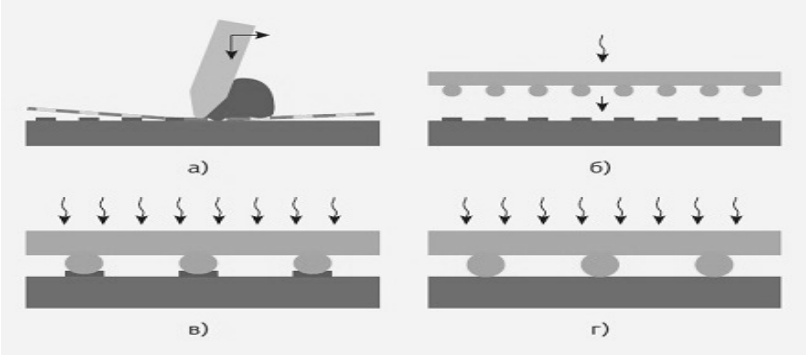



Рис. 2. Процесс преобразования сплава шариковых выводов компонентов из бессвинцового в оловянно-свинцовый околоэвтектического состава: *а* – нанесение припойной пасты; *б* – установка компонента на отпечаток пасты; *в* – нагрев до расплавления припоя; *г* – формирование выводов из нового сплава

После преобразования наносится свинецсодержащая припойная паста, на нее устанавливаются ПМК ОП и осуществляется оплавление по режимам для ПМК ОП, осуществляется отмывка и контроль. Эта методика не отличается высокой трудоемкостью по сравнению с методом реболлинга. Для ее реализации необходима специальная преобразующая паста, созданная в ОАО «Авангард» [2].

Для оценки вариантов технологий монтажа был проведен опрос экспертов в ОАО «Авангард». Результаты опроса представлены в таблице. Сравнение указанных пяти методов совместного монтажа оценивалось по 5-балльной системе, при этом пять баллов соответствуют отличной оценке, а один балл – абсолютно негативной.

*Таблица*

Сравнение методов обеспечения совместного монтажа ПМК ОП и бессвинцовых ПМК ИП типа BGA

| № Эксперта | Метод / Параметр | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 | Вариант 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Трудоемкость (нормо-час) | 5 | 5 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | | 5 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| 3 | | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 |
| 4 | | 5 | 5 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Соответствие НТД | 4 | 1 | 3 | 4 | 4 |
| 2 | | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 3 | | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 |
| 4 | | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 1 | Надежность | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| 2 | | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 3 | | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 4 | | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Возможность рекламаций BGA | 4 | 5 | 4 | 2 | 5 |
| 2 | | 4 | 5 | 4 | 2 | 5 |
| 3 | | 4 | 5 | 4 | 1 | 5 |
| 4 | | 5 | 5 | 4 | 2 | 5 |
| 1 | Возможность рекламаций ПМК ОП | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | | 5 | 2 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | | 5 | 1 | 4 | 5 | 5 |
| 4 | | 5 | 1 | 5 | 5 | 5 |

Проанализировав методики, можно сказать, что не все из них могут быть рекомендованы, так как вследствие применения некоторых из них возникает ряд дефектов или осуществляется слишком много циклов нагрева (больше трех не рекомендуется), которые приводят к тому, что в результате изделие характеризуется низкой ремонтопригодностью. На общем фоне выделяется методика преобразования, получившая высокие оценки экспертов по всем показателям.

**Библиографический список**

1. Иванов Н. Н. Новая технология подготовки контактов бессвинцовых компонентов типа BGA к монтажу в ответственную аппаратуру // Петербургский журнал электроники. 2016. № 1. С. 57–60.

2. Иванов Н. Н. Повышение надежности монтажа радиоэлектронных компонентов с бессвинцовыми шариковыми выводами // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 1. № 2. С. 119–128.

**УДК 621.37**

***В. Р. Стойкова***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Р. Бестугин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ВЫБОР ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА ПО СХЕМЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Принцип работы технического средства защиты от несанкционированного съема речевой информации основан на нейтрализации акустооптоволоконного канала утечки конфиденциальной речевой информации посредством физического воздействия вибрационным, акустическим, электрическим, магнитным и иным полем на акустических частотах с шумовым или другим специальным спектром. В результате происходит зашумление акустической информации, передающейся по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС).

Техническое средство защиты нейтрализует утечку речевой информации через штатные волоконно-оптические коммуникации путем установки специализированных зашумляющих средств, способных подавить каналы утечки во время проведения переговоров. Устройство создает локализованный участок в ВОЛС, где осуществляется воздействие на оптоволокно. В итоге проходящий через ВОЛС световой поток модулируется различными способами.

В системах оптической связи наибольшим потенциалом обладают интегрально-оптические модуляторы на основе кристаллов ниобата лития $LiNbO_3$, среди которых распространенными являются амплитудные электрооптические модуляторы по схеме интерферометра Маха – Цендера (ИМЦ). Область применения застрагивает аналоговые и цифровые коммуникации, а также волоконно-оптические датчики. Использование электрооптического модулятора по схеме ИМЦ позволяет улучшить технические характеристики трактов передачи аналоговых и цифровых сигналов, обеспечить электромагнитную совместимость линий передачи информации. Предназначение – модуляции излучения мощного лазера.

Исходный монохроматический световой пучок *I* (рис. 1) попадает на первый делитель светового потока (*1*), где разделяется на два одинаковых пучка $I_1$ и $I_2$. Образовавшиеся пучки направляются в электрооптические элементы (*3*) из монокристаллического материала с линейным электрооптическим эффектом. При подаче на электроды (*4*) управляющего напряжения происходит изменение показателя преломления. Благодаря этому световые пучки приобретают взаимную разность фаз $\varphi$. Световые пучки после прохождения электрооптических элементов попадают в соединитель пучков света (полупрозрачное зеркало *2*), а затем на фотоприемное устройство (ФПУ) [1].

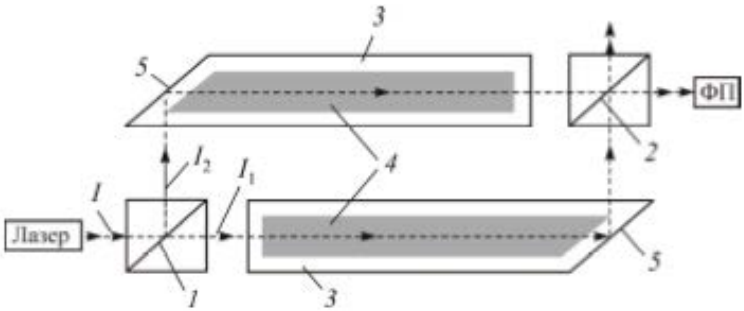



Рис. 1. Электрооптический модулятор по схеме ИМЦ на дискретных элементах:
*1* – делитель светового потока; *2* – соединитель разделенных пучков света;

*3* – электрооптические элементы; *4* – электроды; *5* – отражающие элементы; ФП – фотоприемник; $I_1$ и $I_2$ – световые пучки в каналах модулятора

Главными характеристиками амплитудных модуляторов являются рабочая полоса частот и полуволновое напряжение. Фазовые задержки внутри оптических путей волновода обусловлены уровнем управляющего напряжения на входе модулятора, которое определяет мощность сигнала для управления модулятором.

Мощность излучения на выходе электрооптического модулятора зависит от напряжения на электродах модулятора и описывается выражением

$$I_m = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} * \frac{V}{V_\pi}\right), \quad (1)$$

где $I_0$ – мощность на входе модулятора, $I_m$ – мощность на выходе модулятора, $V$ – напряжение на электродах модулятора, $V_\pi$ – полуволновое напряжение [2].

Мощность излучения на выходе электрооптического модулятора показана на рис. 2.

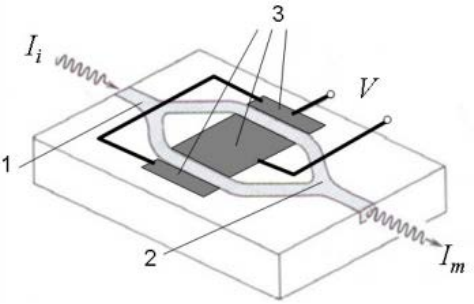



Рис. 2. Функциональная схема интегрально-оптического модулятора:
*1*, *2* – интегрально-оптические разветвители, *3* – система управляющих электродов

Выбор электрооптического модулятора по схеме ИМЦ будет производиться из анализа экспериментально построенных графиков зависимости мощности излучения на выходе электрооптического модулятора от напряжения на электродах модулятора по выражению (1).

В качестве входных данных использованы характеристики амплитудных модуляторов интенсивности (амплитуды) для рабочего диапазона длин волн 1530–1625 нм производителя *IXBluePhotonics* (Франция). Параметры модуляторов приведены в таблице [3].

*Таблица*

Характеристики модуляторов интенсивности (амплитуды) для 1530–1625 нм

| Наименование | Полуволновое напряжение | Входная мощность | Напряжение смещения | Скорость модуляции | Вносимые потери |
|---|---|---|---|---|---|
| MZDD-LN-10 | 2,5 В | до 20 дБм* | –20…+20 В | до 12 Гбит/с | 4 дБ |
| MXAN-LN-10 | 5,5 В | до 20 дБм | –20…+20 В | до 12 Гбит/с | 2,7 дБ |
| MXAN-LN-20 | 5 В | до 20 дБм | –20…+20 В | до 25 Гбит/с | 2,7 дБ |
| MXAN-LN-40 | 6,4 В | до 20 дБм | –20…+20 В | до 40 Гбит/с | 4 дБ |

* В качестве входной мощности взято фиксированное значение 18 дБм.

Экспериментальная зависимость выходной мощности оптического излучения модулятора от величины приложенного напряжения (разности фаз интерферирующих пучков) рассчитана в программной среде MATLAB и приведена на рис. 3.

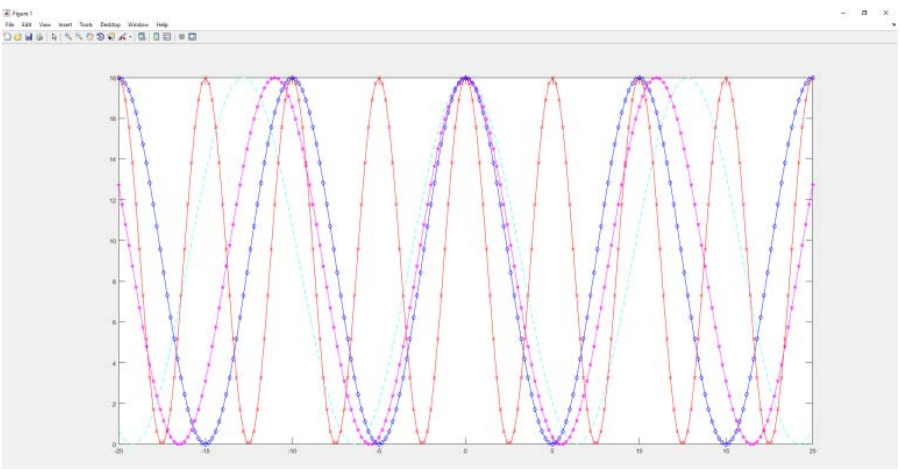


Рис. 3. Зависимость выходной мощности оптического излучения модулятора от величины приложенного напряжения: x – *MZDD-LN*-10, ◊ – *MXAN-LN*-20, *– *MXAN-LN*-10, --- – *MXAN-LN*-40

По виду полученных зависимостей можно сделать вывод: при прочих равных условиях (входная мощность, напряжение смещения, диапазон выходной мощности) мощность излучения на выходе электрооптического модулятора зависит непосредственно от величины полуволнового напряжения.

Полуволновое напряжение определяет мощность управляющего сигнала, необходимую для управления электрооптическим модуляторами, является минимальным напряжением для обеспечения фазового сдвига выходящего света на 180°. Исходя из графика следует, что чем ниже величина полуволнового напряжения, тем больше образуется максимальных значений выходной мощности, то есть увеличивается количество используемых рабочих точек.

При величине полуволнового напряжения 2,5 В количество возможных рабочих точек, в которые можно перевести работу модулятора, в два раза больше, чем при значениях полуволнового напряжения 5 В, 5,5 В, 6,4 В. Широкий выбор рабочих точек предполагает более обширную работу модулятора как в режиме модуляции напряжением без смещения рабочей точки, так и со смещением рабочей точки.

Помимо этого, высокое полуволновое напряжение создает значительные неудобства при эксплуатации модуляторов света, так как возникает опасность пробоя между электродами. При низком значении полуволнового напряжения (2,5 В) не возникнет повышенных требований к качеству изоляции и размерам источника управляющего напряжения. Кроме того, модулятор с низким управляющим напряжением не станет источником электромагнитных помех.

На основании вышесказанного следует вывод, что в качестве оптимального модулятора для технического средства защиты речевой информации рационально выбрать электрооптический амплитудный модулятор с низким полуволновым напряжением MZDD-LN-10 производителя *IXBluePhotonics*.

**Библиографический список**

1. Афанасьев В. М. Электрооптический модулятор по схеме интерферометра Маха – Цендера // Прикладная фотоника. 2016. Т. 3. № 4. С. 341–369.

2. Лебедев В. В. Исследование высокочастотной и сверхчастотной модуляции оптического излучения в волноводных структурах на основе ниобата лития. URL: http://www. eltech. ru/assets/files/nauka/dissertacii/2016/Lebedev/Diser-14_7_lasted. pdf.

3. Специальные системы. Фотоника. URL: http://sphotonics.ru.

**УДК 621.37**

***М. И. Тарала***
магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Р. Бестугин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ВЫБОР РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

Для работы оптической системы для наблюдения за атмосферой Земли необходимо выбрать диапазон длин волн, на которых будет осуществляться детектирование объектов наблюдения. Для этого необходимо проанализировать состав атмосферы и ее влияние на распространение оптического излучения. В качестве объекта наблюдения могут выступать метеообразования, дым от пожаров и т. д., а в качестве рабочего диапазона для функционирования оптико-электронной системы (ОЭС) был выбран средний инфракрасный диапазон 3–5 мкм.

В состав Земной атмосферы входят следующие основные компоненты: азот, углекислый газ, кислород, водяной пар, метан, закись азота, окиси углерода и озона. Помимо перечисленных газов в атмосфере также присутствует множество мельчайших частиц во взвешенном состоянии. Эти частицы распределены в атмосфере случайным образом и имеют размеры в диапазоне от $10^{-7}$ до $10^{-1}$ см. Они могут быть представлены водяными каплями, частицами углерода, пылью земли, частицами дыма, кристалликами льда, бактериями, пыльцой растений и т. д.

Процентный состав основных газов атмосферы остается почти постоянным до высот 25–30 км. Но из-за присутствия водяного пара в составе атмосферы процентное содержание газов может меняться. На высотах до 12 км основной вклад в поглощение излучения вносят молекулы водяных паров и углекислого газа. Концентрация водяного пара изменяется от $10^{-3}$ до 4% – в зависимости от влажности воздуха и температуры. Также концентрация водяных паров зависит от высоты, времени года и местных метеорологических условий. На больших высотах процентное содержание водяного пара значительно убывает из-за удаления от испаряющихся поверхностей, влияния процессов конденсации и низких температур. На высоте свыше 10 км водяные пары отсутствуют вовсе [1].

Углекислый газ меняет свою концентрацию в пределах от 0,03 до 0,05%. Наименьшее количество углекислого газа содержится над областями, слабозаселенными людьми, верхний же порог достигается в атмосфере над крупными мегаполисами [2].

На прохождение инфракрасного (ИК) излучения в атмосфере серьезное влияние оказывают водяные пары и углекислый газ, имеющие определенные спектры поглощения, а также мелкие частицы, на которых происходит рассеяние излучения. Водяные пары селективно поглощают ИК-излучение, полосы поглощения наблюдаются во всей области ИК-спектра. Поглощение углекислым газом сосредоточено в средней части ИК-спектра. Частицы же оказывают максимальное влияние в приземном слое атмосферы (ниже 150 м).

В процессе работы ОЭС излучение от объектов наблюдения проходит сквозь слой земной атмосферы, что приводит к ослаблению сигнала или его затуханию за счет рассеяния и поглощения молекулами водяного пара, углекислого газа и озона.

Спектральное пропускание атмосферой излучения, измеренное на горизонтальной трассе протяженностью 1,8 км над уровнем моря, приведено на рис. 1.

На рис. 1 видно, что в атмосфере для ИК-диапазона есть окна прозрачности. Между полосами прозрачности имеются полосы полного поглощения ИК-излучения атмосферой, в основном углекислым газом $CO_2$ (2,6–2,9 мкм; 4,2–4,4 мкм) и парами воды $H_2O$ (2,5–2,8; 4,2–4,4 мкм).

ИК-диапазон можно разделить на четыре рабочих участка:

- ближний ИК-диапазон с длинами волн 0,7–0,9 мкм;
- коротковолновый ИК-диапазон с длинами волн 0,9–3,0 мкм;
- средневолновый ИК-диапазон с длинами волн 3–5 мкм;
- длинноволновый ИК-диапазон с длинами волн 8–14 мкм.

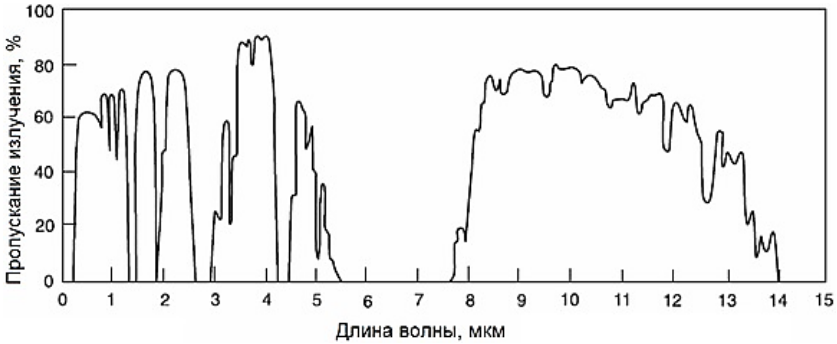



Рис. 1. Спектральное пропускание атмосферы

Для ближнего ИК-диапазона характерно использование естественного или искусственного излучения. Отразившись от наблюдаемых объектов, излучение попадает на неохлаждаемые приемники оптического излучения (ПОИ) на основе относительно дешевых приборов с зарядовой связью либо комплементарных структур металл-оксид-полупроводник, обладающих хорошим пространственным разрешением.

В основе работы с коротковолновым ИК-диапазоном лежит использование освещенности, создаваемой свечением ночного неба, которая образуется благодаря фотохимической реакции гидроксилов в верхней атмосфере на высотах около 85 км. Эта освещенность в несколько раз превосходит свет от звездного неба, что и позволяет оптоэлектронной системе работать в безлунные ночи.

В основе такой системы лежит неохлаждаемое ПОИ, способное работать при температуре окружающей среды с использованием относительно простой системы термостабилизации. Этот диапазон хорош тем, что проходящее излучение меньше ослабляется из-за дымки, пыли и тумана. В коротковолновом ИК-диапазоне, так же как и в ближнем ИК-излучении, используется отраженное от объектов излучение, создаваемое сторонними источниками.

Средневолновый ИК-диапазон обычно хорошо подходит для систем, предназначенных для обнаружения ракетных двигателей, стрелкового вооружения, вспышек боеприпасов артиллерии, очагов возгорания, пищевых продуктов и т. д. Для работы большинства ПОИ этого диапазона не требуется охлаждение до криогенных температур, что значительно уменьшает габариты, энергопотребление, массу, стоимость и время выхода на рабочий режим после включения.

Длинноволновый ИК-диапазон предназначен для работы по собственному излучению объектов наблюдения. Для детектирования излучения используются как неохлаждаемые ПОИ, так и охлаждаемые до криогенных температур.

Длинноволновые ИК-системы работают на относительно высокой дальности обнаружения и распознавания целей. В основе работы распознавания лежит контраст между целью и фоном. Подобные системы применяются в промышленном контроле, медицинской термографии, а также в военной технике [3].

Главным компонентом, поглощающим ИК-излучение в атмосфере, являются водяные пары. Чтобы рассчитать коэффициент поглощения водяных паров вводится понятие об эффективной поглощающей массе, измеренной в количестве осажденной воды, – ω.

Для горизонтальной трассы расчет количества эффективной поглощающей массы производится по формуле [4] $\omega = \omega_0 L$, где $L$ – длина трассы в км, $\omega_0$ – поглощающая масса газа в приземном слое на трассе 1 км.

В случае наблюдения воздушного объекта с земли трасса будет наклонной. Для расчета эффективной поглощающей массы на такой трассе необходимо прибегнуть к другой формуле [4]:

$$\omega = \int_{H_1}^{H_2} \omega_0 \cdot \left( \frac{P(h)}{P_0} \right)^{1,75} \cdot \frac{T_0}{T(h)} \cdot \frac{dh}{\sin\alpha}, \qquad (1)$$

где $P_0$ = 1013 мб = 1 атм; $T_0$ = 273 K, α – угол наклона трассы, отсчет ведется от горизонта; высотный профиль температуры и давления высчитываются согласно ГОСТ 4401:

$$T(h) = T_0 - 0{,}0065 \cdot h,$$

$$P(h) = P_0\left(1 - \frac{h}{44308}\right)^{5{,}255}, \quad (3)$$

где $h$ – высота в метрах (< 11 км).

При нахождении эффективной поглощающей массы паров воды необходимо вычислить вертикальный профиль распределения влажности. Согласно источникам [5, 6, 7] до высот 10 км изменение абсолютной влажности с высотой, достаточной для инженерных расчетов, можно точно описать функцией

$$a(h) = e(0) \cdot \exp(-0{,}5h). \quad (4)$$

Упругость паров воды можно найти по формуле [5]

$$e(0) = 6{,}107 \cdot 10^{\frac{7{,}665t}{243{,}33+t}} \cdot \frac{f}{100}, \quad (5)$$

где $f$ – относительная влажность воздуха в %, $t$ – температура в °C.

Подставив выражения (2) – (5) в формулу (1), получаем:

$$\omega_{H2O} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{21{,}7}{T_0} \cdot 6{,}107 \cdot 10^{\frac{7{,}665t}{243{,}33+t}} \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(1 - \frac{h}{44\,308}\right)^{0{,}9} \cdot \exp(-0{,}5h) \cdot \frac{dh}{\sin\alpha}. \quad (6)$$

Формула (6) будет искомой формулой для нахождения эффективной поглощающей массы водяных паров на наклонной трассе.

Примем следующие условия для расчета: наклонная трасса длиной 10 км ($L$), высота 9 км ($h$), температура воздуха у земли 10 °C ($t$), влажность воздуха 70% ($f$), угол наклона 8° (α). Подставив данные в формулу, нетрудно подсчитать, что получим эффективную поглощающую массу водяных паров равную 9,8 мм. Используя таблицы из источника [3], вычислим коэффициенты пропускания водяных паров для выбранного диапазона 3–5 мкм (см. таблицу).

По полученным коэффициентам можно выстроить график (рис. 2).

*Таблица*

Спектральные коэффициенты пропускания излучения парами воды

| Длина волны, мкм | Спектральный коэффициент пропускания |
|---|---|
| 3 | 0,065 |
| 3,2 | 0,353 |
| 3,4 | 0,738 |
| 3,6 | 0,947 |
| 3,8 | 0,98 |
| 4 | 0,97 |
| 4,2 | 0,947 |
| 4,4 | 0,804 |
| 4,6 | 0,621 |
| 4,8 | 0,458 |
| 5 | 0,293 |

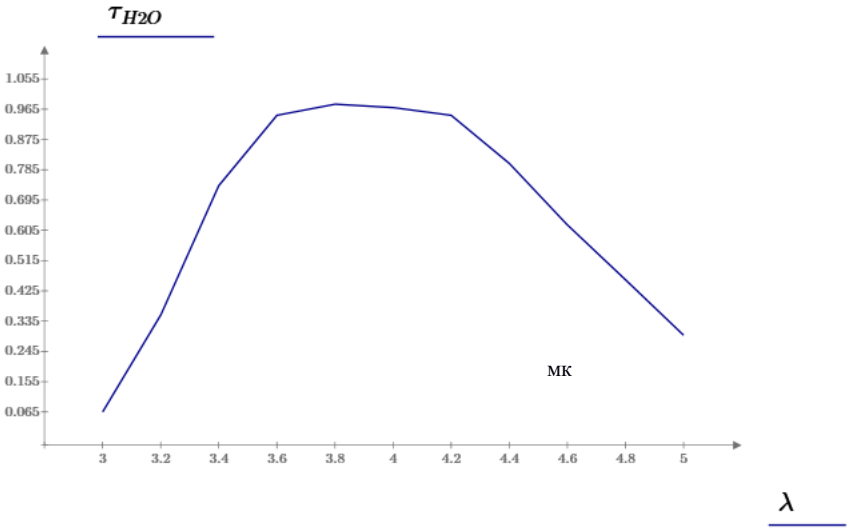



Рис. 2. График спектрального пропускания водяными парами ИК-излучения в диапазоне 3–5 мкм

Сравнивая графики, представленные на рис. 1 и 2, можно сделать вывод, что коэффициенты рассчитаны верно. Рассчитанные по формуле (6) спектральные коэффициенты пропускания водяных паров, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что работа ОЭС в диапазоне 3–5 мкм возможна, особенно если настроить приемник на длины волн 3,5–4,3 мкм.

**Библиографический список**

1. Shripad P. Mahulikar. Infrared Signature Studies of Aerospace Vehicles / P. Mahulikar Shripad, Hemant R. Sonawane, G. Arvind Rao; Progress in Aerospace Sciences. Vol. 43, Issues 7–8, October – November, 2007. Pp. 218–245.

2. Wei Huang. Impact of Background Radiation on the Long Wave Infrared Radiation Characteristics of Aircraft at High Altitude / Wei Huang, Hong-huJi // Defence Science Journal; Vol. 66. № 1. January, 2016. Pp. 51–56.

3. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Советское радио, 1978. 400 с.

4. Романов К. Ю. Программы расчета спектральных функций пропускания атмосферы в диапазоне от 0,3 до 14 мкм для горизонтальных и наклонных трасс / К. Ю. Романов, А. Н. Старченко, В. Г. Филиппов, Н. И. Щербакова // НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем. 2006. 5 с. URL: http://docplayer. ru/34223155-Programmy-rascheta-spectralnyh-funkciy-propuskaniya-atmosfery-v-diapazone-ot-0-3-do-14-mkm-dlya-gorizontalnyh-i-naklonnyh-trass. html.

5. McClachey R. A. Optical Properties of the Atmosphere / R. A. McClachey, R. W. Fenn, J. E. A. Selby, J. S. Garing, F. E. Volz // Air Force Cambridge Res. Lab. Bedford. 1970.

6. Зуев В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Советское радио, 1970. 496 с.

7. Атмосфера: справ. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 508 с.

**УДК 534.61**

***А. А. Цигас***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***В. П. Ларин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЫШЕЧНОЙ ПОДВИЖНОСТИ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ МЫШЦЫ

Проблема биологической подвижности является одной из ключевых проблем современной биофизики. Разнообразные типы подвижности присущи живым объектам на всех уровнях организации: от отдельных клеточных органелл до организмов в целом.

Одна из актуальных задач современной биологии – познание физико-химических основ биологической подвижности, но ее невозможно решить, если не рассмотреть, из чего состоит мышца.

Мышцы состоят из множества волокон, и каждое волокно функционирует отдельно от других. Волокна состоят из миоцитов – структурных единиц мышц. Эти клетки заключены в оболочку – сарколемму, заполненную специальной жидкостью – саркоплазмой. Здесь же находятся миофибриллы – образования, от которых зависит цвет и скорость сокращения мышечного волокна. Чем их больше, тем темнее мышца и тем быстрее она сокращается. Благодаря саркоплазме происходит передача нервных импульсов по волокну.

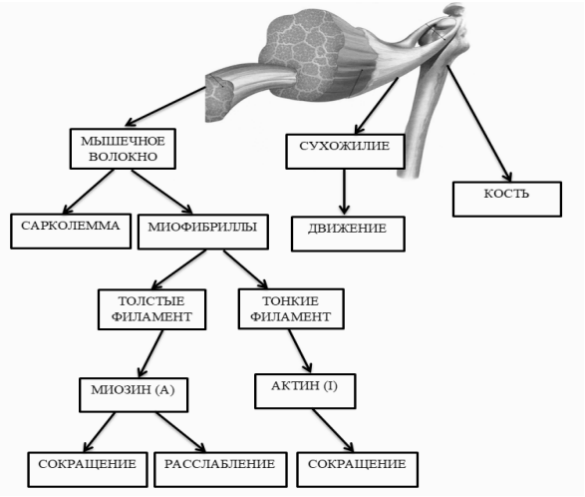



Рис. 1. Структурная схема строения мышцы

Также в состав мышечного волокна входят белковые соединения актин (*I*) и миозин (*A*). Посередине *I*-диска поперечно актиновым микрофиламентам проходит темная полоска – телофрагма (или *Z*-линия), посередине *A*-диска проходит менее выраженная мезофрагма (или *M*-линия).

Актиновые миофиламенты посредине *I*-диска скрепляются белками, составляющими *Z*-линию, а свободными концами частично входят в *A*-диск между толстыми миофиламентами. При этом вокруг одного миозинового филамента располагаются шесть актиновых. При частичном сокращении миофибриллы актиновые филаменты как бы втягиваются в *A*-диск, и в нем образуется светлая зона (или *H*-полоска), ограниченная свободными концами микрофиламентов. Ширина *H*-полоски зависит от степени сокращения миофибриллы.

Участок миофибриллы, расположенный между двумя *Z*-полосками, носит название саркомера и является структурно-функциональной единицей миофибриллы. Саркомер включает в себя *A*-диск и расположенные по сторонам от него две половины *I*-диска. Именно в саркомере осуществляется процесс сокращения.

Структурные элементы саркомера в расслабленном состоянии можно выразить формулой

$$Z+\frac{2}{2I}=\frac{1}{2A}+b+\frac{1}{2A}+\frac{1}{2I}+Z$$

Процесс сокращения осуществляется при взаимодействии актиновых и миозиновых филаментов с образованием между ними актомиозиновых «мостиков», посредством которых происходит втягивание актиновых филаментов в *A*-диск и укорочение саркомера.

Для взаимодействия актиновых и миозиновых филаментов и последующего сокращения кроме ионов кальция необходима также энергия в виде аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), которая вырабатывается в саркосомах, в большом количестве располагающихся между миофибриллами.

Под влиянием ионов кальция стимулируется АТФ-азная активность миозина, что приводит к расщеплению АТФ с образованием АДФ и выделением энергии.

При полном сокращении саркомера актиновые фламенты достигают *M*-полоски саркомера. При этом исчезают *H*-полоска и *I*-диски, а формула саркомера может быть выражена следующим образом:

$$Z+\frac{1}{2IA}+M+\frac{1}{2AI}+Z$$

Одновременное и адекватное сокращение всех саркомеров каждой миофибриллы приводит к сокращению всего мышечного волокна [1].

Моделирование мышечного сокращения является важным компонентом при изучении физиологических особенностей движения человека. Знание информативных параметров механических (упруговязких) свойств мышцы используется в медицине, в изобразительном искусстве при рассмотрении влияния подкожной мускулатуры на форму тела человека. Основная задача новой модели состоит в нахождении зависимости между физическими параметрами мышцы, которая позволила бы сравнивать различные мышцы, имеющие сходное состояние.

На рис. 2 представлена механическая модель мышечной активности, где *a* – мышца в покое, *b* – в статическом режиме работы, *c* – в динамическом режиме работы, *d* – в растянутом состоянии.

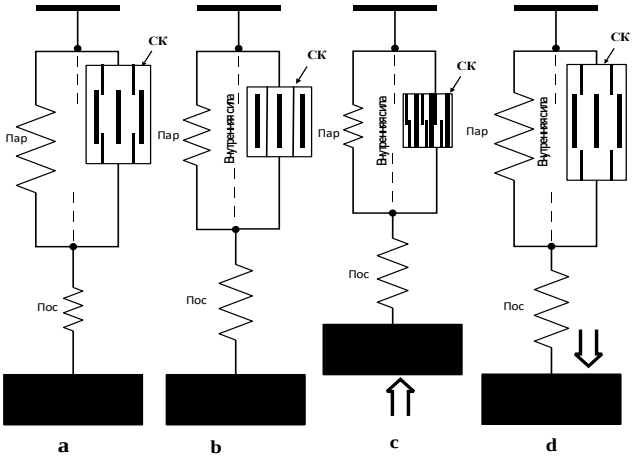



Рис. 2. Механическая модель мышечного сокращения

Модель состоит из сократительного компонента (СК), двух эластичных компонентов: параллельного эластичного компонента (*P*) и последовательного эластичного компонента (*S*).

При этом внутренняя энергия мышцы складывается из энергии сокращения (СС) и энергии предварительного растягивания (*P* + *S*), а внешняя прикладываемая к мышце сила рассматривается как внешнее сопротивление.

Если укорачивается сократительный компонент, то сначала растягивается *S* (рис. 3, *b*). Лишь после того как развиваемая в *S* сила напряжения превысит величину внешней силы, сократится вся мышца. Напряжение *S* во время укорачивания мышцы остается постоянным (рис. 3, *c*). *P* помогает сначала укоротить сократительный компонент, а затем вернуть его к длине покоя. Если мышца растягивается, то внешняя сила настолько сильно удлиняет *S*, что в конце концов за ним приходится следовать и сократительному компоненту (СК) (рис. 3, *d*) [2].

Данные модели помогут разработать аналог мышцы, взяв за основу упругую нейлоновую нить, которая максимально приближена к строению мышечного волокна.

**Библиографический список**

1. Луковкина А. Полный курс за 3 дня. Гистология. URL: https://www. moscowbooks. ru/ebooks/book/8953901.

2. Галямова Е. В. Механико-математическая модель поперечнополосатой мышцы / Е. В. Галямова, А. М. Гуськов, В. В. Сюзев. URL: http://mainframe. bmstu. ru/sport/old/content/human_muscle. pdf.

**УДК 534.232**

***П. А. Чуркин***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***О. В. Шакин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ РЕЗОНАТОРОВ

В связи с общей тенденцией миниатюризации пьезокварцевых резонаторов ужесточаются допуски на обработку поверхности [1]. Обычно используют технологию химического и ионно-плазменного травления. У каждого метода есть преимущества и недостатки. Цель использования этих технологий – уменьшение нарушенного непьезоактивного слоя, влияющего на параметры кварцевых резонаторов. Нашей задачей было оценить преимущество обработки пластин с помощью магнитореологической жидкости (МРЖ) для формообразования кварцевого резонатора [2].

Один из важнейших параметров кварцевых резонаторов – добротность. Она определяет стабилизирующие свойства генераторной схемы.

Добротность определяется как отношение реактивной энергии в колебательном контуре к энергии активных потерь за период колебаний [3]. Она показывает, во сколько раз напряжение, полученное на реактивных элементах контура при резонансе, больше электродвижущей силы ЭДС, приложенной к контуру:

$$Q_K = \frac{\sqrt{L_K / C_K}}{R_K}, \quad (1)$$

где $L_K$ – эквивалентная реактивная индуктивность; $C_K$ – емкость; $R_K$ – сопротивление.

Плохое качество поверхности пьезоэлементов и ее шероховатость увеличивают $R_K$.

Трение в поверхностном слое пьезоэлемента, нарушенном процессами механической обработки, является источником интенсивных потерь. Потери этого рода значительно больше потерь на внутреннее трение (в кристалле, в электродном и контактном покрытиях). Для их уменьшения повышают чистоту обработки поверхности пьезоэлектрического пьезоэлемента, подвергая ее тонкой шлифовке, полировке и травлению [4].

Потери энергии на трение в поверхностном слое кристалла вызваны нарушением структуры поверхностного слоя кварцевой пластины при ее механической обработке и определяются качеством обработки ее поверхностного слоя. Чем качественнее обработана поверхность пластины, тем меньше ее площадь и меньше потери энергии. Следовательно, добротность кварцевого резонатора можно увеличить, уменьшив потери энергии в резонаторе, то есть уменьшив толщину нарушенного слоя и шероховатость.

Под шероховатостью понимается совокупность неровностей, выделенных с помощью кадра на микроскопах. Параметры шероховатости для металлов определяются по ГОСТ 2789–73, который выделяет шесть показателей: среднее арифметическое отклонение профиля $R_a$ (мкм); высоту неровностей профиля $R_z$ (мкм), наибольшую высоту профиля $R_{max}$ (мкм), средний шаг профиля (мм), средний шаг местных выступов профиля (мм) и относительную опорную длину профиля (%).

В настоящей работе измерение среднеарифметической шероховатости проводилось с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) *NanoEducator* LE. Отличительной особенностью микроскопа данного типа является визуализация исследуемой поверхности с высокой точностью и хорошим качеством и обработка полученных результатов, которая позволяет получить целый ряд характеристик шероховатости и провести их статистический анализ. Данный тип микроскопа позволяет исследовать поверхностные слои любых твердых тел в диапазоне от $10^{-9}$ до $10^{-5}$ м [5].

Результаты зондирования поверхности кварцевой пластины, обработанной механической шлифовальной машиной, показаны на рис. 1 и 2.

Магнитореологический (МР) метод обработки поверхностей оптических деталей применяется в основном при финишных операциях формообразования для достижения оптимальных параметров поверхности по отклонениям формы поверхности и по шероховатости [6].

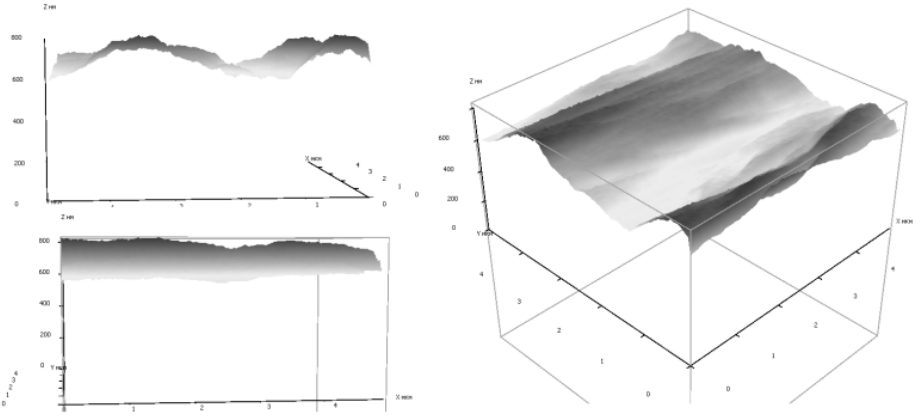


Рис. 1. 3D-визуализация АСМ-изображения участка кварцевой пластинки 5 × 5 мкм

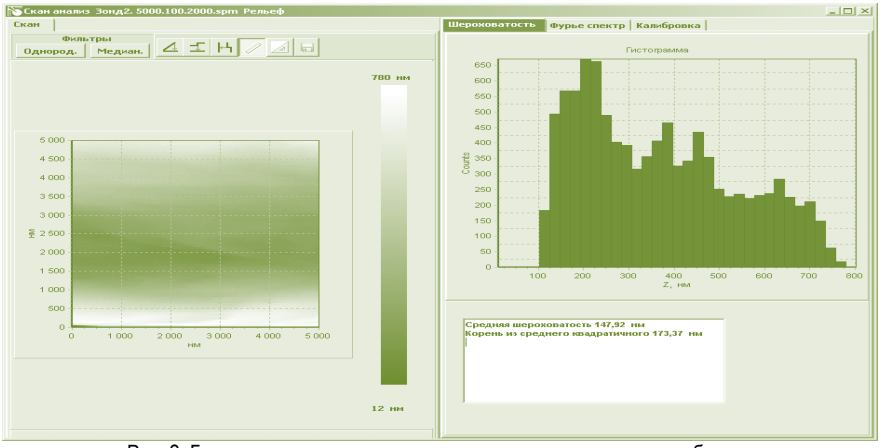



Рис. 2. Гистограмма шероховатости поверхности исследуемого образца

Обработка производится с помощью МРЖ – суспензии, содержащей частицы железа микрометровых размеров, абразив и воду с необходимыми добавками (ингибиторами коррозии, стабилизаторами и диспергаторами). На пути движения МРЖ в зоне контакта с обрабатываемой поверхностью создается магнитное поле, в котором МРЖ изменяет свою вязкость и обрабатывает поверхность. На выходе из магнитного поля МРЖ возвращается в разжиженное состояние и направляется для повторения цикла обработки в систему подготовки и подачи суспензии.

Преимуществом МР-технологии является использование МР-полирующего инструмента с заданными физико-химическими свойствами путем воздействия магнитного поля на абразивную жидкость. Благодаря физическим свойствам структуроуправляемой намагничивающейся среды, таким как пластичность, упругость, вязкоупругость, которые проявляются при воздействии магнитного поля, сформировавшийся полировальный инструмент обладает качествами, позволяющими обрабатывать поверхность любой формы (плоскую, сферическую, асферическую). Такой метод обработки, не нарушая чистоту полированной поверхности, позволяет сравнительно быстро достигать шероховатости поверхности до 3–5 Å.

Были получены результаты МР-обработки с помощью 3D-профилометра *Micro* XAM-800 аналогичного образца кварцевой пластины 17,5 × 17,5 мм (площадь ~ 3 см$^2$) и толщиной 275 мкм, в результате чего была получена среднеквадратичная шероховатость ($R_q$, RMS), равная 0,38 нм; среднеарифметическая шероховатость $R_a$ – 0,266 нм; толщина снятого материала ориентировочно 14 мкм. Время обработки составило 7 часов [7].

С помощью АСМ была исследована поверхность кварцевой пластинки, обработанной традиционным способом, среднеквадратичная шероховатость которой оказалась более чем в 350 раз больше среднеквадратичной шероховатости кварцевой пластинки, обработанной МРЖ. МР-технология позволяет создавать оптические элементы с повышенной добротностью и повышенной лучевой стойкостью, а также лазерные устройства, работающие на высоких гармониках резонаторов.

Полученная кварцевая пластина может играть роль в создании высокодобротного кварцевого резонатора, что открывает широкие возможности для авионики и электронной промышленности.

**Библиографический список**

1. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. М.: Энергоатомиздат, 1989. 10 с.

2. Глеб Л. К. Применение магнитореологических методов обработки оптических деталей на серии автоматизированных полировально-доводочных станков / Л. К. Глеб, Г. Р. Городкин, В. А. Горшков, Ф. П. Хлебников, Е. В. Семенов // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 4. 33 с.

3. Глюкман Л. И. Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы/ Л. И. Глюкман. М.: Радио и связь, 1981. С. 44–53.

4. Белов А. А. Кварцевые резонаторы: описание задачи спецпрактикума / А. А. Белов, А. В. Степанов. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. С. 5–7.

5. Нелюб В. А. Оценка шероховатости поверхностей углеродных волокон с помощью атомно-силового микроскопа / В. А. Нелюб, И. А. Александров // Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам. Вып. 4. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 2 с.

6. Шульман З. П. Магнитореологический эффект / З. П. Шульман, В. И. Кордонский. Минск: Наука и техника, 1982. 184 с.

7. Худолей А. Высокоточная обработка поверхностей материалов магнитореологическими жидкостями / А. Худолей, Г. Городкин, Л. Глеб, А. Александронец // Наука и инновации. 2015. Т. 148. № 6. С. 20–22.

**УДК 621.396.99**

***А. А. Чугунов, А. Д. Петров***
студенты кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов
***А. Р. Жежерин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА FSK-СИГНАЛОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ МЕТОК НА ПАВ

*RFID* (*Radio Frequency Identification*) – технология бесконтактной идентификации объектов при помощи меток с нанесенной на них информацией. Объект изучения данной статьи – пассивные *RFID*-транспондеры (метки) на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Одно из главных преимуществ таких меток – радиационная стойкость и энергонезависимость.

Метка на ПАВ содержит встречно-штыревой преобразователь, нанесенный на пьезоэлектрическую подложку в виде металлических штырей-электродов; отражающую структуру (ОС) в виде канавок, расположенных по обе стороны от встречно-штыревого преобразователя (ВШП), и полосковую антенну, совмещенную с устройством на ПАВ. Встречно-штыревой преобразователь трансформирует принятую антенной энергию в ПАВ, которая распространяется в кристалле к элементам ОС.

Отражающая структура состоит из отдельных секций отражателей (рефлекторов). Часть энергии поверхностной волны отражается от рефлекторов и движется обратно по кристаллу в направлении ВШП. При облучении метки коротким радиоимпульсом, длительностью несколько периодов несущей частоты, формируется радиосигнал, состоящий из элементарных радиоимпульсов (символов) с разной частотой заполнения. Таким образом, импульсная характеристика (ИХ) метки представляет собой FSK-радиосигнал (*Frequency-Shift Keying Signal*), содержащий определенное число символов и частот заполнения этих символов.

Следует отметить, что время задержки между отдельными импульсами пропорционально расстоянию между секциями на подложке. Пространственный шаг между рефлекторами в секциях определяет частоту импульсов в формируемой последовательности. Длительность ИХ определяется числом элементарных радиоимпульсов (символов) в последовательности. Расстановка частот в символах определяет код сигнала (ИХ). Расположение секций из рефлекторов и формируемый тем самым код определяется при изготовлении устройства.

При облучении метки FSK-сигналом опроса (инверсным по отношению к ИХ метки) генерируется отклик, представляющий собой свертку опросного сигнала с ИХ метки. Этот отклик будет представлять собой автокорреляционная функция (АКФ) опросного сигнала, если код метки совпадает с кодом опросного сигнала, но является инверсным ему. Если код метки отличается от кода опросного сигнала, то отклик будет иметь вид взаимнокорреляционной функции (ВКФ).

Таким образом, код транспондера определяет параметры формируемого FSK-сигнала, состоящего из $M$ символов. Частота каждого символа определятся пространственным расположением канавок в секции рефлектора.

Для уменьшения размеров подложки и обеспечения широкополосного FSK выбрана рабочая частота $f_0$ = 900 МГц. На такой частоте проявляется сильное затухание поверхностной акустической волны при ее распространении по пьезокристаллу. Исходя из этого, ограничим длительность FSK-сигнала 4 мкс.

Активная ширина спектра формируемых FSK-сигналов (по условию рассматриваемой задачи) ограничена полосой $\Delta F$.

Частоты символов отстоят от $f_0$ на разное количество частотных скачков, кратных $\Delta f$. Общее число возможных частот, которые могут быть присвоены символам, обозначим числом $K = \Delta F / \Delta f$. Будем считать, что частоты символов в FSK-сигнале могут принимать случайные значения $f_k = k \cdot \Delta F$, где $k$ – случайное число из промежутка 0…$K$. Значения $f_k$ равновероятно распределены в диапазоне $\Delta F$. Как известно из комбинаторики, число возможных кодовых комбинаций в этом случае (при $K > M$) будет равно $Q = K^M$.

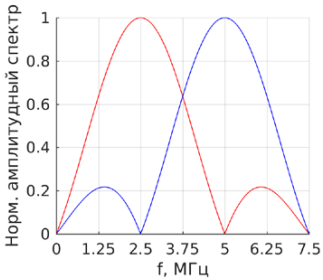



Рис. 1. Амплитудные спектры двух символов FSK-сигнала с прямоугольной огибающей (при условии $\Delta f = 1/t_c$)

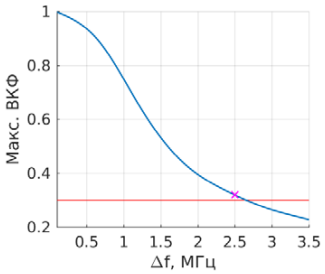



Рис. 2. Зависимость уровня максимума ВКФ двух символов от скачка по частоте $\Delta f$. Красная линия отмечает заданный порог 0,31, перекрестием отмечен максимальный уровень ВКФ при $\Delta f = 1/t_c$

Будем считать, что амплитуда FSK-сигнала постоянна. Это означает, что уровень максимума АКФ FSK-сигнала остается неизменным независимо от того, из символов с какими частотами составлен сигнал. Критерием непохожести (некоррелированности) двух сигналов во множестве $Q$ будем считать минимальный уровень их нормированной ВКФ (а именно такие сигналы будут образовывать максимально непохожие между собой коды).

Поставленной задачей является формирование семейства FSK-сигналов с заданным уровнем взаимной корреляции. Это семейство будем называть кодовым семейством, т. е. сигналами, удовлетворяющими критерию непохожести между сигналами с уровнем ВКФ ниже $A$, где $A$ – заранее определенный уровень.

Так как увеличение $M$ для меток на ПАВ нежелательно, то для получения большого кодового семейства остается искать способы увеличить $K$. Однако в этом случае необходимо не выходить за рамки заданной полосы частот $\Delta F$. Поскольку $K$ определяется отношением заданной полосы частот к скачку по частоте $\Delta F / \Delta f$, увеличения $K$ можно добиться уменьшением $\Delta f$.

Для оценки такой возможности рассмотрим пару отличающихся по частоте $\Delta f$ символов в FSK-сигнале. Символы представляют собой радиоимпульсы с прямоугольной огибающей. Амплитудные спектры двух символов показаны на рис. 1.

Как известно из [1], два таких символа ортогональны при условии $\Delta f = 1/t_c$, где $t_c$ – длительность символа, а начальная фаза является случайной. Из рис. 1. видно, что спектры символов имеют определенную площадь пересечения, которая определяет величину взаимной корреляции символов.

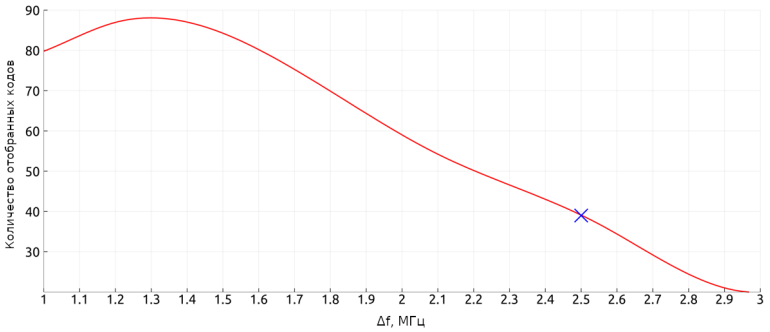



Рис. 3. Зависимость числа отобранных кодов $N$ от частотного скачка $\Delta f$ для сигналов с прямоугольной огибающей. Перекрестием отмечено количество кодов для $\Delta f = 1/t_c$

При корреляционной оценке, т. е. расчете ВКФ(т) от непрерывного аргумента, схожесть символов определяется уровнем их нормированной ВКФ(т), который в рассматриваемом случае ( $\Delta f = 1/t_c$ ) равен 0,31.

Как видно из рис. 2, с уменьшением $\Delta f$ площадь пересечения спектров и, следовательно, максимальный уровень ВКФ символов будут возрастать.

Известно, что уменьшение $\Delta f$ приводит к росту числа частотных скачков *K* и увеличению семейства отобранных сигналов. Однако при этом возрастает уровень ВКФ между символами и, возможно, между сигналами, составленными из этих символов.

Для проверки влияния величины *K* на корреляцию между кодами рассмотрим FSK-сигналы, которые являются носителями этих кодов. Чтобы выяснить, какой из двух факторов – увеличение числа доступных частотных скачков *K* или увеличение уровня ВКФ(т) символов – будет сильнее влиять на семейство отобранных кодов *N* (хорошие коды, удовлетворяющие критерию *A*), рассмотрим конкретный случай: *K* = 10, *M* = 8, длительность символа $t_c = 0{,}4$ мкс, $\Delta f = 2{,}5$ МГц, $\Delta F = 25$ МГц.

При таких параметрах множество возможных комбинаций частот $Q = 10^8$. При этом расчет ВКФ между сигналами (кодами) потребует крайне больших временных ресурсов (т.к. из множества *Q* нужно отобрать семейство сигналов-кодов с уровнем нормированной ВКФ < *A*). Для проведения такого отбора был разработан алгоритм на ЭВМ [3].

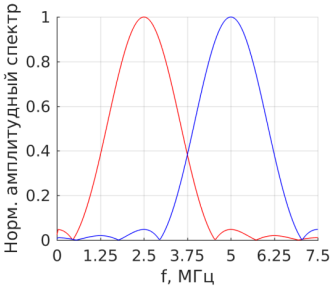



Рис. 4. Спектры двух символов FSK-сигнала с огибающей *sinc*

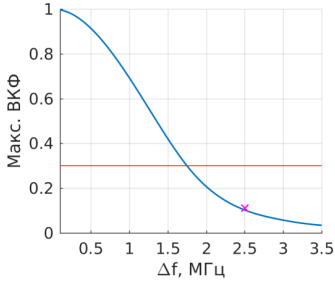



Рис. 5. Зависимость максимального уровня ВКФ двух символов с огибающей *sinc* от частотного скачка $\Delta f$. Красная линия – уровень ВКФ для двух символов с прямоугольной огибающей, перекрестием отмечен уровень ВКФ при $\Delta f = 1/t_c$

Для реализации отбора в расчетах ограничимся множеством $L = 5 \cdot 10^4 < Q$. Оценка результатов по такой ограниченной выборке интерполировалась на все множество *Q*. Возможность была проверена на ряде практических расчетов. На рис. 3 продемонстрированы результаты. Видно, что семейство отобранных кодов *N* увеличивается с уменьшением $\Delta f$ до 1,3–1,4 МГц (соответственно увеличивается *K*). Семейство не превышает 90 кодов. Для сравнения был выполнен расчет числа «хороших кодов» при выборе $\Delta f = 1/t_c$ [1] (на рис. 3 показан крестиком). Поэтому для увеличения числа отобранных FSK-сигналов (кодов) с уровнем ВКФ между сигналами семейства < 0,3 можно уменьшать скачок по частоте между символами до величины меньшей, чем получено по соотношению из [1].

Рассмотрим FSK-сигналы, чьи спектры символов являются прямоугольниками и не пересекаются (символы ортогональны). Прямоугольные спектры нереализуемы, такие символы представляли бы собой радиоимпульсы с огибающей *sinx/x (sinc)* бесконечной длительности.

Основная часть энергии такого сигнала содержится в главном лепестке, поэтому ограничим длительность символа длительностью главного лепестка его огибающей. Спектры таких символов потеряют прямоугольную форму. На рис. 4 изображены спектры символов с $\Delta f = 2{,}5$ МГц.

По сравнению с рис. 1 площадь пересечения спектров символов с огибающей *sinc* снизилась, при этом длительность символа увеличилась в два раза. Рассмотрим ВКФ двух символов с огибающей *sinc*.

На рис. 5 приведена зависимость ВКФ таких символов от скачка по частоте $\Delta f$ . На рисунке видно, что уровень ВКФ 0,31 достигается при меньшем скачке $\Delta f$ .

Представляет интерес вопрос, насколько мы можем уменьшить $\Delta f$ в этом случае для достижения уровня ВКФ между символами, равного 0,31, как в случае с символами с прямоугольным огибающими. Теперь скачок по частоте $\Delta f$ снизился до значения 1,65 МГц. Таким образом, меньшее значение $\Delta f$ при той же активной ширине спектра позволяет увеличить число *K*.

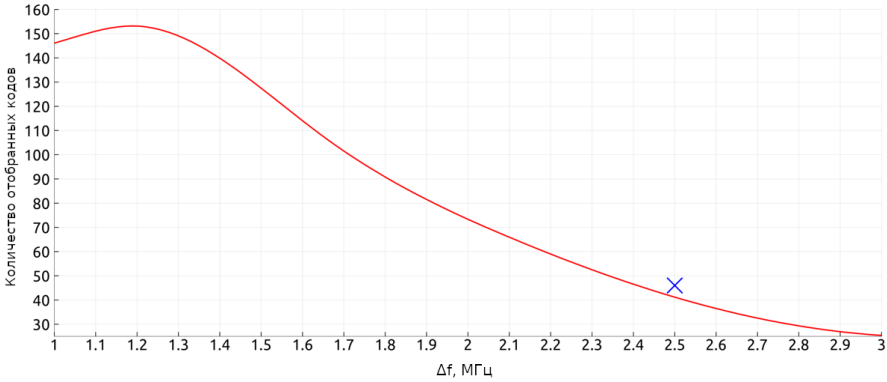



Рис. 6. Зависимость числа отобранных кодов от скачка по частоте $\Delta f$.
Перекрестием отмечено количество кодов при $\Delta f = 1/t_c$

Рассмотрим влияние величины *K* на количество отобранных кодов для FSK-сигнала с огибающей символа *sinc*. На рис. 6 показаны результаты расчета семейства кодов для различных $\Delta f$ и *K*. Виден максимум при $\Delta f < 1{,}3$ МГц. Мы можем найти новое число *K1*, исходя из нового значения $\Delta f$ , где наблюдается максимум отобранных кодов. Число *K*1, определяемое отношением $\Delta F / \Delta f$ , в этом случае будет равно 19. В этом случае число отобранных кодов возросло до 160.

Можно сделать вывод, что при сравнении результатов расчета для FSK-сигналов с прямоугольной и *sinc* огибающими символов наблюдается увеличение семейства кодов для символов с *sinc* огибающими. Это позволит использовать большее количество меток при заданной величине активной ширины спектра.

**Библиографический список**

1. Скляр Б. Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение / Бернард Скляр; [пер. с англ. Е. Г. Грозы и др.]. 2-е изд., испр. М. [и др.]: Вильямс, 2007. 1099 с.

2. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов: принципы и приложения / В. Ипатов; пер. с англ. под ред. Автора. М.: Техносфера, 2007.

3. Ivanov I. Code Sequences Development for Saw Tags in the Systems of Authentication / Modern Information Society Formation: Problems, Perspectives, Innovation Approaches, XVI International forum 1–5 June 2015. Saint-Petersburg: SUAI 2015.

**УДК 537.86**

***Н. А. Швыров***
магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств
***А. Н. Михайлов***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ СВЯЗИ

Теория передачи сигнала по кабелю была развита У. Томсоном (Кельвином) еще в 1855 г. Но Кельвин рассматривал кабель как систему, обладающую двумя параметрами – значениями емкости и сопротивления на единицу длины кабеля. Теперь же для передачи сигнала нужно учитывать множество факторов, влияющих на линию. Так, например, канал связи искажает передаваемые сигналы, из-за того что его физические параметры отличаются от идеальных параметров. Внешние помехи и внутренние параметры линии связи вносят искажения в формы сигнала на выходе линии. Степень искажения синусоидальных сигналов линии связи оценивается с помощью амплитудно-частотной характеристики, полосы пропускания и затухания на определенной частоте.

## Затухание и волновое сопротивление

Затухание показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии связи по отношению к мощности сигнала на входе этой линии. Затухание $A$ обычно измеряется в децибелах (дБ) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10\lg\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}},$$

где $P_{\text{вых}}$ – мощность сигнала на выходе линии, а $P_{\text{вх}}$ – мощность сигнала на ее входе.

При отсутствии промежуточных усилителей мощность выходного сигнала кабеля всегда меньше мощности входного, поэтому затухание кабеля, как правило, имеет отрицательную величину [1].

Степень затухания мощности синусоидального сигнала при его прохождении по линии связи обычно зависит от частоты синусоиды, поэтому полную характеристику дает лишь зависимость затухания от частоты во всем диапазоне, используемом на практике.

## Помехоустойчивость

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех со стороны внешней среды или проводников самого кабеля. Она зависит от типа используемой физической среды, от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной – волоконно-оптические, малочувствительные к внешнему электромагнитному излучению. Обычно уменьшения помех от внешних электромагнитных полей добиваются экранированием и/или скручиванием проводников. Величины, характеризующие помехоустойчивость, относятся к параметрам влияния линии связи.

Первичные параметры влияния медного кабеля – электрическая и магнитная связи. Электрическая связь определяется отношением наведенного тока в цепи, подверженной влиянию, к напряжению, действующему во влияющей цепи. Магнитная связь – это отношение электродвижущей силы, наведенной в цепи, подверженной влиянию, к току во влияющей цепи. Результатом электрической и магнитной связи будут наведенные сигналы (наводки) в цепи, подверженной влиянию. Устойчивость кабеля к наводкам характеризуется несколькими различными параметрами.

Переходное затухание на ближнем конце определяет устойчивость кабеля в том случае, когда наводка образуется в результате действия сигнала, генерируемого передатчиком, подключенным к одной из соседних пар на том же конце кабеля, на котором работает подключенный к подверженной влиянию паре приемник [2].

Переходное затухание на дальнем конце описывает устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля.

**Полоса пропускания**

Полоса пропускания – еще одна вторичная характеристика. С одной стороны, она непосредственно зависит от затухания, а с другой – прямо влияет на такой важнейший показатель линии связи, как максимально возможная скорость передачи информации.

Полоса пропускания – это непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает заранее заданный определенный предел. Иными словами, полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений (часто за граничные принимаются частоты, где мощность выходного сигнала уменьшается в два раза по отношению к входному, что соответствует затуханию в –3 дБ). Как мы увидим далее, ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи [2].

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание являются универсальными характеристиками, и их знание позволяет сделать вывод о том, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

**Пропускная способность**

Пропускная способность (количество бит информации, передаваемых в единицу времени) зависит как от характеристик физической среды, так и от способа передачи данных.

Если значимые гармоники сигнала (т. е. гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) не выходят за полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком. Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал станет значительно искажаться, приемник – ошибаться при распознавании информации, а сама информация в конечном итоге не сможет передаваться с заданной пропускной способностью [3].

**Способ кодирования информации**

Выбор способа представления дискретной информации в виде подаваемых на линию связи сигналов называется физическим, или линейным, кодированием.

От выбранного способа кодирования зависят спектр сигналов и пропускная способность линии. Итак, разным способам кодирования может соответствовать разная пропускная способность. Согласно теории информации, информацию несет лишь различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала. Таким образом, прием синусоиды, у которой амплитуда, фаза и частота остаются неизменными, информации не несет, так как изменение сигнала хоть и происходит, но легко предсказуемо. Аналогично импульсы на тактовой шине компьютера не несут в себе информации, так как их изменения постоянны во времени. А вот импульсы на шине данных предсказать заранее нельзя, поэтому они переносят информацию между отдельными блоками или устройствами компьютера.

Большинство способов кодирования использует изменение какого-либо параметра периодического сигнала – частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют несущим сигналом (или несущей частотой, если в качестве такого сигнала применяется синусоида).

Если сигнал изменяется так, что различаются только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации – биту. Если же сигнал может иметь более двух различимых состояний, то любое его изменение содержит несколько бит информации [4].

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в бодах. Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Когда у сигнала более двух различимых состояний, пропускная способность в битах в секунду окажется выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды (причем различаются четыре состояния фазы – в 00, 900, 1800 и 2700 – и два значения амплитуды сигнала), то информационный сигнал может иметь восемь различимых состояний.

В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц), передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается три бита информации [5].

При использовании сигналов с двумя различимыми состояниями возможна обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется с помощью нескольких изменений информационного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита – импульсом отрицательной полярности физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и логическое кодирование. Выполняемое до физического кодирования, оно подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, в частности возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности – очень часто применяемый способ логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общедоступные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается [5].

В данной работе были рассмотрены характеристики линий связи. Для достоверной передачи сигнала необходимо учитывать причины и свойства помех, энергию сигнала, характеризующуюся затуханием и полосой пропускания, а также собственные параметры линии.

**Библиографический список**

1. Вильгельм К. О. Характеристики линий связи. М.: Техносфера, 2005.
2. Виснадул Б. Д. Линии связи. М.: Инфра-М, 2007.
3. Кузин А. В. Сети и телекоммуникации / А. В. Кузин, А. Н. Волков. М.: Академия, 2007.
4. Бойко В. Сети и телекоммуникации. СПб.: Питер, 2003.
5. Пятибратов А. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко. М.: ЕАОИ, 2005.

**УДК 612.179:615.471.03**

***Э. Г. Арзуманян, Е. П. Логачев***
магистранты кафедры медицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРИБОР ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА И ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОСИГНАЛА

Электрокардиосигнал (ЭКС) и электроэнцефалосигнал (ЭЭС), как все биоэлектрические сигналы, – квазипериодические сигналы с различной частотой (1):

$$u = u_{\max} e^{-i\sum_{i}^{n} k_i \omega_i t} \quad (1)$$

Для того чтобы исследовать взаимное влияние электрической активности мозга и сердца, нужно отображать ЭКС и ЭЭС в один и тот же момент времени. Поэтому актуальной стала задача синхронизации ЭКС с ЭЭС. Это позволит регистрировать видеоизображение пациента синхронно с изменениями электроэнцефалограммы и электрокардиограммы.

Одновременная видеозапись действий пациента с синхронизацией электроэнцефалограммы с электрокардиограммой дает возможность с высокой степенью достоверности трактовать те или иные патологические состояния пациента, а также повышает вероятность регистрации патологических форм электрической активности головного мозга и сердца, резко увеличивающейся при засыпании и во сне. Более того, при некоторых патологиях для биоэлектрической активности мозга и сердца характерно максимальное представление биоэлектрического сигнала только в определенных стадиях сна.

Максимальная частота сердечных сокращений, а следовательно, и появление R-зубцов в ЭКС рассчитывается по формуле

$$\nu_{cc\,max} = \left(220 - \text{возраст}\left(\text{в годах}\right)\right)/60 \quad (2)$$

В таблице представлены частоты ритмов ЭЭГ, что дает нам понимание о частотах ЭЭС.

*Таблица*

Ритмы ЭЭГ

| Ритмы | Частота, Гц | Амплитуда, мкВ |
|---|---|---|
| α | $8 \div 13$ | $5 \div 100$ |
| β | $14 \div 40$ | $3 \div 7\left(20\right)$ |
| γ | $30 \div 170\left(500\right)$ | $< 10; \sim \nu^{-1}$ |
| δ | $1 \div 4$ | $20 \div 30$ |
| θ | $4 \div 8$ | $10\left(25\right) \div 400\left(35\right)$ |
| κ | $8 \div 12$ | $20 \div 30$ |
| λ | $4 \div 5$ | – |

| Ритмы | Частота, Гц | Амплитуда, мкВ |
|---|---|---|
| μ | $8(9) \div 13(11)$ | – |
| σ | $10(12) \div 16(14)$ | $> 50$ |
| τ | ~10 | – |

Синхронизация сигналов происходит по времени, а не по фазе (формула 3) с целью увидеть, что происходит в электрокардиосигнале и электроэнцефалосигнале в одно и то же время.

$$\varphi = \sum_{i}^{n} k_i \omega_i t \qquad (3)$$

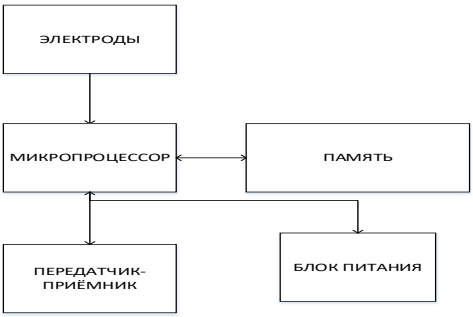



Рис. 1. Блок снятия биопотенциалов сердца

Была разработана структурная схема (рис. 2) прибора с синхронизацией электроэнцефалосигнала и электрокардиосигнала, включающая блок снятия биопотенциалов сердца (электроды, микропроцессор, память, передатчик-приемник, блок питания) (рис. 1), блок видео-ЭЭГ (блок электродов с усилителем, сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (32 бита), микропроцессор, видеорегистратор, блок питания, передатчик-приемник) и центральный блок (приемник-передатчик, микропроцессор, блок индикации и управления, память, блок питания, передатчик).

Видеорегистратор программно записывает движение мышц головы, глаз с целью исключить биоэлектрические сигналы (БЭС), происходящие при них. Это позволяет повысить точность съема ЭЭС. Для оцифровки электроэнцефалосигнала и электрокардиосигнала используем сигма-дельта АЦП (32 бита), поскольку он наименее искажает в сигнал. Все элементы разработанной структурной схемы рассчитаны на работу в режиме сверхвысокого разрешения, что позволяет выявлять и сравнивать не обнаруживаемые ранее признаки патологий.

В обычных блоках электроды, используемые для регистрации биоэлектрических сигналов (ЭКС и ЭЭС), аналоговые, что снижает качество (отношение сигнал/шум, разрешение) биоэлектрического сигнала, увеличивает массу и габариты биомедицинского прибора, делает затруднительным использование электродов в мониторировании и телемедицине.

Поэтому появилась задача создания цифрового электрода для данного прибора.

Цифровой электрод позволяет снять биоэлектрический сигнал сверхвысокого разрешения, увеличивает отношение сигнал/шум и позволяет его использовать в мониторировании и цифровой медицине, частью которой является телемедицина.

Цифровой электрод позволяет более точно производить анализ биоэлектрического сигнала и его обработку, а также передавать его в сверхвысоком разрешении в медицинские учреждения, что улучшает диагностику заболеваний и патологий и позволяет формировать предварительные заключения экспертной медицинской системой.

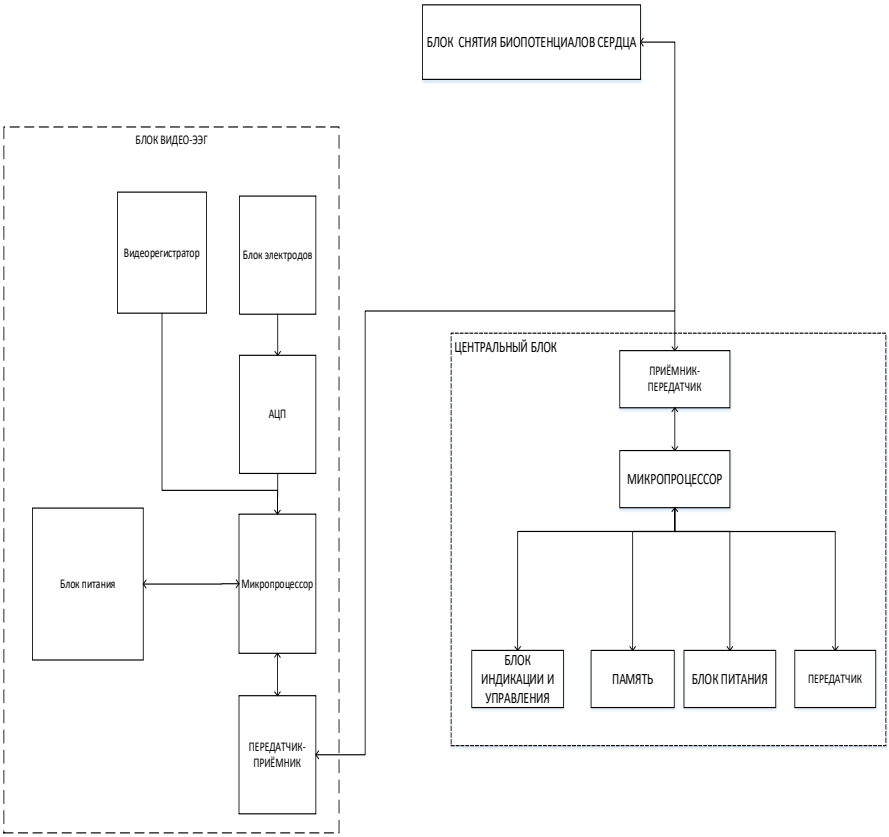



Рис. 2. Структурная схема прибора

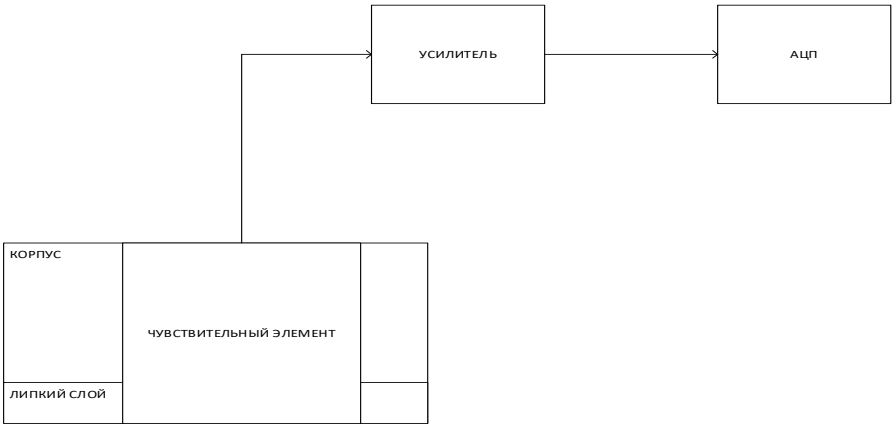



Рис. 3. Структурная схема цифрового электрода

Цифровые электроды позволяют проектировать биомедицинскую аппаратуру без блока сопряжения, что удешевляет аппаратуру и улучшает ее массогабаритные характеристики. Благодаря этому данный электрод можно применять для удаленного мониторинга состояния пациента и в телемедицине.

Была разработана структурная схема (рис. 3) цифрового электрода, состоящего из самого электрода, усилителя, сигма-дельта АЦП (32 бита).

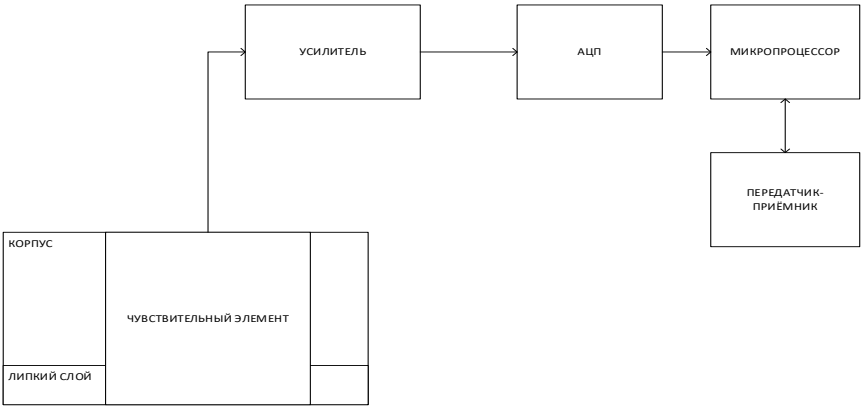



Рис. 4. Структурная схема беспроводного цифрового электрода

Внедрение беспроводных цифровых технологий позволяет уменьшить массу и габариты биомедицинских устройств. В результате внедрения цифровых беспроводных технологий в цифровой электрод была разработана структурная схема (рис. 4) цифрового электрода-монитрода электрокардиограммы, состоящего из самого электрода, усилителя, сигма-дельта АЦП (32 бит), микропроцессора, передатчика-приемника.

**Библиографический список**

1. Кореневский Н. А. Узлы и элементы медицинской техники / Е. П. Попечителев, Н. А. Кореневский. Курск, 2009. 426 с.

2. Кореневский Н. А. Биотехничекие системы медицинского назначения / Н. А. Кореневский, Е. П. Попечителев. Старый Оскол, 2014. 688 с.

3. Орлов Ю. Н. Электроды для измерения биоэлектрических потенциалов / Ю. Н. Орлов. М.: Изд-во МТГУ им. Баумана, 2006. 244 с.

4. Попечителев Е. П. Электрофизиологическая и фотометрическая медицинская техника / Е. П. Попечителев, Н. А. Кореневский. М.: Высш. шк., 2002. 466 с.

**УДК 612.179**

***А. М. Голубкова, Е. А. Наумова***
магистранты кафедры медицинской радиоэлектроники
***К. В. Зайченко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЛИНГВИСТИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИЗНАКОВ МГНОВЕННОГО СПЕКТРА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (ЭКГ СВР)

Сегодня достигнут определенный предел диагностических возможностей метода стандартной электрокардиографии (ЭКГ) по выявлению скрытых изменений в миокарде. Статистика Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) гласит, что ведущей причиной смерти в мире являются заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС): в 2012 г. в общей сложности от них скончалось 17,5 млн человек, что составляет практически треть (31%) от всех случаев смерти за тот год и почти половину (46%) от смертей от неинфекционных заболеваний. Прогнозы ВОЗ также неутешительны: согласно им, к 2030 году заболевания сердца могут унести 23,6 млн человек.

В настоящее время к клинически используемым методам диагностики работы сердца наряду со стандартной ЭКГ относятся также ЭКГ КМ, ЭКГ ВР и ЭКГ ВЧ. Однако в связи с острой потребностью ранней диагностики заболеваний ССС сегодня стоит задача найти новые методы, поскольку вышеперечисленные подходы, а также практика их использования обнаружили ряд существенных недостатков. Один из наиболее значимых заключается в том, что данные методы не позволяют обрабатывать участки кардиоцикла без выпадения зубцов на высоких частотах, что является ограничением для точного анализа тонкой структуры электрокардиосигнала (ЭКС).

В результате появился новый метод диагностики – электрокардиография сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР), созданный с учетом обозначенных ранее нюансов, касающихся качественной обработки ЭКС. Данный метод обладает более широкими диагностическими возможностями по сравнению с обычной ЭКГ [1]. В настоящей статье будет представлена идея использования обучаемых нейронных сетей и вычислительной лингвистики для выделения и обработки мгновенного спектра ЭКГ СВР.

Существуют теории, согласно которым активность сердца отражает адаптацию организма к меняющимся условиям окружающей среды, и, соответственно, диагностируя сердце, можно также оценить состояние других функциональных систем организма с помощью математического аппарата. К таковым, в частности, относится теория информационной функции В. М. Успенского. В ней считается, во-первых, что сердце осуществляет информационную функцию, постоянно и независимо от состояния человека генерируя во внутреннюю среду организма сигналы с семантикой здоровья и заболеваний, и во-вторых, что амплитуды и интервалы радиоимпульсов подвергаются амплитудной и частотно-фазовой модуляции под воздействием сложного комплекса взаимосвязанных процессов в организме (динамика радиоимпульсов носит иррегулярный характер, за которым скрываются паттерны различных процессов, в том числе патологических).

С этой точки зрения применение метода ЭКГ СВР более выгодно в сравнении с другими подходами, так как появляется вероятность диагностировать не только сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ).

Говоря об ЭКГ СВР, не стоит забывать, что в ней наблюдаются низкочастотные составляющие и из-за вариабельности сердечного ритма их трудно различить на фоне низкочастотной ЭКГ. Данная проблема может быть решена путем обращения к спектральному анализу ЭКГ СВР. Как известно, такой вид анализа представляет собой довольно тонкий инструмент исследований. Неслучайно существует спектроскопия высокого и даже сверхвысокого разрешения. Сегодня в совокупности с другими диагностическими признаками спектральные показатели позволяют достичь высокой чувствительности выявления ишемической болезни сердца (ИБС) – порядка 98% [2].

Мгновенный спектральный анализ позволяет оценивать изменения амплитудно-частотных характеристик определенного участка кардиосигнала [3], что позволяет существенно сократить количество вычислений, проводимых нейросетью. Наиболее часто для спектрального анализа используют метод

быстрого преобразования Фурье (БПФ), с помощью которого сигнал можно разложить на составляющие его колебания различной частоты и амплитуды [4].

Важной стадией алгоритма работы нейросети является выделение отдельных кардиоциклов из исходного сигнала и их мгновенного спектра, который в последующем будет разложен на примитивы [5] и обработан посредством векторной лингвистики. На первом этапе обработки можно использовать методы взятия производных. Далее, пройдя фазу постепенного избавления от лишних составляющих, сигнал следует сгладить и разделить на примитивы с помощью векторной лингвистики, где рисунок спектра переводится в векторную форму. Каждый отдельный бит преобразуется в четыре направления векторов, соединенных в виде квадрата. Векторное поле упрощается путем удаления векторов, которые перекрывают друг друга, затем производится поиск и соединение параллельных векторов в один вектор. Этот вектор признаков будет сравнен с помощью нейросети с базой данных, и на основе выявления в мгновенном спектре синтаксических закономерностей топологии распознаваемых примитивов в ходе анализа ЭКГ СВР данным методом можно произвести анализ ЭКГ у пациента.

Таким образом, опираясь на вышесказанное, а также на высокую надежность распознавания различных патологий обучаемыми нейронными сетями и на тот факт, что нескольких сотен кардиоциклов достаточно для обучения нейронных сетей, можно эффективно распознавать заболевания по ЭКГ СВР. Результатом разработки этой идеи станут такие сети, дополненные лингвистическими методами векторизации, которые позволят диагностировать заболевания на самых ранних стадиях.

**Библиографический список**

1. Гуляев Ю. В. Электрокардиография сверхвысокого разрешения. Задачи. Проблемы. Перспективы / Ю. В. Гуляев, К. В. Зайченко // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 9. С. 5–16.

2. Бойцов С. А. Новый метод описания результатов спектрально-временного картирования ЭКГ ВР и оценка его диагностической эффективности / С. А. Бойцов, С. Л. Гришаев, О. Л. Тищенко и др. // Вестн. аритмологии. 1999. № 14. С. 25–29.

3. Simson M. B. Use of Signals in the Terminal QRS Complex to Identify Patients with Ventricular Tachycardia after Myocardial Infarction // Circulation. 1981. Vol. 64 (2). Pp. 235–242.

4. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход / Пер. с англ. А. П. Немирко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 440 с.

5. Ануфриев И. Е. MATLAB 7 / И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, Е. Н. Смирнова. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. 1104 с.

**УДК 615.47:616**-072.7

***А. С. Данилова***
магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ЭКГ СВР

**Введение**

В электрокардиографии для поиска и анализа компонентов электрокардиограммы применяют ряд различных методов обработки цифровых сигналов. Одним из таких методов является техника вейвлет-преобразования [1].

Для обработки сигналов ЭКГ СВР целесообразно использовать метод интегральных преобразований. Среди наиболее часто используемых преобразований можно выделить следующие:

- быстрое преобразование Фурье (БПФ);
- спектрально-турбулентный анализ (СТА), основанный на данных БПФ;
- спектрально-временное картирование (СВК);
- вейвлет-преобразования [2].

В частности, ортогональное вейвлет-преобразование является важным частным случаем интегрального преобразования. Этот вид анализа сигналов эффективен при расшифровке ЭКГ, благодаря ему на выходе можно получить увеличенное изображение выбранной области ЭКГ. Кроме того, выполнив обратное преобразование, можно получить сигнал, очищенный от шумов и случайных выбросов. Этот сигнал будет содержать в себе данные, проанализировав которые, можно будет диагностировать кардиологические патологии на ранних стадиях.

Суть ортогональных вейвлет-преобразований заключается в масштабировании вейвлет в некоторое постоянное (например, два) число раз и смещении его во времени на фиксированное расстояние, зависящее от масштаба. При этом все сдвиги одного масштаба должны быть попарно ортогональны.

При таком преобразовании выполняется свертка сигнала с некоторой функцией (так называемой скейлинг-функцией) и с вейвлет, связанным с этой скейлинг-функцией. В результате мы получаем набор деталей, отличающих полученный сигнал от исходного [2].

Частотное представление сигнала может быть получено с использованием различных методик, включая преобразование Фурье. Наиболее часто в электрокардиологии используется быстрое преобразование Фурье (БПФ), которое раскладывает временной сигнал (теоретически он должен быть периодическим) на бесконечное число синусоид. Этот набор синусоид затем представляется в частотной области с использованием амплитуды и фазы каждой из этих функций. Таким образом, БПФ обеспечивает связь между временным и частотным представлением сигнала.

Оцифрованный ЭКГ СВР-сигнал конечен, поэтому он имеет резкие границы. Это приводит к размыванию всех определенных частот. Чтобы этого избежать, при вычислении БПФ применяется к ЭКГ СВР ограниченное «окном» (так называемое оконное) преобразование Фурье для плавного уменьшения границы ЭКГ СВР-сигнала до нуля с удалением его прерывистости. Ограничение этого подхода заключается в том, что происходит уменьшение разрешения по частоте, то есть уменьшается качество определения частот в ЭКГ-сигнале.

Другое неизбежное ограничение преобразования Фурье состоит в том, что оно не позволяет определить точное положение частотных компонент в сигнале. Эти компоненты изменяются во времени. QRS-комплекс – это высокочастотная компонента, тогда как зубец *T* содержит низкочастотные компоненты. Поэтому необходимо точное определение частот ЭКГ СВР-сигнала во времени, то есть ис-

пользование ортогонального вейвлет-преобразования для получения частотно-временного представления сигнала в электрокардиологии оправданно.

Вейвлет-преобразование основано на наборе анализирующих функций (вейвлетов), дающих разложение ЭКГ СВР-сигнала на последовательность коэффициентов. Каждый вейвлет имеет определенную длительность, положение во времени и полосу частот. В результате преобразования вейвлет-коэффициенты соответствуют ЭКГ СВР-компонентам на некоем временном отрезке и полосе частот [3].

**Материалы и методы**

Формула материнского вейвлета

$$\psi(x) = \sqrt{2}\sum_{k=0}^{2M-1} g_k \varphi(2x-k),$$

где

$$g_k = (-1)^k h_{2M^{k-1}},$$

$M$ (целое число) – число коэффициентов $h$, функция φ – единичная ступенька ($x < 0$, $x \geq 1$ φ ($x$) = 0; $x \in [0,1]$ φ ($x$) = 1). Для дискретного преобразования взят вейвлет $D4$ (или 2ψ) из семейства ортонормальных вейвлетов Добеши с конечным носителем (при $M = 2$, $h0 = 0{,}48$, $h1 = 0{,}84$, $h2 = 0{,}22$, $h3 = -0{,}129$).

Были рассмотрены три кардиограммы (рис. 1 – норма; рис. 3, 4 – патологии). Произведен расчет различных вейвлетов для конкретных случаев.

**Результаты**

Результаты показаны на примере обработки отведения I: норма (рис. 1) и с мерцательной аритмией (рис. 2, 3).

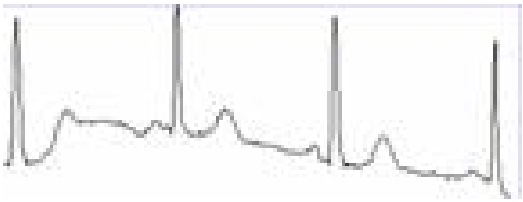


Рис. 1. Нормальная кардиограмма отведения I

Рис. 2. Кардиограмма отведения I (мерцательная аритмия)

Рис. 3. Кардиограмма отведения II (мерцательная аритмия)

На (рис. 4–6) изображены дисперсии вейвлет-коэффициентов для кардиограммы (рис. 1): линия с полностью заштрихованными кружками, линия с заштрихованными наполовину (рис. 2) и линия со светлыми кружками (рис. 4) [3].

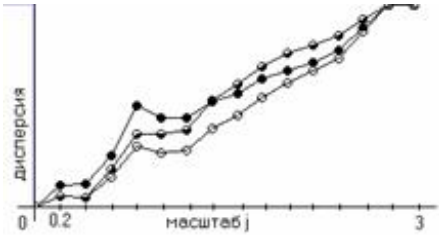



Рис. 4. Дисперсия вейвлет-коэффициентов ортогонального вейвлет-преобразования

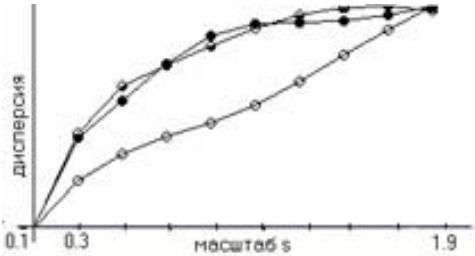



Рис. 5. Дисперсия вейвлет-коэффициентов (использован вейвлет «Мексиканская шляпа») непрерывного вейвлет-преобразования

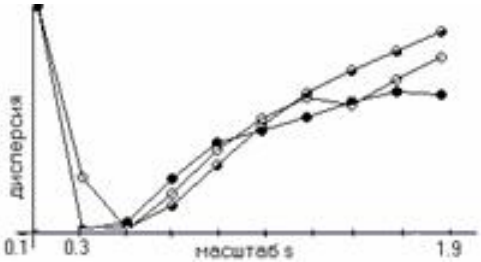



Рис. 6. Дисперсия вейвлет-коэффициентов (использован вейвлет Морле) непрерывного вейвлет-преобразования

Явное отличие от нормы (рис. 4, 5) у кардиограммы отведения I (рис. 3), причем максимальное отклонение дает рис. 5. Здесь минимальная амплитуда комплекса QRS и использование непрерывного преобразования с вейвлетом «Мексиканская шляпа» более разумно для оценки комплекса QRS. На (рис. 6) имеется отличие дисперсии от нормы обеих кардиограмм с аритмией на более высокочастотных масштабах от $j = 0 \div 1{,}2$, поэтому можно говорить об отклонениях в сигналах, причем нормальный сигнал имеет резкое увеличение дисперсии при $j = 0{,}8$ по отношению к соседним масштабам, чего лишены значения дисперсии сигналов с аритмией (у них пик графика дисперсии в этой точке менее выражен), поэтому, используя это отличие именно на масштабе 0,8, можно судить об аритмии кардиограмм. Использование ортогонального преобразования с выбранным вейвлетом оправдано для диагностики патологии по отношению к норме. Используя выбор вейвлет-преобразования, анализирующий вейвлет, можно проводить поиск закономерностей в отличиях сигналов на определенных масштабах.

**Заключение**

Анализ ЭКГ СВР во временной области представляет простейший подход к определению ЭКГ СВР-компонент. Его эффективность ограничена неточностью определения концов зубцов ЭКГ (окончание QRS, определение зубца *T*). Более сложные техники по обработке сигналов могут быть использованы для обеспечения более точного представления потенциалов ЭКГ СВР. Вейвлет-преобразование – это техника в неинвазивной электрокардиографии, дающая усовершенствованные методы. Преимущество этого преобразования – в способности отмечать детали ЭКГ-сигнала с оптимальным частотно-временным разрешением. Диагностическая и прогнозирующая важность этой методики в электрокардиологии требует крупных клинических исследований.

**Библиографический список**

1. Григорьев Д. С. Применение нейронной сети и дискретного вейвлет-преобразования для анализа и классификации электрокардиограмм / Д. С. Григорьев, В. Г. Спицын. Томск: Известия Томского политехнич. ун-та. 2012. Т. 321. № 5. 57 с.

2. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 2005.

3. Чесноков Ю. В. Вейвлет-преобразование в обработке электрокардиограмм / Ю. В. Чесноков, В. И. Чижиков // Цифровая обработка сигналов. 2003. № 3.

**УДК 615.47:616**-072.7

***А. В. Жиганова***
магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники
***К. В. Зайченко***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## РЕГИСТРАЦИЯ ПОЗДНИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЖЕЛУДОЧКОВ С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛ-УСРЕДНЕННОЙ ЭКГ

Развитие компьютерных технологий значительно расширило возможности электрокардиографии (ЭКГ) в области диагностики нарушений ритма сердца и привело к созданию ряда новых методов диагностики, основанных на цифровой обработке исходного ЭКГ-сигнала и использовании современного математического аппарата для анализа полученной информации.

К таким методам относится ЭКГ высокого разрешения, работающая с высокочастотными низкоамплитудными (ВЧ НА) составляющими ЭКГ-сигналов. При этом анализируются временные зависимости ВЧ НА составляющих ЭКГ-сигналов или их спектры, поскольку именно ВЧ НА составляющие содержат информацию о наличии областей миокарда с нарушением проведения возбуждения (патологии) [1, 2].

Метод ранней диагностики нарушения проводимости миокарда, используемый в электрокардиографии высокого разрешения (ЭКГ ВР), – метод регистрации поздних потенциалов желудочков (ППЖ) [3]. При регистрации с поверхности тела больного ППЖ выявляются в виде низкоамплитудных (5–20 мкВ) и высокочастотных (свыше 20–50 Гц) электрических сигналов, локализованных в конечной части комплекса QRS или начале сегмента ST [4].

Регистрация ППЖ с помощью сигнал-усредненной ЭКГ (СУЭКГ) включает в себя три основных этапа: получение исходного сигнала, его усиление и фильтрация, усреднение сигнала по всем отведениям с его конечным компьютерным анализом. Регистрация сигнала проводится с помощью ортогональных X-, Y-, Z-отведений. Полученный ЭКГ-сигнал подается в усилитель, который должен отвечать существующим стандартам по току утечки, а также обладать низким уровнем шума и защитой от дефибрилляции. Затем сигнал пропускается через специальные фильтры, которые фильтруют как низкочастотные, так и высокочастотные компоненты в пределах определенных границ (0,05–300 Гц). Наиболее часто используются низкочастотные фильтры 40 и 25 Гц, а для фильтрации высокочастотных компонентов – фильтры 250 Гц [5]. Для снижения уровня звона фильтра используются двунаправленные фильтры. Допустимым уровнем шума после фильтрации считается шум в пределах 0,5–0,8 мкВ. Он позволяет проводить корректный анализ полученных результатов.

Следующим этапом является передача сигнала в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), частота и разрядность которого должна быть не менее 1000 Гц и 12 бит [5]. Наиболее часто используются 16-битовые конвертеры. После цифрового преобразования сигнала производится его компьютерный анализ.

Определение ППЖ проводится на основании временного анализа, который позволяет производить усреднение фильтрованного ЭКГ-сигнала последовательных кардиоциклов каждого ортогонального отведения с последующим анализом трех основных параметров, значения которых и используются при формировании заключения о наличии или отсутствии ППЖ.

Для получения адекватного усредненного сигнала должно быть проанализировано не менее 100 последовательных кардиоциклов, но на практике общепринятым является усреднение 200–300 последовательных кардиоциклов [5]. На первом этапе компьютерного анализа система проводит детекцию и сравнение комплексов QRS. Широко используемый метод оценки морфологии комплексов QRS является корреляционным, когда каждый последующий кардиоцикл сравнивается с эталонным.

В различных коммерческих системах СУЭКГ реализованы разные подходы к выбору эталонного комплекса QRS: в одних системах он может выбираться пользователем, в других – это полностью автоматизированный процесс на основании анализа кардиоциклов, полученных в первые 10 секунд реги-

страции или на основании усреднения первых 10–20 кардиоциклов. В результате компьютер получает способность отбраковывать все комплексы, не совпадающие по морфологии с образцом, что позволяет исключать из анализа желудочковые экстрасистолы. В дальнейшем прибор добавляет к анализу последовательные кардиоциклы по каждому из трех отведений. В результате, разделив сумму сигналов на их общее количество, получается усредненный сигнал.

Следует подчеркнуть, что по мере увеличения числа усредняемых кардиоциклов уровень шума прогрессивно уменьшается ввиду случайной природы шумов. Именно этот факт является определяющим для использования СУЭКГ с целью регистрации ППЖ, так как исключение шумов позволяет выявить низкоамплитудные сигналы, маскируемые последними на обычной ЭКГ.

Когда закончено усреднение ЭКГ-сигнала по всем отведениям и прибором получена усредненная ЭКГ высокого разрешения, проводится анализ СУЭКГ. Конечным этапом анализа является получение суммарного фильтрованного комплекса, используемого для анализа на наличие ППЖ.

Электрокардиография высокого разрешения с помощью усреднения ЭКГ-сигнала и последующего его анализа сделала возможным неинвазивную регистрацию ППЖ и прогнозирование желудочковых аритмий у больных с ишемической болезнью сердца.

**Библиографический список**

1. Зайченко К. В. Исследование электрокардиосигналов сверхвысокого разрешения в процессе развития кардиопатологий / К. В. Зайченко, Т. В. Сергеев // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 13–15.

2. Галагудза М. М. Экспериментальные исследования на животных как этап создания методологии и инструментария функциональной электрокардиографии ишемии / М. М. Галагудза, К. В. Зайченко // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 8. С. 17–25.

3. Съем и обработка биоэлектрических сигналов: учеб. пособие / К. В. Зайченко, О. О. Жаринов, А. Н. Кулин и др. 2001. С. 96–105.

4. Мандел В. Дж. Аритмии сердца. Механизмы, Диагностика, Лечение. Т. 2. / Под редакцией В. Дж. Мандел. М.: Медицина-М, 1996. 296 с.

5. Иванов Г. Г. Электрокардиография высокого разрешения – теоретические предпосылки и методические аспекты использования метода / Новые методы электрокардиографии / Г. Г. Иванов, А. Л. Сыркин; под ред. С. В. Грачева и соавт. М.: Техносфера, 2007. С. 19–48.

**УДК 615.47:616**-072.7

***Г. А. Колюка, М. Н. Мошкова***
магистранты кафедры медицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТООПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Электрокардиография высокого разрешения (ЭКГ ВР) (англ. *Highresolution* ECG), судя по количеству как отечественных, так и зарубежных публикаций, – одно из самых быстро развивающихся направлений современной электрокардиографии. К настоящему времени опубликован ряд работ по медицинской тематике, посвященных вопросам выявления с помощью методов ЭКГ ВР признаков кардиопатологий на ранних стадиях их развития. В ЭКГ ВР регистрируются составляющие электрокардиосигнала достаточно низкого уровня (около 1 мкВ), проявляющиеся после QRS-комплекса и не различимые на стандартной кардиограмме. Эти поздние потенциалы (*latepotentials*) являются результатом нарушений проводимости в области желудочков сердца и связаны с опасной для жизни патологией – желудочковой тахикардией.

Акустооптические приборы, использующие явление дифракции Брэгга на акустической волне, давно и широко применяются для различных видов обработки электронных сигналов, в том числе для спектральной, корреляционной обработки, выполнения операций свертки, корреляции и др. [1, 2]. При этом наиболее широкое распространение получила обработка сигналов, частоты которых находятся в диапазоне десятков – сотен мегагерц.

Что касается возможности осуществлять акустооптическую обработку сигналов ЭКГ СВР (сверхвысокого разрешения) во всем диапазоне частот, в частности, получать частотное разрешение в доли Гц, то для этого необходимо разработать модификацию АОС (акустооптический спектроанализатор), содержащую линейку фотоприемников с увеличенным временем накопления [3].

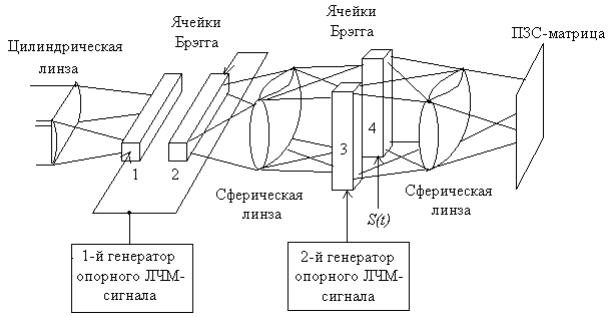
Суть метода заключается в том, что к фотоприемнику АОС посредством термоинтерфейса, например, термопасты, подведено устройство для его принудительного охлаждения в виде компактного элемента Пельтье.

Анализ показал, что стандартная КМОП-линейка типа elis-1024 обеспечивает время накопления порядка 1 с при комнатной температуре. Увеличение времени накопления до 10–20 с на этой линейке может быть обеспечено путем ее охлаждения до температуры примерно –10 °С, что легко достигается применением малогабаритного и недорогого охлаждающего элемента Пельтье. Таким образом, возможно достижение частотного разрешения, вполне достаточного для акустооптического анализа не только высокочастотной части диапазона сигналов ЭКГ СВР, но и диапазона, характерного для традиционной ЭКГ.

Уже существующие приборы такого типа могут быть использованы для анализа высокочастотных составляющих сигналов ЭКГ СВР в области частот до 2 кГц. Что касается возможности осуществлять акустооптическую обработку сигналов ЭКГ СВР во всем диапазоне частот, в частности, получать частотное разрешение в доли Гц, то для этого необходимо разработать модификацию АОС, содержащую линейку фотоприемников с увеличенным временем накопления.

Однако общего разрешения АОС с временным интегрированием, которое, как и в случае более простых АОС с пространственным интегрированием, не превышает нескольких сотен, может не хватить для работы с полным диапазоном частот ЭКГ СВР от 1 до 2000 Гц. Одним из перспективных путей преодоления ограничения по полосе частот является применение акустооптического анализатора спектра с пространственно-временным интегрированием [4], схема которого показана на рисунке.

В этом устройстве удачно сочетаются высокая разрешающая способность по частоте, характерная для устройств с временным интегрированием с широкой полосой частот одновременной обработки, связанной с особенностями анализаторов спектра с пространственным интегрированием. Акустооптический спектроанализатор со смешанным пространственно-временным интегрированием содержит четыре одинаковых ячейки Брэгга. Первая пара ячеек расположена непосредственно за цилиндрической линзой, обеспечивающей необходимую форму коллимированного пучка света. Эти ячейки ориентированы встречно друг другу, и на них подается один и тот же опорный электрический ЛЧМ-сигнал.




Структурная схема акустооптического анализатора спектра
со смешанным пространственно-временным интегрированием

Первая сферическая линза обеспечивает фокусировку первого дифракционного порядка после первой ячейки на апертуру третьей ячейки, а первого дифракционного порядка после второй ячейки – на апертуру четвертой. На третью ячейку Брэгга подается также ЛЧМ-сигнал с периодом, равным $L/v$, где $L$ – размер апертуры ячейки, а $v$ – скорость акустической волны. На четвертую ячейку подается сигнал, спектр которого подлежит анализу.

В процессе работы данного устройства вторая сферическая линза фокусирует в плоскости ПЗС-матрицы двумерную картину, соответствующую спектру обрабатываемого сигнала. При этом одномерный спектр как бы развернут в растр таким образом, что считывание по вертикали соответствует грубым частотным отсчетам, а по горизонтали – точным частотным отсчетам.

Одной из основных проблем при реализации этого варианта следует считать выбор двумерного фотодетектора – матрицы, обеспечивающей достаточно большое время накопления. Можно предположить, что в данном случае также придется прибегнуть к охлаждению фотодетектора с помощью элемента Пельтье. Другой проблемой можно считать требование максимальной временной апертуры сигнальной ячейки Брэгга, поскольку именно она определяет размер частотного участка, анализируемого с помощью временного интегрирования.

Применение ячеек Брэгга на монокристаллах диоксида теллура с медленной сдвиговой акустической волной, распространяющейся вдоль кристаллографического направления, позволяет обеспечить размер временной апертуры до 20–30 мкс. При этом, однако, необходимо использование оптических элементов (линз) высокого качества, кроме того, высокие требования предъявляются к качеству кристалла, служащего звукопроводом ячейки Брэгга.

Разработка такого рода методик позволит создать и внедрить в практическое здравоохранение новое поколение компьютеризированных электрокардиографов и электрокардиомониторов, работающих на основе методики ЭКГ СВР и существенно превосходящих по своим возможностям применяющуюся сегодня электрокардиографическую аппаратуру.

**Библиографический список**

1. Париевский И. А. Проблемы проектирования акустооптического анализатора спектра для анализа ЭКГ-сигнала сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, К. В. Зайченко, Б. С. Гуревич. Конгресс Кардиостим 2018: тез. докл. СПб., 2018. 196 с.

2. Париевский И. А. Возможность применения акустооптических методов для обработки сигналов электрокардиографии сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, К. В. Зайченко, Б. С. Гуревич. Сб. докл. XX International Conference for Young Researchers Wave Electronics andIts Applications in the Information and Telecommunication Systems. СПб., 2017. 173 с.

3. Париевский И. А. Возможности акустооптической обработки ЭКГ-сигнала сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, Б. С. Гуревич. Сб. докл. 70-й междунар. студ. конф. ГУАП. Ч. 1. СПб., 2017. 267 с.

4. Егоров Ю. В. Двумерный акустооптический анализатор спектра с пространственным и временным интегрированием / Ю. В. Егоров, А. И. Елисеев // Радиотехника. 1985. № 10. С. 76–78.

**УДК 615.47:616**-072.7

***А. С. Кузнецова***
студент кафедры медицинской радиоэлектроники
***И. З. Поясов***
доктор биологических наук, профессор – научный руководитель

## ВВЕДЕНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Достаточно часто в современной медицинской практике применяется введение лекарственных веществ с помощью постоянного тока. Как показывает практика, чаще всего эти самые вещества вводят через кожу без повреждений, иногда через слизистые оболочки.

Электрофорез лекарственных препаратов имеет ряд преимуществ перед другими способами ведения лекарственных веществ:

1) ограниченное введение лекарственных веществ в определенную область;

2) проявление общего действия на организм лекарственного вещества;

3) действие лекарственного вещества в малых дозах и образование на месте введения «депо» из лекарственного вещества;

4) медленное поступление вводимого вещества в организм и медленное его выведение;

5) взаимодействие электрически активных частиц лекарственного вещества и внутренних сред организма [1].

Электрофорез представляет собой движение заряженных частиц (ионов) в электрическом поле, создаваемом внешним источником. Физический процесс электрофореза сегодня широко применяется в различных отраслях [2].

Электрическая диссоциация – основной процесс работы электрофореза. Медицинские препараты в виде химического вещества в водном растворе распадаются на ионы. Если пропустить через такой раствор электрический ток, ионные лекарственного вещества будут перемещаться и таким образом проникать через кожу, слизистые оболочки и в результате окажутся в организме человека.

После этого лекарственные вещества равномерно распределяются в клетках и межклеточной жидкости. Электрофорез лекарственных веществ помогает препарату попасть в эпидермис и дерму, откуда вещество всасывается в кровь и лимфу через микрососуды. Попав кровоток и лимфоток, медицинский препарат доставляется ко всем органам и тканям, но максимальная концентрация вводимого вещества сохраняется в области введения лекарства.

Преимущества лечебного электрофореза:

1. Введение малых, но весьма эффективных доз действующего вещества.

2. Введение веществ в химически активной форме – в виде ионов.

3. Возможность создания высокой местной концентрации действующего вещества без насыщения им лимфы, крови и других сред организма.

4. Возможность введения вещества непосредственно в очаги воспаления, блокированные в результате нарушения локальной микроциркуляции.

5. Лечебное вещество не разрушается, как, например, при введении перорально [3].

Цель исследования, описанного в данной статье, – сравнительная оценка эффективности трансдермального ввода лекарственных препаратов несколькими физиотерапевтическими методами.

Экспериментальная часть исследования проводилась на крысах с помощью импульсного электрофореза. Схема аппарата, который был использован в эксперименте, представлена на рис. 1.

Для начала животное было подготовлено: с нужных участков кожного покрова была удалена шерсть, далее животное зафиксировали марлевой тканью, которая предварительно была обработана раствором с содержанием зеленки, и на нее приложили пружинный пассивный электрод.

На подготовленное место наносятся лекарственные вещества и фиксируются активным электродом. Увеличивается напряжение тока до возможно большего значения. Выходной ток увеличился регулятором, который находится на выносном активном электроде. Если было замечено сильное беспокойство животного, то подача тока прекращалась.

Рис. 1. Схема аппарата IF-05

Воздействие на участок кожи производилось в течение 20 минут. После эксперимента у животного осуществлялся забор гистологического материала. Препараты кожных покровов фиксировались в 10%-ном формалине. На микропрепаратах с использованием лидазы ярко выражено прохождение красящего пигмента в верхние слои эпидермиса и в глубокие слои дермы. Данные изменения представлены на рис. 2, *а*.

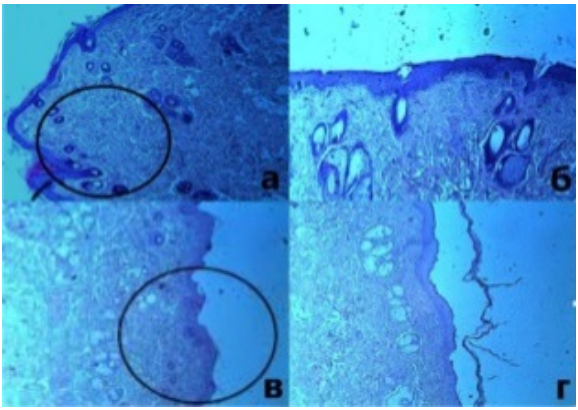



Рис. 2. Фрагмент кожи после введения лидазы методом электрофореза (*а*); контрольный микропрепарат фрагмента кожи, после введения лидазы без применения электрофореза (*б*); фрагмент кожи после введения адреналина методом электрофореза (*в*); контрольный микропрепарат фрагмента кожи после введения адреналина (*г*). (гематоксилин-эозин, ×10)

Для объяснения механизма действия на внутренние органы лекарственных веществ используют учение об ионных рефлексах, согласно которому рецепторы кожи раздражаются ионами лекарственного вещества и постоянным электрическим током. При местном воздействии на кожу ионы лекарства оказывают влияние через вегетативные нервные пути на внутренние органы. С учетом этого действия электроды следует располагать на участках кожи, связанных вегетативной иннервацией с внутренними органами [3].

При поверхностно расположенных патологических процессах методом электрофореза можно создать достаточно высокую концентрацию лекарства непосредственно в очаге поражения, не насыщая им организм. На контрольных гистологических препаратахнаблюдается неконтролируемое влияние лидазы на площадь распространения красящего пигмента в эпидермисе. Он более рассеивается в слоях эпидермиса, а площадь прохождения пигмента под действием лидазы больше и имеет нечеткие границы, распространяясь в верхних слоях эпидермиса с диффузным проникновением в более глубокие слои дермы (рис. 2, *б*).

При использовании для электрофореза 1%-ного адреналина гидрохлорида на микропрепаратах выявлено проникновение красящего пигмента до глубоких слоев дермы, но одновременно зафиксировано влияние адреналина на сосуды, что характеризуется их сужением. Данная гистологическая картина показана на рис. 2, *в*.

На контрольных гистологических препаратах выявлены изменения, типичные для диффузного распространения препаратов в эпидермисе кожи. Локального точечного проникновения препаратов в глубокие слои дермы, типичного для экспериментального электрофоретического воздействия, не наблюдается. Гистологическая картина ткани кожи при контрольном введении адреналина с красителем показана на рис. 2, *г*.

В заключение можно сказать следующее:на основании проведенных исследований было установлено, что использование для электрофоретического введения лекарственных препаратов аппарата IF-05 позволяет осуществлять локальное воздействие на патологический процесс и осуществлять точечную доставку препарата к очагу поражения, минуя неизмененные ткани. Глубина проникновения лекарственного препарата может быть отрегулирована с высокой степенью точности мощностью электрофоретического воздействия, а также определяется фармакокинетикой вводимого лекарственного препарата.

**Библиографический список**

1. Улащик В. С. Лекарственный электрофорез / В. С. Улащик, Г. Н. Пономаренко. М.-СПб., 2010. 292 с.

2. Парфенов А. П. Электрофорез лекарственных веществ. Л., 1973. 176 с.

3. Улащик В. С. Общая физиотерапия / В. С. Улащик, И. В. Лукомский. М.: Книжный дом, 2005. 512 с.

**УДК 577.352.54**

***К. И. Михеев***
магистрант кафедры биомедицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕРДЕЧНУЮ МЫШЦУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Возникновение биоэлектрического потенциала покоя сердечной мышцы обусловлено высокой проводимостью мембраны кардиомицитов в состоянии покоя для ионов калия ($K^+$), хлора ($Cl^-$), а также ионной асимметрией концентраций ионов $K^+$ и ионов $Cl^-$, работой систем активного транспорта (калий-натриевый насос ($Na^+/K^+$)), которые создают и поддерживают ионную асимметрию. Для транспортировки трех ионов натрия из клетки и одновременно двух ионов калия в клетку используется энергия одной молекулы аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), то есть суммарно за один цикл из клетки удаляется один положительный заряд [1].

Мембрана кардиомицита в точке локализации раздражающего электрода отвечает на воздействие очень слабого тока, еще не достигшего порогового значения. Этот ответ получил название локального, а колебание разности потенциалов на мембране – локального потенциала. Тело человека может выступать в качестве приемной антенны, если его поместить под постоянно действующее электромагнитное поле, в таком случае во всем теле может возникать некий переменный ток. Он очень слаб, но даже этого уровня достаточно для возбуждения мембранного потенциала.

Так, если воздействовать на мембрану кардиомицита конкретно электрическим током возрастающей силы, то при ее величине, называемой пороговой, деполяризация мембраны может достигнуть критического уровня – $E_к$, при котором происходит открытие быстрых потенциалзависимых натриевых каналов [2]. В результате через них происходит лавинообразно нарастающее поступление в клетку ионов натрия (Na+). Вызываемый процесс деполяризации приобретает самоускоряющийся характер, и локальный потенциал перерастает в потенциал действия. Но в данном случае у человека может повыситься порог раздражимости, что в свою очередь окажет негативное влияние на состояние сердечно-сосудистой системы, так как сгенерированный потенциал действия под действием электромагнитного поля будет нарушать сердечный ритм и ускорять или замедлять сердцебиение.

Также, как указывалось ранее, если при воздействии электромагнитного поля на организм в нем может возникать переменный ток, то можно предположить, что этот переменный ток способен поддерживать работу калий-натриевого насоса, энергозатраты которого обеспечиваются молекулами АТФ. Вместо энергии расщепления молекул АТФ мембрана будет использовать энергию, получаемую от распространяющегося по телу переменного тока.

Так, гидролиз макроэргических связей молекулы АТФ, сопровождаемый отщеплением 1 или 2 остатков фосфорной кислоты, приводит к выделению от 40 до 60 кДж/моль, следовательно, для поддержания работы калий-натриевого насоса и уменьшения внутренних затрат энергии необходимо оказывать воздействие переменным током, создающим энергию, равную расщеплению 1 АТФ.

Однако тут возникает проблема: ток от повседневных электромагнитных полей в теле человека крайне мал и практически не оказывает никакого влияния на мембрану сердечной мышцы, поэтому для получения результатов необходимо либо использовать электромагнитные поля более высоких частот, что пагубно повлияет на организм, либо вживлять в тело, например в непосредственной близости от сердца, проводниковые материалы, которые будут играть роль дополнительной приемной антенны [3]. Для получения точных результатов необходимо использовать ЭКГ сверхвысокого разрешения, так как обнаружить возникновение потенциала действия мембраны сердечной мышцы простым аппаратом ЭКГ практически невозможно. В данном случае необходима высокая точность регистрации биоэлектрических потенциалов. Данные, полученные от ЭКГ сверхвысокого разрешения, могут дать полезную информацию о влиянии мощностей электромагнитного поля на организм человека и в дальнейшем помочь принять возможные меры для защиты людей от электромагнитного поля определенных частот [4].

В заключение можно отметить, что данный способ исследования воздействия электромагнитного поля на мембрану сердечной мышцы, способен помочь предотвратить возникновение сердечно-сосудистых заболеваний у людей, чья профессиональная деятельность связана с постоянным нахождением в сильных электромагнитных полях, и предупредить угрозу для людей в будущем, ведь с каждым днем мощности электромагнитных полей в городах возрастают. Также можно изучить вопрос, возможно ли положительное влияние электромагнитных полей на сердце, в частности, осуществимо ли использование энергии электромагнитного поля для поддержания калий-натриевого насоса.

**Библиографический список**

1. Покровский В. М. Физиология человека / В. М. Покровский, Г. Ф. Коротько. М.: Медицина, 1997. 449 с.
2. Агаджанян Н. А. Основы физиологии человека / Н. А. Агаджанян: М.: РУДН, 2001. 408 с.
3. Бабский Е. Б. Физиология человека / Е. Б. Бабский, Г. И. Косицкий: М.: Медицина, 1985. 560 с.
4. Зайченко К. В. Электрокардиография сверхвысокого разрешения. Задачи. Проблемы. Перспективы / К. В. Зайченко, Ю. В. Гуляев // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 9.

**УДК 615.47:616**-072.7

***А. А. Мороз***
студент кафедры медицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

В настоящее время в клинической практике широко используется метод электрокардиографии (ЭКГ). Она отражает процессы возбуждения в сердечной мышце – возникновение и распространение возбуждения. Существуют различные способы отведения электрической активности сердца, которые отличаются друг от друга расположением электродов на поверхности тела. Однако независимо от способа снятия ЭКГ-сигнала сам сигнал не изменяется и легко представляется в виде обычного временного ряда.

Временной ряд (или ряд динамики) – собранный в разные моменты времени статистический материал о значении каких-либо параметров (в простейшем случае одного) исследуемого процесса. Каждая единица статистического материала называется измерением или отсчетом, также допустимо называть эту единицу уровнем на указанный совместно с ней момент времени. Во временном ряде для каждого отсчета должно быть указано время измерения или номер измерения по порядку. Временной ряд существенно отличается от простой выборки данных, так как при анализе учитывается взаимосвязь измерений со временем, а не только статистическое разнообразие и статистические характеристики выборки [1]. На рис. 1 приведен пример ЭКГ в виде временного ряда.

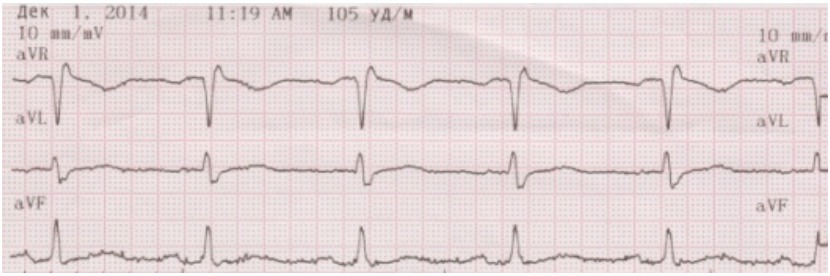



Рис. 1. Пример ЭКГ при дисметаболической кардиомиопатии

Целью работы является создание базы данных (БД) для хранения ЭКГ именно в виде временного ряда. Для хранения временных рядов сегодня все чаще используются так называемые NoSQL-базы данных: как популярные HBase и Cassandra, так и более специализированные решения, например OpenTSDB, KairosDB и Acunu. Возможно, в некоторых ситуациях такой вариант вполне оправдан, но для решения подавляющего большинства практических задач он вряд ли подойдет.

Все перечисленные ранее БД работают на базе инфраструктуры Hadoop, и для их нормального функционирования требуется огромное количество зависимостей. С производительностью у них тоже не все так гладко, как может показаться на первый взгляд. Поэтому для решения данной задачи была выбрана InfluxDB – БД для хранения временных рядов с открытым исходным кодом, разработанная InfluxData.

InfluxDB написана на языке Go и позиционируется как БД для хранения временных рядов, метрик и информации о событиях. Она также поддерживает обработку данных Graphite. В качестве низкоуровневого хранилища пар «ключ – значение» в InfluxDB используется база данных LevelDB. Для этого также можно использовать RocksDB (по утверждению разработчиков InfluxDB, именно это хранилище показывает наилучшую производительность) и LMDB.

Записывать данные в InfluxDB можно разными способами. Во-первых, данные в формате JSON можно передавать через HTTP API. Во-вторых, InfluxDB поддерживает протокол Carbon, используемый в инструменте для обработки и визуализации данных Graphite. В-третьих, данные можно отправлять по протоколу UDP.

InfluxDB может использоваться в качестве бэкенда для Graphite, благодаря этому можно существенно повысить его производительность. Поддерживается также возможность работы с дашбордом для метрик Grafana [2]. Grafana – это пакет для визуализации данных мониторинга. В отличие от Graphite, который хранит данные и строит графики, пакет Grafana фокусируется только на визуальной части и дашбордах, и у него это получается очень хорошо (см. рис. 2).

Рис. 2. Пример визуализации данных с помощью Grafana

В результате данной работы будет разработана система для хранения и отображения ЭКГ-сигналов, основанная на базе данных InfluxDB и пакете визуализации данных Grafana. Также будет реализован графический интерфейс для загрузки и выгрузки данных из системы.

**Библиографический список**

1. Шмойлова Р. А. Общая теория статистики: учебник. М.: Финансы и статистика, 2002. 198 с.
2. Портал «Хабр». URL: http://www.habrahabr.ru.

**УДК 621.383**

***И. А. Париевский***
студент кафедры биомедицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОПРИЕМНИКА В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Возможность акустооптической обработки сигналов, в первую очередь с применением акустооптических анализаторов спектра (АОС) с временным интегрированием, известна уже длительное время, однако ее применение для обработки биоэлектрических сигналов (БЭС) было сопряжено с рядом проблем. Ранее АОС применялись для обработки сигнала в частотном диапазоне десятков, сотен мегагерц, что делало невозможной обработку биоэлектрических сигналов в диапазоне единиц герц – единиц килогерц. Это обусловлено тем, что рабочая частота ячеек Брэгга в подобных схемах лежит в данном диапазоне, причем разрешение по частоте в таких схемах составляет десятки, сотни килогерц. Такая величина не применима для анализа БЭС [1].

Одним из способов увеличения разрешения по частоте и вместе с тем сдвига рабочего диапазона частот является использование АОС со смешанным пространственно-временным интегрированием. В этом устройстве удачно сочетаются высокая разрешающая способность по частоте и характерная для устройств с временным интегрированием широкая полоса частот одновременной обработки [2]. Однако и таких характеристик недостаточно для полноценной обработки БЭС.

Дополнительно для увеличения разрешения по частоте может служить замедление устройства путем роста времени накопления заряда фотоприемника АОС с помощью его принудительного охлаждения.

Суть метода заключается в том, что к фотоприемнику АОС посредством термоинтерфейса, например термопасты, подведено устройство для его принудительного охлаждения в виде компактного элемента Пельтье.

На примере КМОП-линейки Elis-1024, имеющей время накопления при комнатной температуре (20 °С) равное 1 с, при охлаждении до –10 °С время накопления может быть увеличено до десятков секунд [3].

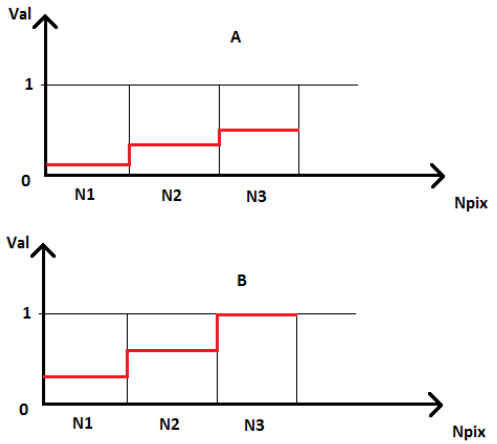



Рис. 1. Мгновенные значения при регистрации без накопления заряда (А); значения при регистрации аналогичных спектральных составляющих с накоплением заряда (В)

Недостатком данного метода являлась проблема сложности анализа данных при использовании методики принудительного охлаждения матрицы фотодетектора с помощью элемента Пельтье. Поскольку при увеличенном периоде накопления на пикселях с нормальной засветкой, то есть при средней и выше средней интенсивности света, происходит более сильное накопление заряда, чем позволяют возможности фотодетектора, что приводит к регистрации максимальных значений показателей при интенсивности света, в норме соответствующей более низкому значению. Эта особенность метода проиллюстрирована на рис. 1.

Возможным решением данной проблемы является математическая обработка сигнала, снятого с соседних пикселей фотодетектора, относительно пикселя, содержащего предельное значение.

$$a(x) = e^{-\frac{x^2}{2}}$$

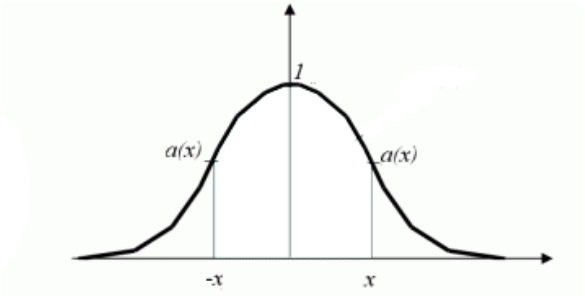



Рис. 2. Гауссово распределение интенсивности света лазерного луча

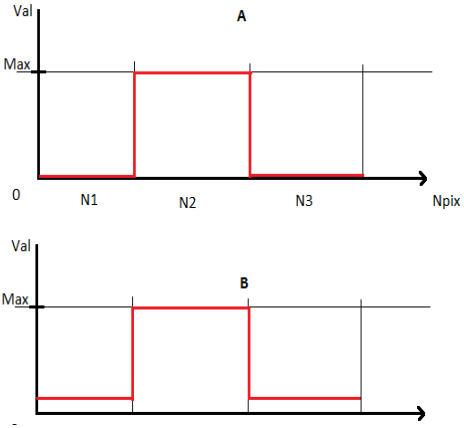



Рис. 3. Мгновенные значения при регистрации света максимальной интенсивности без накопления заряда (А); значения при регистрации света максимальной интенсивности с накоплением заряда (В)

Поскольку лазерный луч имеет Гауссово распределение (*1*) интенсивности (рис. 2), то на краях луча его интенсивность значительно снижается, следовательно, их значение, зарегистрированное фотодетектором, будет ниже максимального, это показано на рис. 3, где *x* – отклонение от центра распределения, являющееся координатой пикселя, несущего максимальное значение; *a*(*x*) – ордината Гауссо-

ва распределения, соответствующая *x* и нормированная на максимум распределения, являющаяся искомой величиной.

Таким образом, зная величину, расстояние от максимума и способ распределения, истинное значение, лежащее за пределами возможностей регистрации фотодетектора, можно вычислить по формуле (1). Рассмотренный метод может быть использован для акустооптической обработки БЭС.

**Библиографический список**

1. Париевский И. А. Проблемы проектирования акустооптического анализатора спектра для анализа ЭКГ-сигнала сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, К. В. Зайченко, Б. С. Гуревич. Конгресс Кардиостим 2018: тез. докл. СПб.: Электронный журнал, 2018. 196 с.

2. Париевский И. А. Возможность применения акустооптических методов для обработки сигналов электрокардиографии сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, К. В. Зайченко, Б. С. Гуревич // Сб. докл. XX International Conference for Young Researchers Wave Electronics and Its Applicationsin the Information and Telecommunication Systems. СПб.: ГУАП, 2017. 173 с.

3. Париевский И. А. Возможности акустооптической обработки ЭКГ-сигнала сверхвысокого разрешения / И. А. Париевский, Б. С. Гуревич // Сб. докл. 70-й междунар. студ. конф. ГУАП. Ч 1. СПб.: ГУАП, 2017. 267 с.

**УДК 621.375.134**

***Д. В. Подольских***
магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники
***Б. С. Гуревич***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# СИСТЕМА ДЛЯ СНЯТИЯ ЭКГ- И ЭМГ-СИГНАЛОВ С ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ СВР

Одной из важнейших характеристик, описывающих функциональное состояние живого организма, является электрический потенциал, или биопотенциал. Диагностическая медицина, а именно электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ), электронейрография (ЭНГ) и т. д., занимается изучением именно этого вида информации.

Одной из задач в области снятия биопотенциалов до сих пор является создание универсальной системы с малым количеством отведений, с помощью которой возможна регистрация нескольких электрических сигналов с разных участков тела человека. Разработка принципиальной схемы подобной системы и является задачей данной статьи.

Перед тем как приступить к описанию принципиальной схемы, необходимо уделить внимание электродам, с помощью которых осуществляется непосредственный съем электрических сигналов.

В качестве материалов для изготовления электродов, которые бы обеспечивали продолжительный стабильный контакт с поверхностью кожи человека и были мало подвержены эффекту поляризации, целесообразно использовать серебро, хлорид серебра, золото или платину. Однако в настоящее время наиболее перспективными для дальнейшего применения в медицине и создания новой электродиагностической аппаратуры с повышенной разрешающей способностью являются бионаноэлектроды – электроды, выполненные на базе пористой керамики.

При их изготовлении в порах керамической основы электрода размещают частицы серебра. Паста на основе хлористого серебра после расплавления смачивает серебряные частицы, при этом в порах керамики образуется множество хлорсеребряных микроэлектродов, с увеличением числа которых уменьшается уровень шумов. Общая же электродвижущая сила (ЭДС) такой конструкции определяется суммой потенциалов микроэлектродов. Также под воздействием постоянного тока бионаноэлектроды менее подвержены эффекту поляризации. Если использовать данный тип электродов, то результаты электрофизиологических исследований будут достовернее, а измерения диагностических показателей – точнее.

Форма электродов и расстояние между ними напрямую зависят от амплитуды снимаемого сигнала и уровня помех. Так, амплитуда сигнала будет прямо пропорциональна межэлектродному расстоянию, в то время как полоса пропускания будет, наоборот, уменьшаться.

Так как в работе планируется снятие ЭКГ- и ЭМГ-сигналов в режиме сверхвысокого разрешения (СВР), частотный диапазон полезного сигнала будет находиться в диапазоне 20–2000 Гц. Поэтому в данном случае целесообразно размещать электроды на минимальном расстоянии друг от друга. Форма электродов может быть либо прямоугольной, либо овальной. Увеличение площади поверхности электродов приведет к увеличению амплитуды снимаемого сигнала и к возрастанию влияния помех с соседних участков тела [1].

В настоящее время в качестве усилительных элементов широко применяются интегральные операционные усилители (ОУ). Характеристики устройств на ОУ определяются преимущественно параметрами цепей обратной связи. Интегральные ОУ характеризуются большим количеством параметров, важнейшими из которых являются коэффициент усиления дифференциального сигнала $K_д$, дифференциальное входное сопротивление $R_{вхд}$, коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) $K_{ос}$, напряжение смещения $U_{см}$, входной ток смещения $i_{см}$, напряжение питания и потребляемый ток. Коэффициент ослабления синфазного сигнала определяет способность усилителя различать малый дифференциальный (разностный) сигнал на фоне большого синфазного.

Лучшие результаты даст схема усилителя на трех ОУ, изображенная на рис. 1, в которой глубина обратной связи обоих входных усилителей оказывается одинаковой. Для данной схемы величины сопротивлений должны удовлетворять соотношению R2/R3 = R5/R4, кроме того, обычно выбирают R2 = R3. Выходное напряжение будет определяться формулой

$$U_{out} = (U'_{вх} - U''_{вх}) \cdot \frac{R5}{R4} \cdot (\frac{2R2 + R1}{R1}).$$

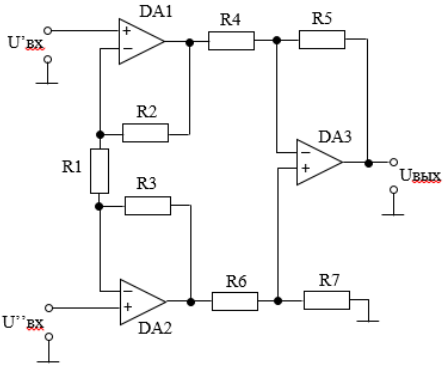



Рис. 1. Усилитель на трех ОУ

По формуле видно, что сохраняется возможность регулировки усиления при помощи одного резистора R1, а коэффициент передачи синфазного сигнала при правильном подборе величины R7 равен нулю. Благодаря этим положительным свойствам схема на трех ОУ является базовой при построении усилителя ЭКГ- и ЭМГ-сигналов.

Для снижения напряжения помех и обеспечения режима работа усилителя в линейном режиме необходимо использовать помимо активных электродов еще один, называемый индифферентным. С помощью последнего на биообъект подают напряжение синфазных помех, усиленное в несколько раз. Подобное техническое решение отображено на рис. 2.

Конструктивно индифферентный электрод необходимо выбирать большого размера (5 см) и располагать его на участке кожи, расположенном в отдалении от исследуемых мышц или сердца. Подобные требования обосновываются тем, что индифферентный электрод не должен вносить искажения в полезный сигнал [2].

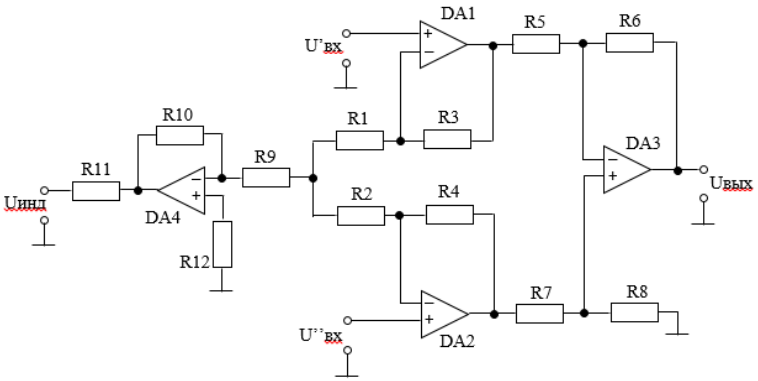



Рис. 2. Усилитель на трех ОУ с индифферентным электродом

Для подавления сетевой помехи с выхода ОУ4 сигнал подается на двойной Т-образный мост. Практические исследования показывают, что выбор подобного фильтра является оптимальным решением для режекции сигнала на частоте 50 Гц. Устранение напряжения смещения, напряжения поляризации электродов, а также подавление сигнала на не представляющих интереса частотах ниже 20 Гц осуществляется с помощью включения в систему еще одного ОУ, образующего с подключенными к нему резистором и конденсатором фильтр высоких частот. Итоговая схема усилителя биопотенциалов мышц изображена на рис. 3.

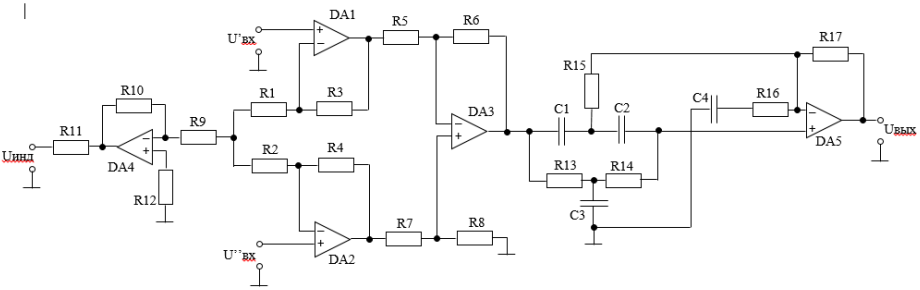



Рис. 3. Система для снятия ЭКГ- и ЭМГ-сигналов

В заключение нужно отметить, что основными преимуществами созданной принципиальной схемы являются возможность съема ЭКГ- и ЭМГ-сигналов с помощью всего лишь трех электродов, малая подверженность регистрируемого сигнала шумам и помехам ввиду использования нескольких фильтров и бионаноэлектродов, простая регулировка усиления снятого сигнала.

**Библиографический список**

1. Пахарьков Г. Н. Биомедицинская инженерия: проблемы и перспективы / Г. Н. Пахарьков. СПб: Политехника, 2011. 232 с.

2. Сафин Д. Р. Современные системы управления протезами. Конструкции электродов и усилителей биосигналов / Д. Р. Сафин, И. С. Пильщиков // Электроника: Наука, технология, бизнес. Наука для медицины. 2009. № 4.

**УДК 615.47**

***О. А. Читайкина***
студент кафедры медицинской радиоэлектроники
***К. Н. Тимофеев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ПОРТАТИВНОЕ УСТРОЙСТВО WONDER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НЕЙРОМАРКЕТИНГА

Нейромаркетинг – направление исследований, а также комплекс методов, с помощью которых изучаются предпочтения потребителей с опорой на знания когнитивной психологии, устройства и функционирования нервной системы. Исходя из положения о том, что за мыслительную и эмоциональную деятельность индивида главным образом отвечает подсознательная часть мозга, в исследованиях по нейромаркетингу фиксируют прежде всего эмоциональную реакцию на физиологическом уровне, обходя при этом социальные, культурные и личностные факторы, которые могут искажать получаемые результаты. В данной работе рассматривается проблема достоверности получаемых методами нейромаркетинга данных.

Проведение исследований в лабораторных условиях с использованием некомфортных для испытуемого методов регистрации биологических данных создает искусственную обстановку, не отражающую реальных условий, при которых исследуемый делает свой потребительский выбор, в результате чего могут быть получены как неточные, так и совсем неверные данные.

Для минимизации подобных влияний современных методов исследований предложено использование разработанного устройства, преимущество которого заключается в его портативности при возможности одновременной регистрации биологических данных, в частности показателей электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электрической активности кожи (ЭАК), частоты сердечных сокращений.

Применение портативного прибора WONDER позволяет получить более полную картину принятия решения испытуемым при выборе товара и за счет использования одновременно нескольких источников данных минимизировать ошибочные интерпретации биологических сигналов. Являясь корректирующим сигналом, ЭАК может показывать общее состояние субъекта, на основании которого вводятся поправки в получаемые с помощью других каналов данные. Важно учитывать, что показания корректирующего сигнала варьируются в зависимости от индивидуальных особенностей организма.

В исследовании использовался электрокардиограф FCP-7101 (Япония). Новизна работы состояла в альтернативном использовании устройства для регистрации ЭАК с целью выявления степени эмоциональной напряженности человека. Электрическую активность кожи используют как показатель эмоционального и деятельностного потоотделения, поэтому при установке электродов прибора на кожу без электродного геля первоначально регистрировался шум, а затем благодаря работе потовых желез прибор начинал фиксировать сердечные ритмы. Интервал времени, за который прибор фиксировал работу сердечной мышцы, находился в обратной зависимости от степени эмоциональной напряженности испытуемого, а также его возраста, пола, индекса массы тела. Проводился опрос участников эксперимента об их эмоциональном состоянии до и после эксперимента, затем два полученных значения усреднялись до одного. Время переходного процесса фиксировалось двумя проверяющими для более точных результатов.

Исследование проводилось в группе из 27 человек в возрасте от 18 до 20 лет: 14 юношей и 13 девушек. У каждого участнике отслеживалась ЭАК. Замерялось время, в течение которого проявлялся сердечный ритм, записывались индивидуальные показатели роста, веса, указывался пол. Затем проводился опрос участников эксперимента на предмет дискомфорта до и после эксперимента. Два полученных значения усреднялись до одного. Время переходного процесса фиксировалось двумя проверяющими для более точных результатов.

Результатом исследования, проведенного с применением прибора FCP-7101, явились статистические данные, полученные в результате обработки регистрируемых в ходе эксперимента биологических данных с участием 27 испытуемых.

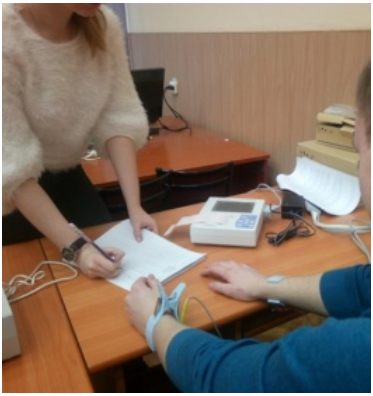


Рис. 1. Ход эксперимента

Выявлялись корреляты, зависящие от пола, индекса массы тела, а также от эмоциональной напряженности участников. В результате статистической обработки данных выявлены следующие зависимости:

1. Индекс массы тела практически не влияет на время переходного процесса, если человек находится в помещении с комфортной температурой. Корреляция находится в зоне погрешности (–0,06).

2. В некоторой зависимости от пола участников эксперимента находится время переходного процесса, причем у юношей активность потовых желез (определяющий фактор ЭАК) выше, чем у девушек. Корреляция составляет примерно 0,2.

3. При рассмотрении влияния эмоционального фактора без учета пола обнаруживается небольшая корреляция (–0,185).

4. При рассмотрении влияния эмоционального фактора, рассчитанного отдельно для юношей и девушек, обнаруживается более высокий показатель для обеих групп: для юношей –0,5, для девушек –0,2.

Устройство WONDER сочетает в себе датчики, фиксирующие электрическую активность мозга, пульс и ЭАК. Для отслеживания эмоций два датчика ЭЭГ устанавливаются на левую лобную и правую височную области (Д1, Д2 на рис. 2). У виска расположен датчик фотоплетизмографии, работающий на отражение, для детектирования когнитивных процессов субъекта (Д3). Три датчика ЭАК для корректирующего сигнала (КД) расположены подряд по ободу устройства в области лба. В схему устройства включены аналогово-цифровой преобразователь и узел беспроводной передачи данных.

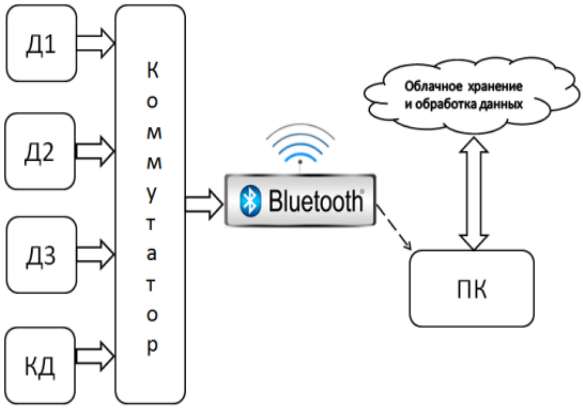



Рис. 2. Структурная схема прибора WONDER

Проведенное исследование показало, что при сборе и обработке получаемых данных необходимо учитывать в корректирующем сигнале ЭАК биологические особенности каждого участника, так как эти различия существенны и могут дать большую погрешность при анализе эмоциональной составляющей. Для этого была разработана схема прибора WONDER. Применение предложенного подхода к регистрации биологических данных позволит, не прибегая к использованию более затратных методов, повысить достоверность и качество исследований в области нейромаркетинга.

**Библиографический список**

1. Morin C. Neuromarketing: the New Science of Consumer Behavior // Society, 2011. Т. 48. № 2. Pp. 131–135.

2. Lapshina T. N. EEG Correlates of Emotion // International Journal of Psychophysiology. Vol. 61. 2006. № 3. P. 328.

3. Кубряк О. В. Восприятие сердцебиений и когнитивные аспекты кардиоритма. М.: Книжный дом «Либроком», 2010. 112 с.

4. Damasio A. Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain. Putnam Publishing. 1994.

5. Lacey J. I., Kagan J., Lacey B. C., Moss H. A. The Visceral Level: Situational Determinants and Behavioral Correlates of Autonomic Response Patterns // Expression of Emotions in Man / In P. Knapp (Ed.). NY: International Universities Press, 1963. Pp. 161–196.

6. Данилова Н. Н. Астафьев С. В. Внимание человека как специфическая связь ритмов ЭЭГ с волновыми модуляторами сердечного ритма / Н. Н. Данилова, С. В. Астафьев // Журн. высш. нервн. деят. 2000. Т. 50. Вып. 5. С. 791–804.

7. Lane R. D., McRae K., Reiman E. M., Chen K., Ahern G. L., Thayer J. F. Neural Correlates of Heart Rate Variability During Emotion. Neuroimage. 2009 Jan 1; 44(1):213-22.

8. Critchley H. D., Corfield D. R., Chandler M. P., Mathias C. J., Dolan R. J. Cerebral Correlates of Autonomic Cardiovascular Arousal: a Functional Neuroimaging Investigation in Humans // J Physiol. 2000 Feb 15; 523 Pt 1:259-70.

9. Koelsch S., Remppis A., Sammler D., Jentschke S., Mietchen D., Fritz T., Bonnemeier H., Siebel W. A. A Cardiac Signature of Emotionality // Eur J Neurosci. 2007 Dec; 26(11):3328-38.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

## Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы

**УДК 621.383**

***Б. К. Акопян***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***О. О. Жаринов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА МУЛЬТИКАНАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ С ПЕРЕДАЧЕЙ ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

Системы цифровой связи с передачей информации по оптическому каналу чувствительны к уровню внешней освещенности [1, 2]. При изменениях уровня внешней освещенности фотоприемника возникают помехи, приводящие к ошибкам при декодировании информационного сигнала. Улучшить показатели качества системы связи с передачей информации по оптическому каналу можно за счет применения более быстродействующих оптоэлектронных элементов и использования помехоустойчивых методов обработки сигнала на приемной стороне. Кроме этого, перспективным представляется использование принципа многоканальной передачи.

Чтобы ослабить негативное влияние помех, в цифровых системах связи прибегают к избыточному кодированию, которое характеризуется высокой устойчивостью к помехам различного рода. Одним из вариантов может быть представление «0» и «1» в виде противоположных кодовых комбинаций. При разработке за «0» принята комбинация 01, а за «1» – 10. Недостаток избыточного кодирования заключается в том, что скорость передачи снижается пропорционально увеличению длительности сигнала, соответствующего одному биту.

Методом дополнительного улучшения является такая реализация оптической связи, при которой передача символов кодовой комбинации значения «0» и «1» осуществляется параллельно. Для этого необходимо иметь несколько независимых каналов. Одним из наиболее распространенных методов организации мультиканальных систем является частотное разделение, при котором каждому каналу выделяется определенный диапазон частот [3]. В применении к оптическим каналам передачи принцип частотного разделения каналов можно преобразовать в передачу излучения с длиной волны λ по каждому каналу. На рис. 1 представлена функциональная схема мультиканальной системы цифровой связи с передачей по оптическому каналу.

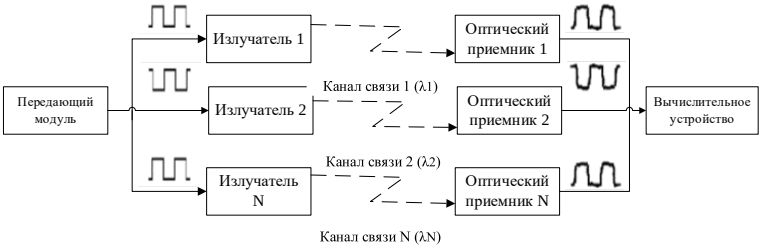



Рис. 1. Функциональная схема мультиканальной системы цифровой связи с передачей по оптическому каналу

Оптические излучатели и приемники в зависимости от длины волны излучения подразделяются на три категории: инфракрасного диапазона (ИК), видимого (ВД) и ультрафиолетового диапазонов. Каждому из них соответствуют различные длины волн. Элементная база данных диапазонов чувствительна к различным видам помех, за счет чего помехи на одном канале минимально скажутся на результатах работы остальных, что позволит уменьшить среднюю вероятность ошибки на бит.

Разработанная система является двухканальной. Для реализации оптического канала были выбраны элементы инфракрасного и видимого диапазонов оптического излучения. Канал видимого диапазона чувствителен к освещенности, но индифферентен к тепловому излучению, а качество работы ИК-канала практически не зависит от уровня внешней освещенности. В таком случае осуществляется эффективное совместное использование возможностей элементной базы ИК- и видимого диапазонов. Оптический канал системы реализован на двух оптопарах: в роли излучателей выступают излучающие диоды, в роли фотоприемников – фотодиоды соответствующего диапазона излучения. Преимущество фотодиодов как приемников перед фоторезисторами, использовавшимися в [1], заключается в высокой скорости срабатывания фоточувствительного элемента.

Для ИК-канала использована пара из излучающего ИК-диода серии АЛ107А с длиной волны излучения 800–900 нм и фотодиода ФД263. Для ВД-канала использована пара светодиода с длиной волны 450–500 нм и фотодиода BPW21R. Высокое быстродействие выбранных фотодиодов [4, 5] позволит избежать затягивания фронтов импульсов.

Поскольку разработанный прототип предназначен для исследования передачи на расстояние, то в отличие от [1] в данной системе передающий модуль и вычислительное устройство разделены на два модуля (рис. 2). В качестве основы для приемопередающего модуля макетного прототипа используется плата с программируемым микроконтроллером *Arduino Uno* – популярная платформа любительской и образовательной электроники. На рис. 3 представлен внешний вид оптического канала макетного прототипа.

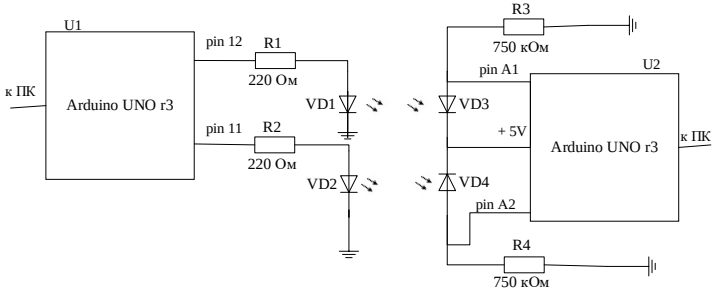



Рис. 2. Электрическая схема двухканальной системы цифровой связи с передачей по оптическому каналу

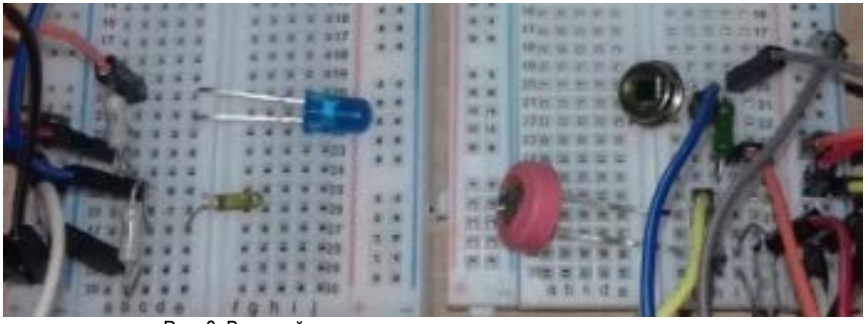


Рис. 3. Внешний вид оптического канала макетного прототипа

Программная реализация вычислительного устройства модуля осуществляется аналогично [1], с той лишь разницей, что поскольку передача осуществляется по двум каналам, обработка происходит с использованием двух пороговых значений – по одному на каждый канал. Дополнительные параметры, характеризующие тепловые или световые свойства внешнего освещения, позволят учесть интенсивность помех в каждом канале, что даст возможность выбрать канал, информация в котором более достоверна. Таким образом осуществляется комплексирование решающего правила.

Передача первого символа кодовой комбинации значения бита осуществляется по каналу ВД, а второго – по ИК. Алгоритм обработки включает в себя три этапа: настройка пороговых значений для каждого канала, обработка принимаемых сигналов по решающему правилу [1] и обработка полученных кодовых комбинаций. Стоит отметить, что поскольку в данной работе за «0» принята комбинация 01, а за «1» – 10, то «1» калибруется при выключенном ИК-излучателе и включенном световом излучателе, а «0» – наоборот. Это позволит учесть возможное взаимодействие каналов при работе устройства.

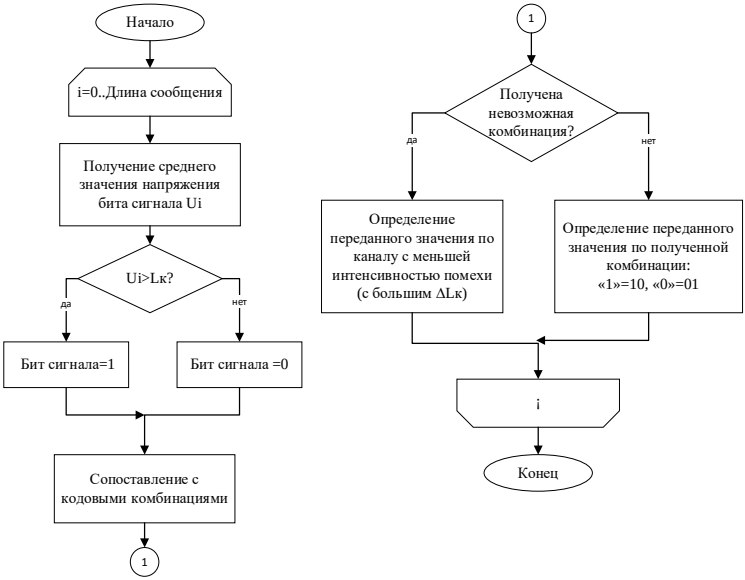



Рис. 4. Алгоритм обработки сигналов в канале

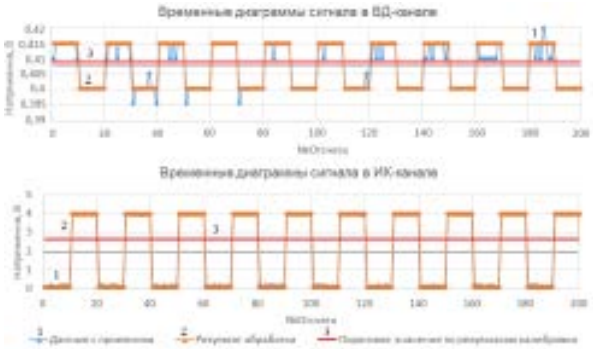



Рис. 5. Временные диаграммы принимаемого сигнала в ИК-канале и ВД-канале по результатам тестирования

На рис. 5 представлены временные диаграммы принимаемого сигнала в ИК-канале и ВД-канале по результатам тестирования. Видно, что, несмотря на присутствие внешних помех преимущественно светового характера, обработка осуществляется верно. Также следует отметить, что за счет высокого быстродействия фотоприемников не наблюдается затягивания фронтов импульсов.

В результате проведенной работы выявлено, что сочетание мультиканальной связи и избыточного кодирования данных обеспечивает высокую устойчивость к помехам без понижения скорости передачи пропорционально увеличению длительности сигнала, соответствующего одному биту. Средняя вероятность ошибки на бит составила $10^{-5}$.

При дальнейшем усовершенствовании возможна реализация многоканальной системы на основе излучателей и приемников разных длин волн в пределах одного диапазона излучения.

**Библиографический список**

1. Акопян Б. К. Разработка макетного прототипа систем цифровой связи с передачей по оптическому каналу / Б. К. Акопян, А. В. Городецкая // 70-я междунар. студ. науч. конф. ГУАП: сб. докл. В 4 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2017. С. 7–10.

2. Акопян Б. К. Исследование методов обработки сигнала в приемнике системы цифровой связи с передачей по оптическому каналу / Б. К. Акопян, А. В. Городецкая // 70-я междунар. студ. науч. конф. ГУАП: сб. докл. В 4 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2017. С. 3–6.

3. Васильев К. К. Теория электрической связи: учеб. пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, А. Г. Нестеренко; под общ. ред. К. К. Васильева. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 452 с.

4. ФД-263. Современные кремниевые диоды. URL: http://www.diagram.com.ua/list/sprav/sprav203.shtml.

5. BPW21R – Vishay.com. URL: https://www.vishay.com/docs/81519/bpw21r.pdf.

**УДК 004.421.2**

***В. С. Батунов***
магистрант кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. А. Бакин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АЛГОРИТМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ *K*-МЕРОВ

Биоинформатика – быстро развивающаяся область науки, находящаяся на стыке информатики и биологии. Сборка генома является одной из важнейших задач биоинформатики, так как получение и последующий анализ генома человека и других живых существ может позволить реализовать персонифицированную медицину, выявлять наследственные заболевания и многое другое [1].

Особенностью сборки генома является то, что невозможно считать всю последовательность ДНК сразу. В результате исходная ДНК с помощью специальных методов разделяется на меньшие последовательности, которые затем считываются (*read*). Как правило, длина участка считанной ДНК примерно равна тысяче нуклеотидов. В результате секвенирования получается набор считанных последовательностей. Далее из этих наборов выбираются *k*-меры – последовательности определенной длины.

В табл. 1 представлено изображение *k*-меров длины 3 из последовательности «ACTGATCTGGCTGAC». Вся дальнейшая обработка ДНК обычно связана с обработкой получившихся *k*-меров.

*Таблица 1*

Представление *k*-меров

| Исходный геном | A | C | T | G | A | T | C | T | G | G | C | T | G | A | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *k*-меры | C | C | T | | | G | C | T | | | C | T | G | | |
| | | C | T | G | | | C | T | G | | | T | G | A | |
| | | | T | G | A | | | T | G | G | | | G | A | C |
| | | | | G | A | G | | | G | G | C | | | | |
| | | | | | A | G | C | | | G | C | T | | | |

На основании имеющихся *k*-меров можно получить целиком исходную ДНК, а также *k*-меры помогают находить повторяющиеся участки ДНК, представляющие для ученых большую ценность. По участкам с множеством повторов *k*-меров можно найти похожие или повторяющиеся геномы, при этом геном может начать выполнять другую функцию в организме и его изучение помогает лучше понять все механизмы молекулярной биологии.

Одним из методов обработки *k*-меров является подсчет количества повторений определенной последовательности в ДНК. Данную операцию можно реализовать по-разному, и одним из методов является сортировка массива всех *k*-меров, таким образом, все повторяющиеся *k*-меры окажутся в массиве рядом.

Сведя задачу к сортировке массива, необходимо выбрать подходящий алгоритм. Как правило, наиболее оптимальным решением является алгоритм быстрой сортировки со средним временем $O(n \cdot \log(n))$ [2]. Но при применении данного алгоритма на практике выясняется, что для сортировки больших массивов (более 1 млрд элементов) требуется слишком много времени (примерно 15 минут), а как правило, исследуемые организмы имеют ДНК в разы больше (например, в ДНК человека 3,1 млрд элементов). При этом данную операцию может потребоваться выполнять множество раз.

Как известно, алгоритм быстрой сортировки имеет среднее время выполнения $O(n \cdot \log(n))$, в худшем случае оно будет равно $O(n^2)$. Допустив, что в случае сортировки *k*-меров данный алгоритм является не самым оптимальным, можно попробовать другой алгоритм со временем $O(n \cdot \log(n))$ – сортировка слиянием [3]. То есть при такой же асимптотической сложности среднее время его выполнения больше, чем у алгоритма быстрой сортировки.

В табл. 2 приведено сравнение среднего времени выполнения алгоритма быстрой сортировки и сортировки слиянием на одинаковых последовательностях различной длины.

*Таблица 2*

Сравнение алгоритмов сортировки

| Длина ДНК (млн) | *Qsort* | *Merge sort* |
|---|---|---|
| | *T*, с | |
| 16 | 9,12 | 14,16 |
| 32 | 21,22 | 29,44 |
| 64 | 48,37 | 63,59 |
| 128 | 102,97 | 167,81 |

В тоже время данные обрабатываются на серверах, или мейнфреймах, с большим количеством процессоров, которые никак не используются данными алгоритмами. Наиболее простым решением было бы распараллелить сортировку слиянием.

Однако, как видно из табл. 2, такой алгоритм примерно в полтора раза медленнее на практике. При этом число процессоров всегда значительно меньше числа параллельных процессов, на которое можно разделить сортировку слиянием. В таком случае оптимально выделять число параллельных процессов для использования всех доступных вычислительных мощностей сервера, а в каждом таком процессе применять быструю сортировку.

Таким образом, весь алгоритм можно описать следующим образом:

1) разбить сортируемый массив на *N* равных частей (где *N* – число параллельных процессов);
2) выполнить быструю сортировку каждой части;
3) объединить отсортированные части.

При этом объединять части отсортированных массивов можно следующим образом:

1. Составить вспомогательный массив из указателей на начало массива каждой части исходного массива.
2. Отсортировать список по значениям указателей.
3. Взять (с удалением) из списка первого указателя значения и записать список в ответ.
4. Если в текущем списке есть элементы – двинуть указатель на один элемент. В противном случае удалить указатель из вспомогательного списка и выполнить пункт 6.
5. Если значение первого указателя вспомогательного массива больше значения второго указателя, выполнить операцию бинарной вставки.
6. Если во вспомогательном массиве больше одного элемента, выполнить пункт 3. В противном случае записать все элементы оставшегося массива в результат.

Наглядное представление данного алгоритма изображено на рис. 1.

Реализовывать алгоритм решено на языке программирования C++ из-за его скорости, кроссплатформенности и предоставления средств управления памятью. Применив его на машине, имеющей возможность выполнять до двух параллельных процессов, удалось уменьшить время сортировки тестового массива из 128 миллионов элементов (тип данных – целочисленный, *integer*) с 102 секунд до 48 секунд, т. е. примерно в два раза. Средние результаты для других размеров тестовых массивов указаны в табл. 3.

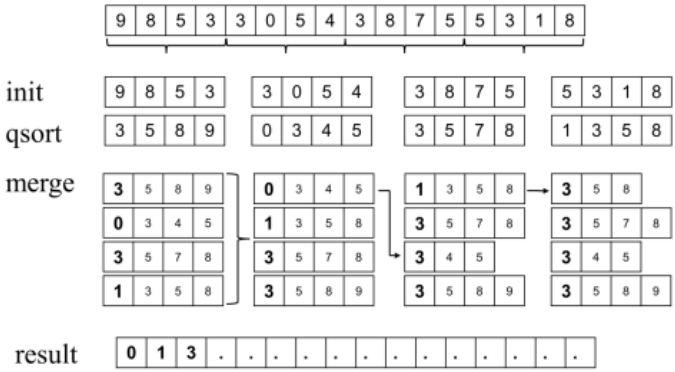



Рис. 1. Пример работы алгоритма

*Таблица 3*

Сравнение реализованного алгоритма

| Длина ДНК (млн) | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Быстрая сортировка (qsort) | 1 | 2 | 4 | 9 | 21 | 48 | 102 |
| Реализованный алгоритм (tsort) | 1 | 1 | 2 | 4 | 12 | 25 | 48 |

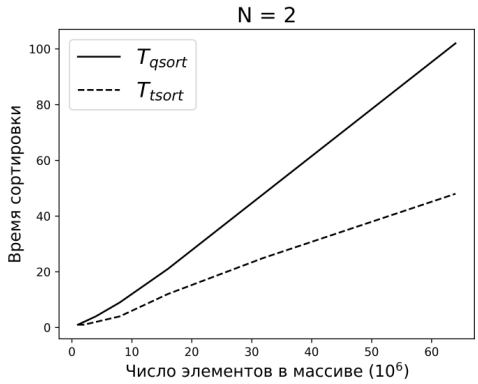



Рис. 2. График времени выполнения работы алгоритмов

На рис. 2 изображено сравнение разработанного алгоритма с алгоритмом быстрой сортировки, по которому видно, что в случае с двумя параллельными процессами среднее время сортировки уменьшилось примерно в два раза, т. е. можно говорить о том, что время сортировки уменьшается пропорционально числу используемых процессоров.

**Библиографический список**

1. Стефанов В. Е. Биоинформатика: учебник для академического бакалавриата / В. Е. Стефанов, А. А. Тулуб, Г. Р. Мавропуло-Столяренко. М.: Юрайт, 2018. 252 с.

2. Седжвик Р. Алгоритмы на C++ / Пер. с англ. А. Моргунов. СПб.: Вильямс, 2017. 1056 с.

3. Хайнеман Д. Алгоритмы: справ. с примерами на C, C++, Java и Python / Д. Хайнеман, Г. Поллис, С. Селков; пер. с англ. И. Красиков. СПб.: Вильямс, 2017. 432 с.

**УДК 004.62**

***В. В. Боженко, А. Н. Игошин***
магистранты кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Г. С. Евсеев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Актуальной задачей медицинских учреждений является проведение статистических исследований различного рода. Статистика в медицине – это инструмент анализа экспериментальных данных и клинических наблюдений. Применяется для выявления закономерностей, решения различных классификационных задач. Использование статистики позволяет формировать выводы на основе полученной информации и обосновывать решения в случае неоднозначности [1].

Для корректного проведения исследований необходимо, чтобы данные, которые используются для анализа, были приведены к одному типу, то есть нельзя одновременно вносить в столбец и текстовые, и числовые значения. Однако в обычной работе врачи склонны допускать различные ошибки, сокращать названия лекарств или болезней. Это проблема, с которой можно столкнуться при автоматизации статистических исследований, поэтому необходимо исходные разрозненные данные привести к виду, пригодному для анализа.

Например, с ошибками предлагается бороться с помощью кластеризации различных терминов, при этом необходимо определить меру похожести, с помощью которой можно обнаружить наиболее похожие слова. В простейшем случае такой мерой может быть расстояние Левенштейна. Однако оно способно выявить только одиночные выпадения, вставки и замены символов между двумя словами. Для более сложных ошибок необходимо использовать модификации данного расстояния, например аффинные штрафы за разрыв.

Стоит учитывать, что для автоматизации исследований необходимо создать информационную систему с несколькими ролями: врач, который может проводить исследования различного типа и просматривать их, а также супервайзер, который может также просматривать исследования других пользователей и добавлять новых пользователей.

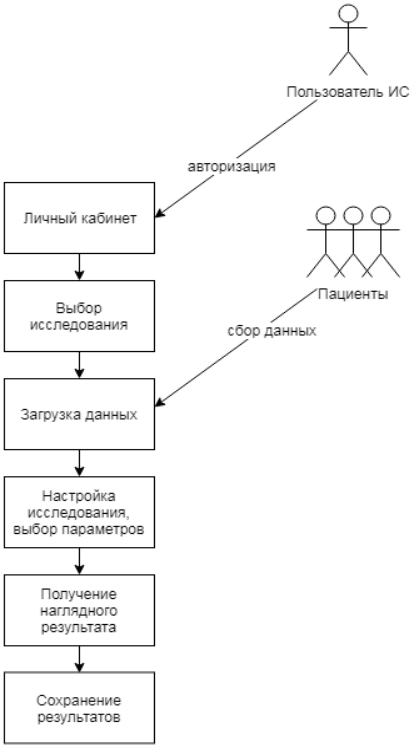
При этом каждому пользователю необходимо предоставить возможность проведения нескольких типов исследований, которые заранее известны. Пользователю лишь необходимо выбрать тип исследования и загрузить файл с нужными данными (таблицу), отфильтровать его и произвести нужный анализ. Данные, которые пользователь загружает, могут быть получены им в ходе работы за какой-то период времени.

Важной задачей является удобное представление полученных результатов исследования. Поэтому стоит учитывать, что результаты могут быть представлены в различной форме, например, в виде диаграммы (линейной, столбиковой, секторной, ленточной), гистограммы или таблицы. При необходимости эти результаты можно сохранить в своем личном кабинете. Для автоматизации исследований необходимо предусмотреть различные формы отображения результатов анализа, наиболее удобные для пользователя.

На рисунке представлена общая схема взаимодействия с информационной системой для автоматизации статистических исследований.

В общем случае исследования делят на два вида:

- Проспективное исследование – исследование, в котором выборки выделяются на основе исходного фактора, а анализируется в них некоторый результирующий фактор. Это наблюдение за группой больных в течение длительного времени, до наступления исхода (клинически значимого события, которое служит объектом интереса исследователя: ремиссия, ответ на лечение, рецидив, летальный исход). При проведении клинических испытаний исходы служат критериями оценки эффективности лечебного или профилактического воздействия. Такое исследование является самым достоверным.
- Ретроспективное исследование – исследование, в котором выборки выделяются на основе результирующего фактора, а анализируется в них некоторый исходный фактор [2].




Общая схема работы с информационной системой

Стоит также отметить, что для реализации данной информационной системы целесообразно использовать язык программирования R, предназначенный для статистической обработки данных и работы с графикой. Широкое преподавание статистики на базе пакетов этой среды и всемерная поддержка научным сообществом обусловили то, что приведение скриптов R постепенно становится общепризнанным стандартом как в журнальных публикациях, так и при неформальном общении ученых всего мира.

Этот язык поддерживает множество статистических и численных методов, обладает хорошей расширяемостью с помощью пакетов. Кроме того, одной из особенностей языка является поддержка графических возможностей, которая позволяет визуализировать данные в виде различных графиков и диаграмм.

Также в языке R есть возможность создания графического интерфейса пользователя и возможность соединения с базой данных. Это позволяет создать полноценную информационную систему для автоматизации медицинских исследований.

Грамотное проведение медицинских исследований очень важно для обеспечения наилучших результатов, поэтому информационная система, предназначенная для автоматизации, способна помочь сократить время исследования и уменьшить ошибки, связанные с его проведением.

**Библиографический список**

1. Пэтри А. Наглядная статистика в медицине / А. Пэтри, К. Сэбин; пер. с англ. В. П. Леонова. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2003. 144 с.

2. Юнкеров В. И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В. И. Юнкеров, С. Е. Григорьев. СПб.: ВМедА, 2002. 266 с.

**УДК 519.876.5**

***А. Ф. Виноградов, А. С. Клеченов***
студенты кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. П. Виноградова***
научный руководитель

## ЦИФРОВАЯ ИМИТАЦИЯ ЗВУКА МАГНИТНОЙ ФОНОГРАММЫ

Восприятие тембра звучания в значительной мере связано с нелинейностью слуха человека, в частности с нелинейностью передаточной функции барабанной перепонки и среднего уха. Каждое человеческое ухо уникально. Но большинство людей легко различит звуки, издаваемые с помощью цифровых инструментов и специализированных программ, и звуки скрипки, фортепиано, виолончели и других музыкальных инструментов.

В первую очередь живой звук отличается от синтезированного наличием искажений, как правило высокочастотных. Поэтому перед современными цифровыми программными продуктами ставится задача имитации этих самых искажений для придания компьютерным звукам эффекта живой, «теплой» музыки, а также имитации работы устройств, позволяющих сохранить весь спектр аналогового звучания. В качестве примера можно рассмотреть задачу имитации воспроизведения записи с магнитной фонограммы – звукового сэмпла, записанного на ленту магнитофона [1].

При использовании высокочастотного подмагничивания статическая характеристика магнитных лент, определяющая зависимость между напряженностью магнитного поля *H* и остаточной намагниченностью *Mr*, из-за эффекта насыщения магнитных лент совершенно симметрична относительно оси напряженности магнитного поля.

Другой ее важной особенностью является то, что как при положительной, так и при отрицательной намагниченности с приближением напряженности магнитного поля к значению, близкому к насыщению, крутизна намагничивания уменьшается очень плавно. Благодаря этому при записи с высоким уровнем уже компрессированного звукового сигнала происходит дополнительная компрессия за счет эффекта насыщения, благодаря которой пик-фактор фонограммы уменьшается. В результате фонограмма, записанная на аналоговой магнитной ленте, имеет значительно более высокий уровень громкости, чем аналогичная фонограмма на цифровой ленте.

При магнитной записи из-за существенной нелинейности передаточной функции при больших уровнях записи возникают достаточно сильные нелинейные искажения (до 3%), которые придают звуку очень приятную тембральную окраску, и это очень нравится звукорежиссерам. Именно поэтому до настоящего времени в студийной звукозаписи широко используются аналоговые многоканальные студийные магнитофоны. В большинстве случаев компакт диски изготавливались также с аналоговых магнитных мастер-лент.

При симметричной относительно оси времени передаточной функции из-за ее нелинейности возникают только нечетные гармоники, причем они очень быстро затухают. Сигнал с магнитной фонограммы синусоидального колебания может быть описан равенством

$$U(t) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_{\max}}{a} \cdot (\sin\alpha \cdot \sin\omega t + \frac{1}{3^2} \sin 3\alpha \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{5^2} \sin 5\alpha \cdot \sin 5\omega t + ...), \quad (1)$$

где параметр *a* определяется отношением длительности времени отсечки к периоду звукового сигнала.

Из этой формулы следует, что гармоники уменьшаются очень быстро по квадратичному закону, обратно пропорционально их номеру. Изменяя параметр $\alpha$, можно устанавливать различную степень насыщения. В зависимости от него автоматически меняются уровни гармоник и форма сигнала. Значения всех этих параметров уточняются по характеру звучания – нравится или нет. На рис. 1 проиллюстрирован график статической характеристики:

Цифровые имитаторы насыщения магнитной ленты строятся на основе моделирования статической характеристики [1]. Для примера рассмотрим вначале тестовый однотональный гармонический сигнал, применив к нему выбранную математическую модель обработки (рис. 1).

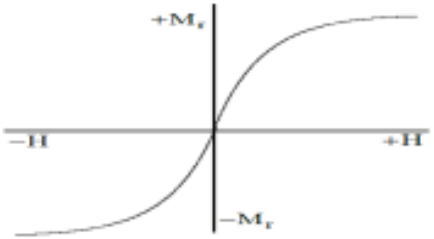



Рис. 1. Статическая характеристика

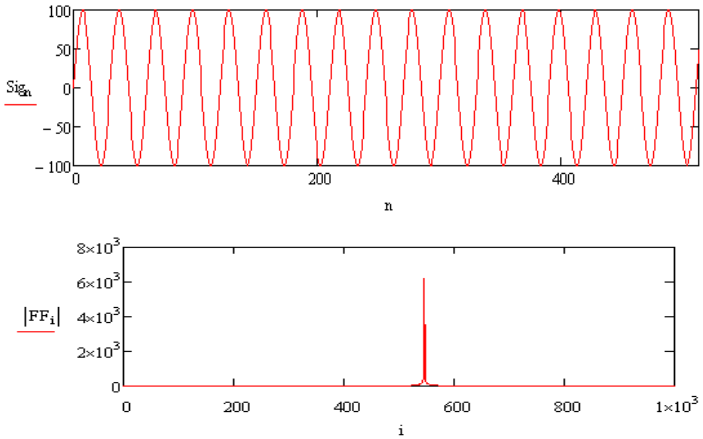



Рис. 2. Тестовый однотональный гармонический сигнал и его спектр

Можно показать [1], что в качестве такой математической модели, соответствующей формуле (1), уместно использовать полупериод синусоиды с участком насыщения (рис. 3).

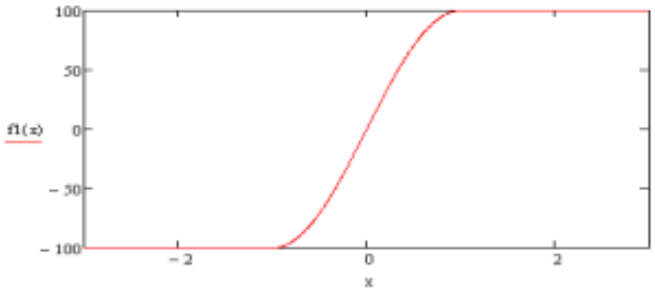



Рис. 3. Модель статической характеристики

Преобразованный сигнал и его спектр приводятся на рис. 4. Как видно из рисунка, в спектре действительно присутствуют только нечетные гармоники, причем их амплитуда довольно быстро затухает.

Убедившись в работоспособности алгоритма на простом примере, применим его к звуковому файлу, записанному с помощью компьютерной программы. Для этого разложим стереодорожку на два канала – левый и правый соответственно (рис. 5).

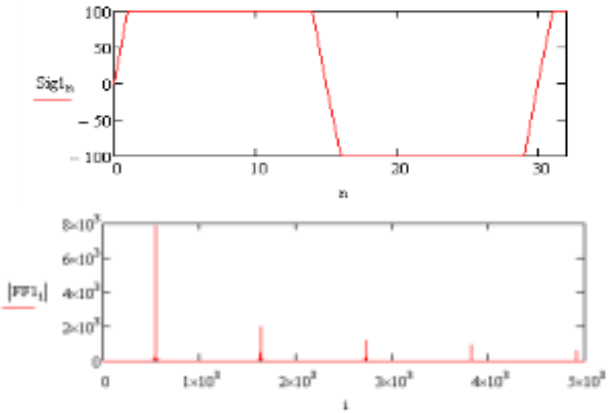



Рис. 4. Выходной сигнал и его спектр

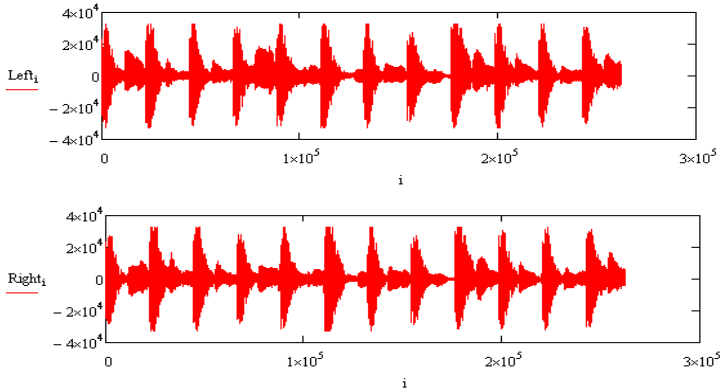



Рис. 5. Разложение стереосигнала на левый и правый каналы

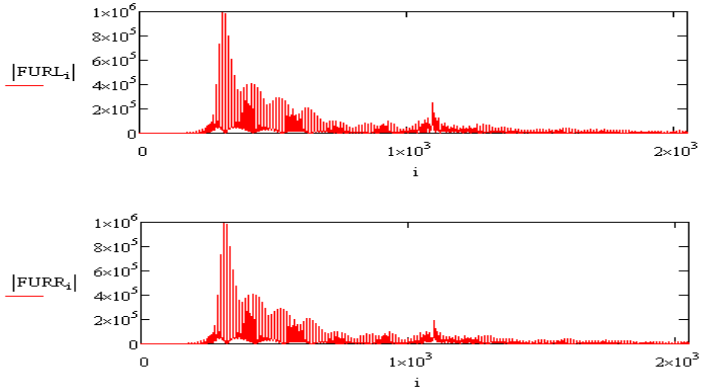



Рис. 6. Спектры стереосигнала левого и правого каналов

Спектры сигналов для левого и правого каналов приводятся на рис. 6.

Модель статической характеристики магнитной ленты проиллюстрирована на рис. 7.

Теперь применим к рассматриваемым сигналам алгоритм поканальной обработки данных. На рис. 8 приводится пример для левого канала.

Результат обработки левого и правого канала приводится на рис. 9.

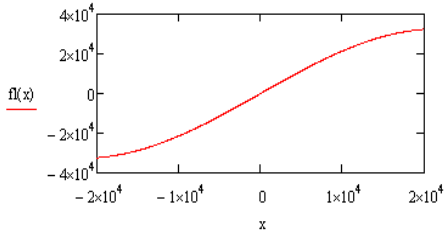



Рис. 7. Статическая характеристика магнитной ленты

$$N1 := \text{last}(Left)$$

$$d := \frac{\pi \cdot 4}{1.764 \times 10^5}$$

$$maximuml := \max(Left)$$

$$fl(x) := \begin{cases} maximuml \cdot \sin(d \cdot x) & \text{if } |d \cdot x| \le \frac{\pi}{2} \\ -maximuml & \text{if } d \cdot x < \frac{-\pi}{2} \\ maximuml & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$n := 0 .. N1$$

$$Left1_n := fl(Left_n)$$

Рис. 8. Пример выполнения в среде MathCAD алгоритма поканальной обработки сигнала для левого канала

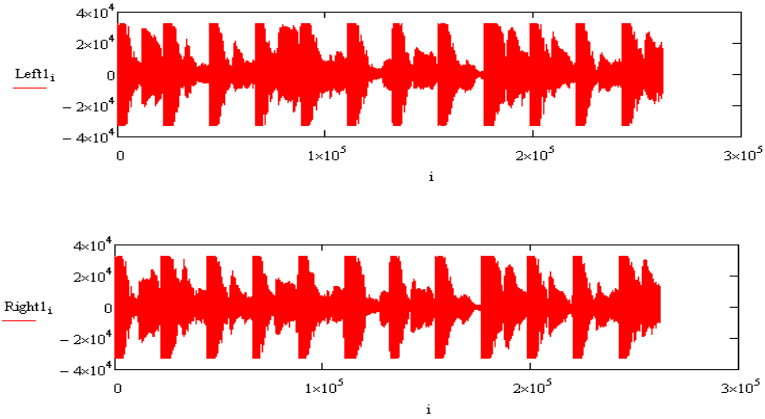



Рис. 9. Преобразованный сигнал (левый и правый каналы соответственно)

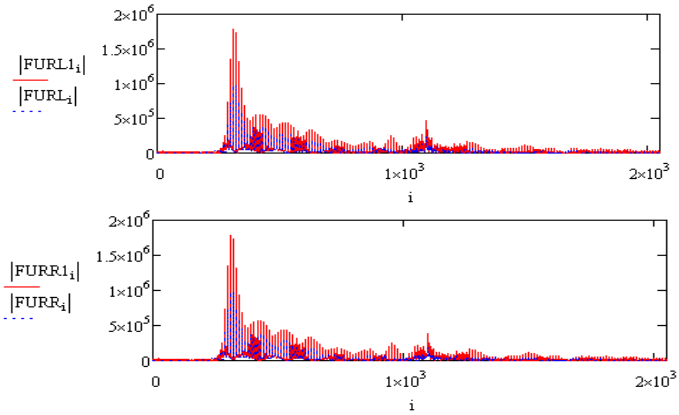



Рис. 10. Спектры сигналов до и после преобразования

Спектры входного и выходного сигналов для каждого из каналов приводятся на рис. 10.

Моделирование в среде MathCAD [2] позволяет математически описать работу цифровых имитаторов звука магнитной ленты – сатураторов. Удобство работы со звуковыми файлами дает возможность наглядно проиллюстрировать результаты работы таких устройств. Изменение параметров математической модели (в частности, параметра *d*) позволяет изменить величину и характер нелинейных искажений, делая звук более приятным для слухового восприятия.

**Библиографический список**

1. Вологдин Э. И. Методы и алгоритмы обработки звуковых сигналов. СПб.: Корона, 2012. 96 с.
2. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad. СПб.: Питер, 2015. 448 с.

**УДК 004.357**

***С. М. Герасимов***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. П. Виноградова***
научный руководитель

## МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ *ARDUINO*

Устройства голосового управления применяются в разных сферах деятельности человека. Они используются в системах «умный дом», в робототехнике, где выступают в роли «рецепторов слуха» роботов, на бортовых компьютерах и даже на смартфонах – в качестве голосового помощника. В большинстве своем эти приборы созданы для того, чтобы человек мог взаимодействовать с техникой дистанционно, не контактируя с ней напрямую.

Основной задачей при реализации таких устройств является выбор используемого метода голосового управления.

Для решения поставленной задачи необходимо проанализировать несколько методов, чтобы выбрать наиболее подходящий из них.

Поскольку это направление начало развиваться сравнительно недавно, конкретных классификаций для устройств распознавания речи пока не сформулировано. Поэтому была составлена условная классификация по трем признакам, которая представлена на рис. 1.

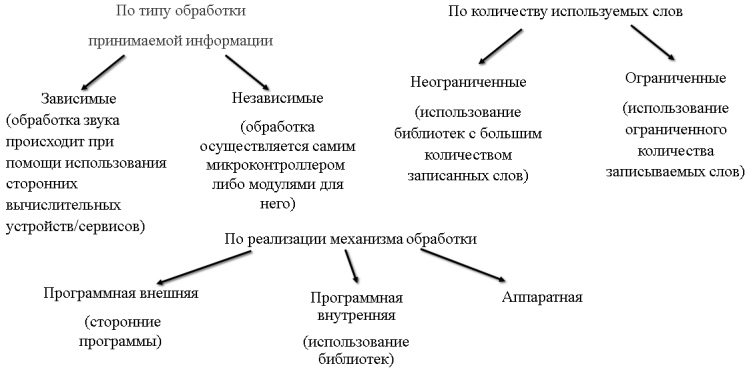



Рис. 1. Условная классификация устройств распознавания голоса

По типу обработки принимаемой информации устройства распознавания голоса делятся на два вида: одни являются зависимыми и требуют использования сторонних вычислительных устройств/сервисов для обработки звука, другие – независимыми, в них обработка осуществляется самим микроконтроллером либо его модулями.

По количеству используемых слов деление происходит на устройства с неограниченным и ограниченным набором слов. В первом случае используются голосовые библиотеки, во втором слова записываются вручную в ограниченном количестве.

Последний признак – реализация механизма обработки. Существуют программная внешняя и внутренняя реализации и аппаратная реализация.

На основе последней классификации рассмотрено три метода распознавания голоса.

*BitVoicer* – приложение для распознавания речи, которое позволяет простым устройствам с низкой вычислительной мощностью пользоваться голосовым управлением. Для этого *BitVoicer* использует обработку посредством ПК для анализа аудиопотоков, определения предложений, присутствующих в этих потоках, и отправки команд подключенному к нему микроконтроллеру [1].

Достоинства *BitVoicer*:

- обработка звука, захваченного микроконтроллером или аудиоадаптером компьютера;
- поддержка около 18 языков, в том числе русского;
- неограниченное количество команд и предложений;
- интерфейс USB / Serial или TCP / IP;
- графический интерфейс «все в одном». Используя одно окно, можно разработать голосовые схемы, настроить команды, следить за коммуникационной деятельностью и статусом распознавания речи (рис. 2).

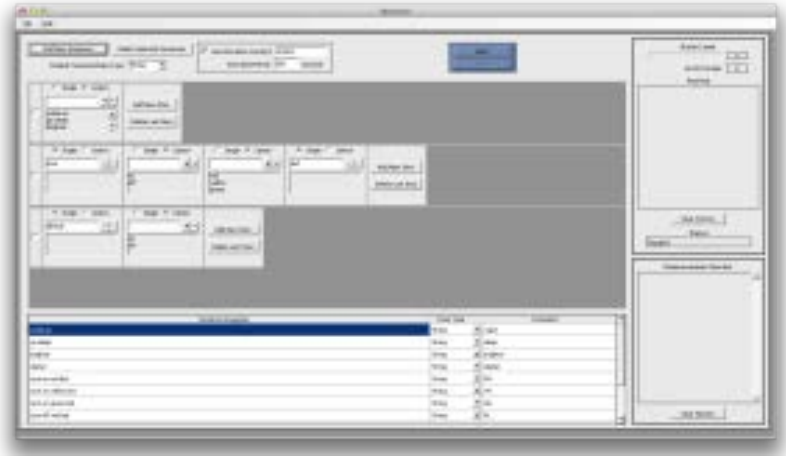


Рис. 2. Графический интерфейс программы *BitVoicer*

*BitVoicer* – это хорошо известное приложение, в котором многие пользователи и примеры доступны в Интернете, что облегчает обучение начинающих и студентов, заинтересованных в первом контакте с технологиями распознавания речи.

Недостатки *BitVoicer*:

- отсутствие бесплатной версии;
- продукт работает исключительно на операционной системе *Windows*, что исключает его использование на множестве устройств.

Аппаратным решением является ELECHOUSE *Voice Recognition Module*. Это устройство представляет собой модуль для голосового управления. Позволяет записывать до 80 слов (до 1,5 с каждое) и комбинировать до семи слов единовременно [2]. Запись происходит непосредственно в *Arduino* IDE. Имеет два способа управления: через последовательный порт и через интерфейс ввода/вывода общего назначения (UART / GPIO).

Достоинства ELECHOUSE *Voice Recognition Module*:

- не требуется ПК в качестве основной вычислительной мощи;
- высокая точность распознавания: 99% (в идеальных условиях);
- возможность записи и перезаписи через основную среду программирования *Arduino* – *Arduino* IDE.

Недостатки ELECHOUSE *Voice Recognition Module*:

- ограниченный набор команд;
- длительный процесс обучения;
- необходимость перепрошивать устройство для записи новых фраз.

*Speechto Text Library for Java / Processing* – библиотека распознавания речи на основе веб-службы *Google*, которая позволяет осуществлять голосовой ввод в поля HTML5 в *Google Chrome* [3].

Библиотека прослушивает вход микрофона с компьютера или платы и отправляет запись голоса в *Google* для дальнейшей обработки. Если запись прошла успешно, то результат отправляется в *Arduino* IDE.

Достоинства:

- решение сразу для всех операционных систем, так как написано приложение на языке *GoogleSpeech* API;
- отслеживание голоса человека в условиях реального времени;
- указание порога громкости;
- подключение микрофонов внешнего типа;
- установка языка распознавания речи.

Недостатки:

- невозможность обработки больше 50 запросов за 24 часа;
- необходимость использования ПК с интернет-соединением для запроса в *Google*, либо Wi-Fi-модуля для удаленного доступа к сервису.

В заключение нужно отметить, что рассмотренные методы применимы не только к *Arduino*. Существуют аналогичные способы распознавания голоса для множеств видов микроконтроллеров, которые можно использовать в промышленных масштабах.

Помимо рассмотренных методов существует еще множество подходов к распознаванию голоса через устройства, программы и библиотеки.

Выбор метода зависит в первую очередь от потребностей и ресурсов. Если устройство не имеет постоянного доступа к более мощным вычислительным устройствам вроде ПК, то целесообразно использовать модули распознавания голоса. Если есть постоянное соединение с Интернетом, как это обычно реализуется в системах «Умный дом», имеет смысл использовать библиотеки наподобие *Speech to Text Library for Java/Processing*.

**Библиографический список**

1. Bitvoicer. URL: http://www.bitsophia.com/en-US/BitVoicer/Overview.aspx.

2. Voice Recognition Module V3: техническая спецификация. URL: https://www.elechouse.com/elechouse/images/product/VR3/VR3_manual.pdf.

3. Speech to Text Library for Java/Processing. URL: http://florianschulz.info/stt.

**УДК 621.3.087**

***А. В. Городецкая***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***О. А. Кононов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСЛОВИЙ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Одним из направлений научной организации труда является совершенствование условий труда – составляющих внешней среды, окружающих работника. Так как факторы среды оказывают существенное влияние на работоспособность человека и состояние его здоровья, то перед научной организацией труда в первую очередь стоит задача снижения степени опасности существующих на рабочем месте условий труда. Решение поставленной задачи сводится к установлению контроля соблюдения нормативов, регулирующих условия труда и созданию разнопланового производственного климата, который способствовал бы эффективной работе и снижал нагрузку на здоровье человека.

Физические факторы внешней среды, оказывающие наибольшее влияние на состояние здоровья работника:

- температура, влажность, запыленность и загрязненность воздуха;
- производственный шум и вибрации;
- освещенность и окраска помещений [1].

В связи с тенденцией автоматизации производства решение задачи контроля условий труда на рабочем месте может быть достигнуто с помощью электронных систем датчиков на базе микроконтроллеров (МК).

В составе модуля системы контроля условий должны присутствовать измерители (датчики) физических факторов окружающей среды, таймер для регуляризации опроса датчиков, вычислительное устройство, обрабатывающее полученные данные, система индикаторов, показывающих степень опасности условий труда на данном рабочем месте, и дисплей, отображающий необходимую информацию для пользователя на основе данных, считанных с датчиков.

Структурная схема такой системы выполнена в виде блок-схемы и представлена на рис. 1.

Рис. 1. Структурная схема системы контроля условий на рабочем месте

Экспериментальный макет предложенной системы реализован на базе отладочной платы STM32F4Discovery; блок датчиков включает в себя цифровой датчик влажности и температуры DHT22, фоторезистор; блок индикаторов состоит из трех светодиодов (зеленого, оранжевого и красного) и LCD-дисплея. В данном случае рассматривается простейший случай контроля условий на рабочем месте дома или в офисе, где не предполагается воздействие специфических факторов (например, ядовитых испарений, запыленности или сильных производственных вибраций).

Микроконтроллер опрашивает датчики, подключенные к его выводам, в соответствии с установленным временем таймера, которое зависит от степени опасности длительного воздействия условий, выходящих за рамки норм; для получения данных с фоторезистора используется встроенный в МК аналого-цифровой преобразователь. Далее микроконтроллер преобразует полученные данные к виду, удобному для последующей обработки, и производит проверку допустимости выявленных условий труда, сравнивая полученные данные с номинальными интервалами, установленными нормами СанПиН [2]. Система оснащена блоком индикации, поэтому на следующем этапе МК включает нужный светодиод в зависимости от полученных данных (зеленый – значение находится в допустимом интервале, оранжевый – значение близко к критическому, красный – недопустимое значение) и выводит соответствующую информацию на дисплей для оперативного оповещения работников.

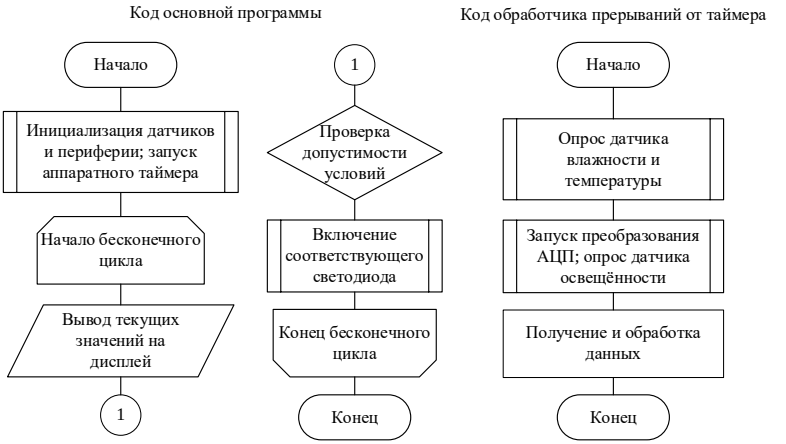



Рис. 2. Алгоритм работы системы

Алгоритм работы экспериментального модуля системы контроля условий, выполненный в виде блок-схемы, представлен на рис. 2.

По результатам работы экспериментального макета можно судить о состоянии рабочего места и принять меры по улучшению условий труда. Тесты при различных условиях окружающей среды показали, что система работает в соответствии с поставленными задачами и пригодна к использованию.

Исследование влияния различных условий (в том числе и специфических) на здоровье работника, а также изучение действующих схем аттестации рабочих мест на предприятиях выявили несколько путей развития для предложенной системы:

- увеличение числа датчиков, направленных на детектирование появления особо опасных факторов, связанных с местоположением или производственными особенностями предприятия;
- расширение и усовершенствование блока индикации, предполагающее раздельную индикацию каждого фактора среды или же отображение персональной информации для работников, основанной на базе данных об их состоянии здоровья;
- построение многомодульной системы, охватывающей все производство, со связью отдельных рабочих мест в единую базу данных, хранящую информацию о состоянии условий на них за определенный промежуток времени;
- дальнейшая автоматизация системы: задействование модулей, предназначенных для удержания условий среды в установленных интервалах и оперативного удаления опасных факторов без вмешательства работников.

**Библиографический список**

1. Ефремова О. С. Аттестация рабочих мест по условиям труда в организациях. Рекомендации и нормативные документы / О. С. Ефремова. М: Альфа-Пресс, 2012. 408 с.

2. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». URL: http://www.vashdom.ru/sanpin/224548-96.

**УДК 629.735.33**

***К. Д. Жук***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. А. Бакин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ФРАЗ

Стремительное развитие информационных технологий, за последние несколько лет приводит к тому, что начинают накапливаться большие объемы цифровой информации, требующие своевременной обработки, зачастую в реальном времени. Одним из таких направлений является компьютерная лингвистика, которая решает множество задач, в частности, занимается классификацией текстов [1]. Обработка текстов осуществляется с использованием многих языков программирования, однако одним из наиболее популярных является *Python*. Он содержит широкий спектр библиотек машинного обучения [2], с помощью которых реализуются алгоритмы классификации текстов [3].

Однако прежде чем приступать к обучению построенного классификатора, исходный текст необходимо обработать. Очевидным и самым простым решением является удаление всех знаков препинания, цифр и других знаков, не входящие в состав русского алфавита, то есть должны остаться только буквы, которые необходимо привести к нижнему регистру для дальнейшей работы. Далее, одним из способов обработки является удаление стоп-слов. Такие слова присутствуют в каждом тексте – это предлоги, союзы и союзные слова. При использовании некоторых методов они не несут смысловой нагрузки и лишь ухудшают точность классификации.

Другой метод предобработки текстовой информации – это лемматизация, т. е. приведение слова к его нормальной форме. Например, для глагола «работаем» леммой будет слово «работать». И так для каждого слова в исходном тексте. В результате получаем обработанный текст, каждое слово которого приведено к словарной форме.

Еще одним из наиболее распространенных методов является стемминг, который находит другие слова в тексте, схожие по основе с исходным словом.

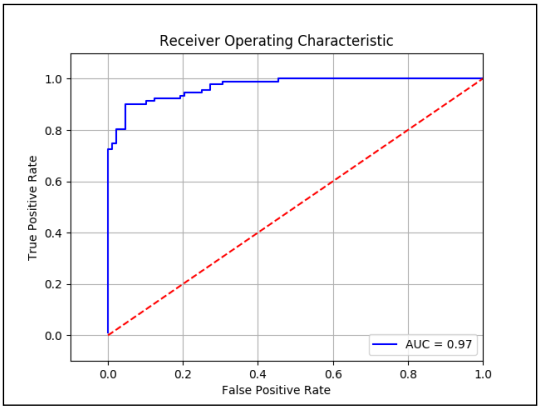
После того как текст прошел предварительную обработку, можно приступать к следующему этапу классификации – созданию словаря [4]. Рассмотрим на примере рассказов двух авторов. Берутся несколько различных произведений одного и другого авторов, в которых происходит поиск уникальных слов. Данные слова записываются в некоторый массив и сохраняются. Далее происходит выбор классифицируемого произведения, не принимающего участия в создании словаря. Классификатор на вход принимает два числовых вектора, один из которых является вектором признаков, а второй показывает, к какому объекту относится данный вектор. Поскольку исходное произведение имеет текстовый формат, необходимо его перевести в числовой. Весь текст разбивается на блоки по сто слов, далее берется созданный словарь и считается для каждого его элемента количество вхождений для одного блока. Таким образом, получается массив числовых векторов, полученных из текста произведения.

Выбор классификатора однозначно определить сложно, поэтому каждый из них необходимо обучить и затем выбрать тот, который покажет наиболее точный результат. Оценка бинарного классификатора осуществляется с помощью ROC-кривой (см. рисунок), которая показывает соотношение верно классифицированных объектов к ошибочно классифицированным.

В данной работе исследовались классификаторы типа *Tree*, *Random Forest*, SVM и LR. Лучшим по итогам экспериментов был выбран алгоритм *Random Forest*.

Полученные классификаторы можно использовать для того, чтобы определить степень похожести произведений авторов в процентном эквиваленте. Так, например, в таблице показаны результаты для некоторых пар авторов русской литературы.

Как можно заметить, степень похожести текстов довольно велика. Это связано с тем, что авторами может быть использовано схожее множество исходных слов, а поскольку при создании выборки учитывается количество вхождений каждого слова в отдельный текст, то полученные векторы признаков могут совпадать.




Пример построения ROC-кривой

*Таблица*

Результаты работы классификатора

| Первая пара авторов | | |
|---|---|---|
| Н. Гоголь | Мертвые души | 36,27% |
| М. Булгаков | Мастер и Маргарита | |
| Вторая пара авторов | | |
| Л. Толстой | Война и мир | 43,89% |
| А. Пушкин | Евгений Онегин | |

Осуществление классификации текстовой информации не ограничивается рассмотренными методами. В целях дальнейшей работы по этой теме отдельное внимание стоит уделить рекуррентным нейронным сетям, которые способны показывать неплохие результаты в области анализа текстов [5].

Выбор алгоритма для решения любых задач машинного обучения всегда является отдельной проблемой, поэтому однозначно сказать, какой из методов анализа и обработки текстовой информации покажет наилучшую оценку, сложно, это будет зависеть от многих аспектов. Но однозначно можно утверждать, что данное направление исследований актуально, поскольку все больший интерес к проблемам компьютерного анализа текстов проявляется среди крупных компаний и организаций с целью замены человеческого труда машинным.

**Библиографический список**

1. Short Text Classification with One Model for All Languages // arxiv.org. URL: https://arxiv.org/pdf/1710.09589.pdf.

2. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. NY: Springer-Verlag, 2006. 738 p.

3. Николенко С. Глубокое обучение / С. Николенко, А. Кадурин, Е. Архангельская. Питер, 2018. 481с.

4. Нечеткий поиск в тексте и словаре. URL: https://habrahabr.ru/post/114997.

5. Прохоренок Н. А. Python 3 и PyQt5. Разработка приложений / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. СПб., 2016. 189 с.

**УДК 004.023**

***С. Р. Ким***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Н. Н. Григорьева***
научный руководитель

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В настоящее время основным методом обучения нейронных сетей является метод обратного распространения ошибки, основными недостатками которого можно считать возможность паралича сети, попадания в локальный минимум.

В качестве средства настройки весовых коэффициентов искусственных нейронных сетей может быть использован генетический алгоритм. Это связано с тем обстоятельством, что на начальной стадии нет никакой информации о направлении движения в плане настройки весов матрицы. В условиях неопределенности эволюционные методы, в том числе и генетические алгоритмы, имеют наиболее высокие шансы для достижения требуемых результатов. Классический генетический алгоритм оперирует двоичной системой счисления, хотя в последнее время зачастую встречаются работы, в которых операторы генетических алгоритмов выполняют операции над множеством действительных чисел. Это позволяет существенно расширить возможности применения описываемых алгоритмов.

В рассматриваемой задаче предварительной настройки нейронной сети с помощью генетического алгоритма за основу особи была выбранная нейронная сеть со случайными весовыми коэффициентами в диапазоне [–1, 1] на всех слоях, за основу хромосомы была выбрана матрица весов нейронной сети. В качестве функции активации была принята сигмоида. Формирование первого поколения выполняется путем генерации нейронных сетей со случайными коэффициентами.

В качестве метода селекции, то есть отбора конкурентоспособных особей, которые попадают под определенные критерии, была выбрана турнирная селекция. В качестве критерия выбора была принята среднеквадратичная ошибка

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}(a_i - y_i),^2$$

где ε – среднеквадратичная ошибка, $a_i$ – ошибка на выходе от эталонного значения, $y_i$ – ошибка реального значения. Из группы выбирается особь с наименьшей среднеквадратичной ошибкой.

Наиболее важная фаза генетического алгоритма – кроссинговер – осуществлялся за счет матрицы весов, где за точку кроссинговера был взят номер строки, затем происходил обмен строками матрицы. Мутация производилась за счет выбора случайной строки и заменой в этой строке всех элементов случайными числами в диапазоне [–1, 1].

В результате проделанной работы была программно реализована нейронная сеть и генетический алгоритм, который предварительно ее настраивает; также была реализована еще одна нейронная сеть, настраиваемая классическим методом обратного распространения ошибки.

Было проведено сравнение возможностей различных алгоритмов на примере задачи распознавания изображений. При обучении сети на вход подавались эталонные значения в виде изображений цифр от 0 до 3.

Была проведена оценка скорости обучения по количеству итераций для нейронной сети с использованием метода обратного распространения ошибки и с использованием генетического алгоритма для предварительной ее настойки. Затем было проведено сравнение предварительно настроенной и не настроенной сети по скорости обучения при одинаковых количествах итераций. Для того чтобы оценить эффективность предварительной настройки нейронной сети, сравнили время исполнения кода с предварительной настройкой и без нее.

При использовании генетического алгоритма сеть обучается за 15 000 итераций, а методом обратного распространения ошибки – за 30 000 итераций, таким образом, обучение было сокращено

на 15 000 итераций, при этом ошибка после 15 000 итераций равна 0,021, другая сеть при том же количестве итераций имеет ошибку 0,068 (рис. 1).

На рис. 2 приведены результаты, полученные при обучении методом обратного распространения ошибки без предварительной настройки.

На рис. 3 можно видеть результаты обучения сети тем же методом обратного распространения ошибки, но после предварительной настройки с помощью генетического алгоритма.

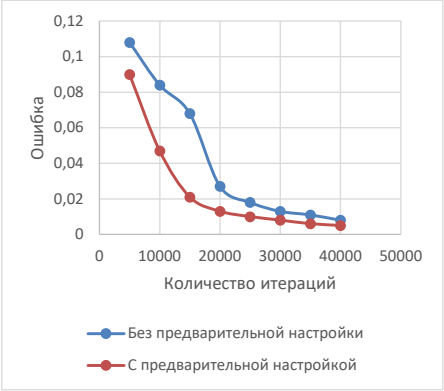



Рис. 1. Сравнение нейронной сети с предварительной настройкой и без нее

```
---------------------------
15000
Error:0.027190991675828273
---------------------------
20000
Error:0.018350980012945523
---------------------------
25000
Error:0.01367658555464575
---------------------------
30000
Error:0.01367658555464575
---------------------------
30000
Outs:
1
0
2
3
--- 3.04499983788 seconds ---
```

Рис. 2. Настройка нейронной сети обратным распространением ошибки без предварительной настройки

```
C:\Users\Сергей\Desktop\Конфа>python Diplom.py
0.6325175302750345
Error:0.0325175302750345
---------------------------
0
Error:0.10767007637003337
---------------------------
5000
Error:0.046600930857986445
---------------------------
10000
Error:0.028860459452300403
---------------------------
15000
Outs:
1
0
2
3
--- 1.53200000485 seconds ---
```

Рис. 3. Обучение нейронной сети обратным распространением ошибки после предварительной настройки

Как видно по полученным данным, результаты обучения при использовании предварительной настройки с помощью генетического алгоритма заметно улучшились. Таким образом, сеть с предварительной настройкой обучается почти в два раза быстрее.

Теперь сравним время исполнения работы всей программы распознавания, а не только обучения нейронной сети.

С предварительной настройкой нейронной сети время обучения заняло 1,594 с. Без предварительной настройки нейронной сети время на обучение составило 3,233 с.

Как мы видим, при решении нашей задачи программа с предварительной настройкой нейронной сети работает быстрее, однако это не всегда так. При увеличении мощности популяции растет и время исполнения программы.

Полученная в результате программа позволяет повысить эффективность настройки нейронной сети и уменьшить затраты на ее обучение. Благодаря генетическим алгоритмам можно увеличивать не только скорость обучения нейронной сети, но и компенсировать некоторые минусы, к примеру, избежать паралича сети или сократить время обучения при маленьком шаге. Однако при большой популяции предварительная настройка нейронной сети не эффективна.

Таким образом, предварительная настройка нейронной сети при помощи генетического алгоритма не является панацеей, так как остается вероятность попадания в локальный минимум, а время обучения может заметно увеличиться в зависимости от размера популяции.

**УДК 004.77:658.78**

***Э. О. Крупенин, П. В. Злобин***
студенты кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Н. Н. Григорьева***
научный руководитель

## РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Для организации работы складских помещений больших размеров раньше требовалось значительное количество персонала и различных документов на бумажных носителях. Сегодня благодаря IT-технологиям появилась возможность автоматизировать большую часть действий.

Задача данной статьи – разработка устройства для частичной автоматизации работы складских комплексов. Решение этой задачи невозможно без анализа алгоритмов организации процесса приема, хранения объектов и обработки запросов на подбор единиц хранения, поскольку разрабатываемое устройство должно быть интегрировано в общую схему автоматизации работы склада. Разрабатываемый блок может устанавливаться на устройство подбора для автоматизации процесса обработки запросов.

Внешний заказ поступает в складскую систему учета. В информационной системе склада (ИСС) автоматически формируется накладная в соответствии с запросом, расположением объектов, их количеством, формой [1]. На рис. 1 представлены алгоритмы запроса и подбора.

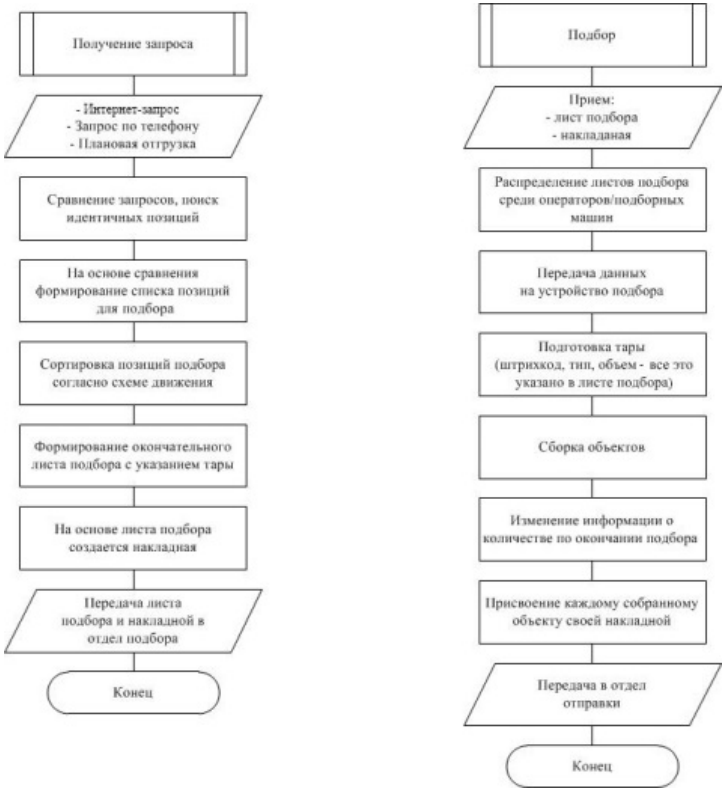



Рис. 1. Алгоритмы получения запроса и подбора

В соответствии со сформированной накладной автоматически определяется маршрут оператора. При обработке запроса направление движения строится в порядке расположения объектов по полкам, следуя алгоритму от меньшего к большего, а при достижении конца ряда, наоборот, от большего меньшему. Например, 1–2 ряд, место 0–50, 3–4 ряд, место 50–0. Далее система подбирает тару для перевозки объектов, учитывая их вес, объем и габариты: нельзя перегрузить коробку, отправить ее полупустой или положить объекты со сложной геометрией в одну тару [2].

В маршрутном листе указывается тип коробки и ее порядковый номер. Для каждой коробки формируется уникальный штрихкод, теперь объекты выделены согласно запросу и ждут своей очереди на упаковку. Упаковка может быть полностью или частично автоматизированной. В данном случае рассмотрен вариант, когда уникальный штрихкод каждой коробке присваивает оператор.

Работа оператора начинается с получения накладной в виде нескольких сообщений на специализированное устройство по подбору. Функциональная схема устройства для автоматизированного подбора представлена на рис. 2. Основные компоненты уже реализованного прототипа прорисованы сплошными линиями, пунктиром отмечено то, что необходимо добавить при усовершенствовании устройства. Основа данного устройства – маломощный микроконтроллер, к которому подключены несколько модулей: LCD-экран 1602, WiFi-передатчик ESP 8266-01 и блок управления и индикации, на котором установлены тактовые кнопки и светодиоды.

При использовании устройства данной структуры основные действия, связанные с реализацией алгоритма, происходят на сервере, данное же устройство предназначено для корректной связи сервера и оператора подбора.

Вся накладная разделяется на несколько частей. Каждая часть отправляется на отдельное устройство, которое отвечает за конкретную коробку.

Получив информацию о типе коробки, оператор наклеивает на нее уже зарегистрированный штрихкод и идет выполнять работу подборщика, передавая сообщения системе о том, выбрана та или иная позиция или нет. Для этого на каждом устройстве подбора установлено несколько клавиш управления.

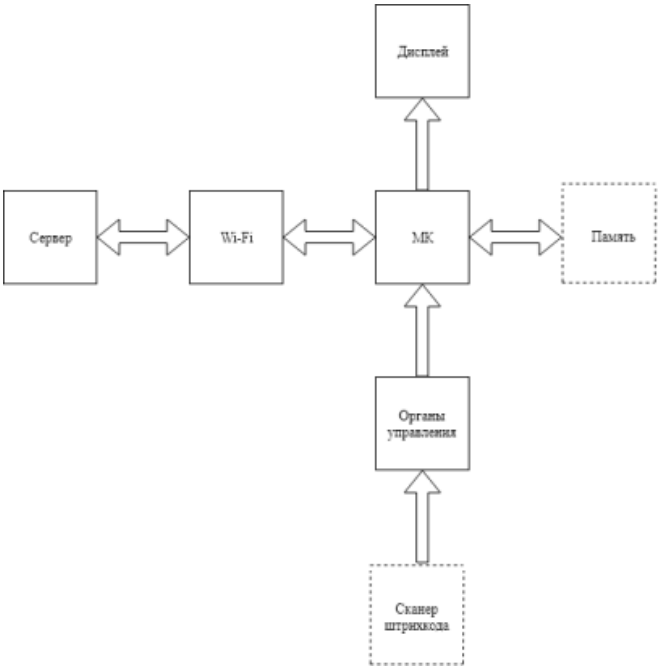



Рис. 2. Функциональная схема устройства

Если в ИСС от оператора приходит сигнал об отсутствии в указанном месте требуемого объекта, система формируется запрос на добор, который отправляется на устройство в конце сборки, либо в накладной фиксируется факт недостачи. Использование такой системы позволяет достаточно просто контролировать объекты на складе, повышает скорость работы склада и уменьшает количество ошибок.

Устройство при активации подключается к серверу ИСС с помощью Wi-Fi и заранее прописанных настроек. Сервер получает сообщение о старте работы и формирует пакет данных для устройства, данные отправляются в стек сервера. Данные по позициям поочередно поступают на устройство подбора и ждут своей обработки, после завершения работы оператора с конкретной позицией данные отправляются на сервер с соответствующей пометкой.

Рассмотрим работу устройства со стороны оператора. Во время подключения к серверу пользователь видит на экране приветствие, после согласования работы устройства и сервера (прием данных) на экране появляется пакет данных, доступный для обработки. Совершив необходимые манипуляции, пользователь (подборщик) нажимает соответствующую кнопку на устройстве, и данные отправляются на сервер с пометкой о целостности пакета или о каких-либо его изменениях.

В результате проделанной работы был разработан прототип устройства подбора, предназначенного для автоматизации взаимодействия оператора и сервера ИСС. Внешний вид прототипа показан на рис. 3.

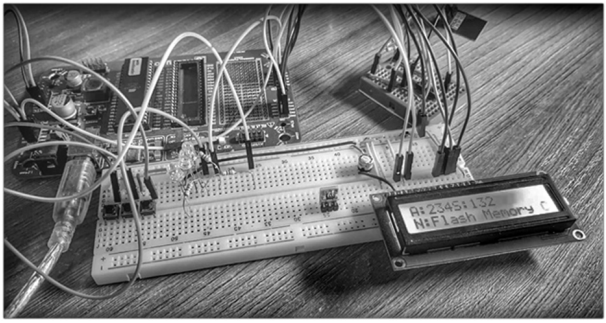



Рис. 3. Внешний вид прототипа

В результате разработки и отладки прототипа были выявлены его слабые стороны и проанализированы перспективы усовершенствования. В частности, для расширения функциональных возможностей могут быть добавлены блоки, изображенные на рис. 2 со связями пунктиром. При реализации алгоритма обработки непосредственно на устройстве подбора потребуется дополнительное оборудование в виде флеш-памяти, будет необходимо задействовать большие вычислительные ресурсы и, следовательно, переходить на более производительный тип микроконтроллера.

**Библиографический список**

1. Волгин В. В. Склад. Логистика, управление, анализ. М.: Дашков и Ко, 2009. 736 с.

2. Багинова В. В. Основы складской логистики: учеб. пособие / В. В. Багинова, В. М. Николашин, А. И. Николаева, А. С. Синицына. М.: МИИТ, 2010. 86 с.

**УДК 629.3.072.1**

***А. А. Милов***
студент кафедры прикладной математики, информатики и информационных таможенных технологий (Ивангородского филиала ГУАП)
***Е. А. Яковлева***
кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ И СЛОЖНОСТИ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

Задачи нахождения оптимальных путей по уровню транспортных затрат актуальны для ряда технических приложений. К таким задачам в частности, относятся оценка транспортной доступности для территориально-распределенных систем охраны, планирование оптимальных маршрутов движения робототехнических систем на пересеченной местности, моделирование прокладки маршрутов в тренажерах мобильных систем и компьютерных играх.

Задача планирования оптимального пути в общей постановке формулируется следующим образом. На карте местности необходимо определить маршрут движения от стартового множества точек к множеству конечных точек, характеризующийся минимальными транспортными затратами. В такой постановке начальные и конечные точки заведомо не известны и определяются в процедуре расчета.

В частной постановке возможны следующие варианты задач:

- проложить оптимальный маршрут от множества стартовых точек к заданной конечной точке;
- проложить оптимальный маршрут от множества стартовых точек к заданному множеству конечных точек;
- проложить оптимальный маршрут от заданной стартовой точки к заданной конечной точке;
- построить фронт транспортной доступности с заданным уровнем затрат по отношению к множеству стартовых точек.

Известный базовый алгоритм прокладки оптимальных маршрутов основан на методе динамического планирования Форда – Беллмана на взвешенных графах (1956– 1958 гг.) [1–3]. В приложении к транспортной задаче на пересеченной местности вершинами графа являются центры элементарных участков карты, а дуги соответствуют переходам между центрами смежных участков.

Для транспортной сети вершинами графа являются узлы транспортной сети, а дуги соответствуют переходам между узлами. Множество алгоритмов, предложенных в последующие годы (алгоритмы Дейкстры, Калаба, А-звезда и др.), в основном являются вариациями базового алгоритма для частных постановок, благодаря чему достигается более высокая вычислительная эффективность данных алгоритмов по сравнению с базовым алгоритмом.

В настоящей работе рассматривается алгоритм оптимального планирования маршрутов в общей постановке. В отличие от алгоритма Форда – Беллмана маршрут строится в виде последовательно улучшаемых решений, причем на первом этапе для прокладки маршрута используется волновой алгоритм с вычислительной сложностью, пропорциональной числу узлов. На последующих этапах маршрут уточняется за счет последовательного ослабления дуг. Алгоритм завершается при стабилизации накопленных затрат для узлов графа. В целом вычислительная сложность алгоритма не превышает вычислительной сложности алгоритма Форда – Беллмана, однако возможность построения приближенных решений позволяет существенно сократить число вычислительных операций в тех случаях, когда в конкретной задаче требования к точности решений можно понизить.

***Построение первого приближения***

1. С помощью волнового алгоритма определяются достижимые затраты на перемещение из стартового узла во все узлы транспортной сети.

2. Узлы транспортной сети рассматриваются как стартовые точки для оптимального алгоритма движения по пересеченной местности, причем для стартовых точек задается начальный уровень затрат, полученный при расчете движения по транспортной сети.

3. С помощью волнового алгоритма рассчитывается оптимальный маршрут движения по пересеченной местности от множества стартовых точек.

4. Выделяется оптимальная стартовая точка (узел транспортной сети, принадлежащий оптимальному маршруту). Точность первого приближения определяется максимальным расстоянием между оптимальной стартовой точкой и смежными с ней узлами.

***Уточнение решения***

1. Сегменты транспортной сети, инцидентные оптимальной стартовой точке, детализируются дополнительным числом узлов.

2. С помощью волнового алгоритма определяются достижимые затраты на перемещение из стартового узла к вновь образованным дополнительным узлам транспортной сети. С помощью этапов фильтрации (ослабления дуг) уточняется решение на транспортной сети.

3. Множество дополнительных узлов сети вместе с оптимальной стартовой точкой рассматривается как стартовые точки для оптимального алгоритма движения по пересеченной местности, причем для стартовых точек задается уровень затрат, полученный при расчете движения по транспортной сети.

4. С помощью волнового алгоритма рассчитывается оптимальный маршрут движения по пересеченной местности от множества стартовых точек.

5. Выделяется оптимальная стартовая точка.

6. При необходимости построения точного маршрута выполняются этапы фильтрации в алгоритме движения по пересеченной местности.

Быстродействие алгоритма зависит от требуемой точности построения маршрута. Для построения квазиоптимальных решений достаточно ограничиться волновым алгоритмом. В этом случае вычислительные затраты минимальны и пропорциональны числу узлов транспортного графа.

Дополнительные этапы фильтрации (ослабления дуг) обеспечивают улучшение решений в пределе до оптимального, при этом вычислительная эффективность интегрального алгоритма будет не хуже базового алгоритма Форда – Беллмана. Число дополнительных этапов фильтрации зависит от сложности транспортного графа. Поэтому для конкретной задачи использование предложенных алгоритмов может оказаться значительно более эффективным, чем использование базового алгоритма.

**Библиографический список**

1. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. М.: Наука, 1975. 479 с.

2. Асанов М. О. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы / М. О. Асанов, В. А. Баранский, В. В. Расин. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 288 с.

3. Кормен Т. Х. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн; пер. с англ. М.: Вильямс, 2005. 1296 с.

**УДК 004.056.53**

***А. С. Салынский***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***О. А. Кононов***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО УВЕДОМЛЕНИЯ

Автоматизированные системы контроля и управления доступом (СКУД) предназначены для обеспечения санкционированного прохода в помещения и охраняемые зоны. Хорошо организованная с использованием современных технических средств СКУД позволит решать целый ряд задач. Наиболее важные из них:

– противодействие промышленному шпионажу;
– противодействие воровству;
– противодействие саботажу;
– противодействие умышленному повреждению материальных ценностей;
– учет рабочего времени;
– контроль своевременности прихода и ухода сотрудников;
– защита конфиденциальности информации;
– регулирование потока посетителей;
– контроль въезда и выезда транспорта [1].

Главным направлением развития СКУД является их интеллектуализация, передача аппаратным средствам и компьютерам максимально возможного количества функций по сбору, обработке информации и принятию решений.

Система контроля и управления доступом состоит из серверов – компьютеров, которые управляют подключенными к ним контроллерами – специализированными высоконадежными компьютерами. В контроллере хранится информация о конфигурации, режимах работы системы, список людей, которые имеют право входить в помещения, а также их права доступа в эти помещения [2].

Важным звеном в СКУД являются считыватели – устройства, позволяющие считывать информацию, записанную на идентификаторе, и передавать ее в контроллер, который и принимает решение о допуске или ограничении допуска человека в помещение.

В настоящее время в СКУД применяются разнообразные считыватели и идентификаторы самых разных технологий (EM, *Proximity*, *Mifare*, *Desfire*, iCLASS).

Идентификаторы СКУД – это носители индивидуальной информации, подтверждающей право его владельца на доступ. К ним относятся контактные и бесконтактные пластиковые карты – штрихкодовые, магнитные, интеллектуальные (*Smart*), *proximity*; брелоки – радио или с чипом ПЗУ, ключи (*Touch Memory* – «таблетки»), RFID-метки дальнего действия, а также биометрические признаки, пароли, коды доступа и т.п. [3].

Также в системах контроля и управления доступом СКУД используется широкий спектр различных исполнительных устройств: дверные замки, турникеты, шлагбаумы, приводы ворот, бронированные шлюзы и т. д., которые являются физическими препятствиями при попытках несанкционированного доступа.

Дополнительной опцией в обеспечении безопасности является дистанционное информирование пользователя о состоянии или попытках изменения состояния системы СКУД, что позволяет пользователю более полно оценивать показатели защищенности объекта. Информирование осуществляется посредством беспроводной связи, к которой предъявляются следующие требования:

– большая дальность действия;
– низкое энергопотребление, обеспечивающее длительную автономную работу;
– достаточно высокое качество (помехозащищенность, защита информации).

Сегодня существует множество способов беспроводной связи: Wi-Fi, WiMAX, *Bluetooth*, GSM/GPRS и др. Самыми распространенными являются Wi-Fi и GSM/GPRS.

1. *Global System for Mobile Communications* (GSM) – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи с разделением каналов по времени (*Time Division Multiple Access* (TDMA)) и частоте (*Frequency Division Multiple Access* (FDMA)), относящийся к сетям второго поколения (2G). Связь возможна на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции. Мобильные устройства GSM используют до 4-х диапазонов частот – 850, 900, 1800, 1900 МГц, в зависимости от региона использования. Для работы в сети Интернет используется IP-протокол и протоколы транспортного и прикладного уровней, такие как TCP, UDP, HTTP и др. [4].

Взаимодействие с модулем GSM осуществляется по интерфейсу UART при помощи специальных AT-команд. В качестве информирования используется SMS-уведомление, на так называемые «белые номера», которые прописаны в качестве разрешенных.

2. Wi-Fi – это современная и перспективная беспроводная технология, которая использует радиоканалы для передачи данных. Wi-Fi-модуль представляет собой ESP-микроконтроллер с интерфейсом Wi-Fi.

Принцип информирования заключается в том, что при изменении состояния МК формируется http-запрос (GET-метод используется для получения странички с веб-сервера в самом простом случае. Также применяются методы POST – для отправки данных на сервер и HEAD – для получения информации о страничке без скачивания самой странички.) и через Wi-Fi-модуль они передаются на сервер, если в качестве сервера использовать SMTP-сервер (англ. *Simple Mail Transfer Protocol* – простой протокол передачи почты) – широко используемый сетевой протокол, предназначенный для передачи электронной почты в сетях TCP/IP.), то пользователь получит письмо на указанный e-mail адрес [5].

В качестве главного управляющего и вычислительного модуля в разработанном устройстве управления доступом использован микроконтроллер ATmega32. Это высокопроизводительный, малопотребляющий AVR 8-битный микроконтроллер от компании *Atmel*. В качестве датчика идентификации была использована матричная клавиатура 4×3. Идентификация происходит после сравнения введенной кодовой комбинации с ключевой кодовой комбинацией, зашитой в память микроконтроллера, и последующим SMS-информированием пользователя о разрешении или запрете доступа. В качестве дисплея был использован 7-*Segment* LED *Controller* с семисегментным четырехразрядным индикатором с общим катодом. Комфортная визуализация введенных символов достигается путем реализованной динамической индикации. Устройство работает в соответствии с приведенными ниже структурной и функциональной схемами (рис. 1 и 2 соответственно).

Алгоритм программы выполнен в виде блок-схемы и представлен на рис. 3.

Он состоит из двух частей: основной программы и обработчика прерываний от аппаратного таймера, что позволяет совместить считывание данных с датчика с выводом на семисегментный индикатор.

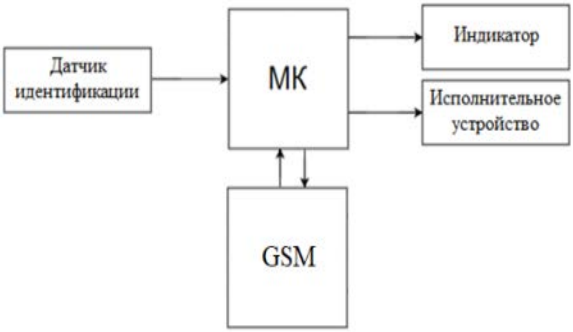



Рис. 1. Структурная схема устройства

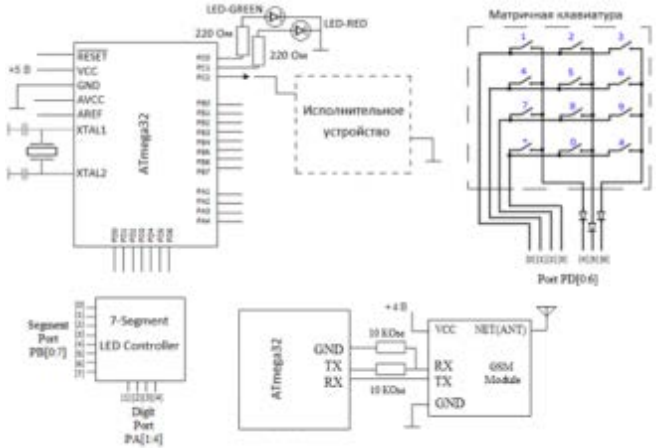



Рис. 2. Функциональная схема устройства

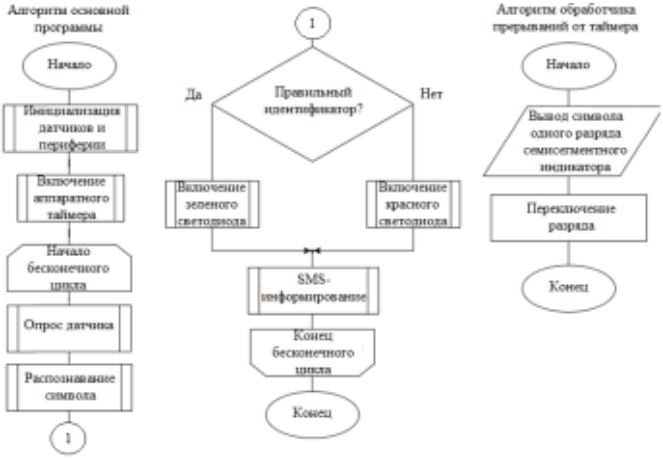



Рис. 3. Блок-схема алгоритма программы

Разработанное устройство является простой реализацией системы контроля и управления доступом и отвечает всем требованиям функциональности. Также возможно дальнейшее усовершенствование данного прототипа для обеспечения повышенных мер безопасности объекта и расширения функционала СКУД.

**Библиографический список**

1. Ворона В. А. Системы контроля и управления доступом / В. А. Ворона, В. А. Тихонов. М.: Горячая линия-Телеком, 2010. 272 с.

2. Системы контроля доступа. URL: https://www.aamsystems.ru/skud.

3. Идентификаторы СКУД. URL: http://www.dssl.ru/products/identifikator.

4. Закиров З. Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения / З. Г. Закиров, А. Ф. Надеев, Р. Р. Файзуллин. М.: Эко-Трендз, 2004. 264 с.

5. Подключение микроконтроллера к локальной сети: HTTP и CGI. URL: http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti-http-i-cgi.html.

**УДК 004.43**

***Н. Г. Фролов***
студент кафедры прикладной математики, информатики и информационных таможенных технологий (Ивангородский филиал ГУАП)
***Е. А. Яковлева***
кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

## ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА 1С

Информационные технологии за последние двадцать лет оказали огромное влияние на системы управления предприятием, повышая эффективность использования финансовых, материальных и трудовых ресурсов. Для профессионального создания и эксплуатации информационных систем управления необходимы специалисты достаточно широкого профиля, владеющие современными информационными технологиями, навыками проектирования, программирования и сопровождения систем, хорошо понимающие задачи предметной области (учета, анализа, планирования, контроля, реализации и т. д.), а также методы и технологии проектного ведения работ.

**1. Информационная система управления предприятием**

Информационная система управления предприятием (ИСУП) представляет собой организационно-технологический комплекс методических, технических, программных и информационных средств, направленный на поддержку и повышение эффективности процессов планирования и управления.

Целью развития ИСУП является приобретение организацией принципиально новых качеств, дающих ей существенные конкурентные преимущества. Развитие ИСУП проводится путем внедрения прикладных решений, которые изменяют технологию управления, форму представления и качественные характеристики информации (оперативность, достоверность, точность).

Информационная система управления предприятием проходит через определенные стадии жизненного цикла, требующие от специалистов по информационным системам наличия соответствующих знаний и навыков.

Под жизненным циклом прикладного решения (ПР) понимают совокупность взаимосвязанных и следующих во времени этапов, начиная от разработки требований и заканчивая полным отказом от его использования.

Жизненный цикл состоит из следующих этапов:

1. Постановка задачи – анализ предметной области, формулировка требований и определение функций будущего ПР, выработка технического задания. Эту работу выполняют аналитики совместно со специалистами предметной области.

2. Проектирование структуры решения заключается в разработке детальной схемы будущей программы, на которой указываются классы, их свойства и методы, а также различные взаимосвязи между ними. Как правило, на этом этапе в работе могут участвовать аналитики, архитекторы и отдельные квалифицированные программисты.

3. Разработка заключается в реализации структуры объектов метаданных и алгоритмов их функционирования, создании рабочих инструкций для персонала и т. д.

4. Функциональное тестирование – проверка работоспособности отдельных алгоритмов и подсистем прикладного решения в процессе создания.

5. Нагрузочное тестирование – выявление и устранение узких мест, оптимизация производительности при одновременной работе большого количества пользователей и обработке больших массивов данных.

6. Внедрения программы – обучение персонала, поэтапное введение в эксплуатацию подсистем ПР, параллельная работа в старой и новой системах, перенос данных, преодоление противодействий, получение адекватной оценки результатов внедрения и т. д.

7. Сопровождения ПР – администрирование, сбор рекламации и статистики функционирования, исправление ошибок и недоработок, оформление требований к модернизации и ее выполнение.

8. Отказ от использования ПР.

**2. Обоснование выбора программного продукта «1С: Предприятие 8»**

В настоящее время на рынке программных продуктов предлагаются различные информационные системы, предназначенные для решения задач бухгалтерского, налогового, складского учета и торговой деятельности предприятия. Среди них выделяется «1С: Предприятие 8» – комплексная система автоматизации управления предприятием, в которой реализованы в полном объеме все необходимые функции, также данная система отличается высокой производительностью и мобильностью. Она постоянно дорабатывается и модернизируется, приобретая все больше дополнительного функционала, и обладает всеми возможностями, необходимыми для ведения учета на любом предприятии.

При разработке платформы «1С: Предприятие 8» ее создатели сразу ориентировались на получение целостной базовой платформы, которая будет использоваться для построения разнообразных прикладных решений. При этом данные прикладные решения могут создаваться не только специалистами фирмы «1С», но и множеством других разработчиков, которые являются экспертами в тех или иных отраслях производственной деятельности. Поэтому платформа изначально проектировалась как тиражируемый продукт, который включает все необходимые технологии для эксплуатации бизнес-приложений и инструменты для их разработки и модификации.

Опыт разработки прикладных решений показывает, что значительная часть разработчиков не создает программы с нуля, а лишь дорабатывает типовые решения. Высокий уровень настраиваемости решений на специфические требования пользователя является одним из важных преимуществ столь четкого разграничения между платформой и прикладными решениями.

Данное обстоятельство определяет особые требования к наглядности и простоте понимания разработчиком уже существующих решений, а также максимально учитывается во всех механизмах платформы. Выделение прикладного решения как самостоятельного элемента позволяет сформировать целую область создания, распространения и поддержки разнообразных прикладных систем. В этой области можно сконцентрировать свои усилия только на специфике данного класса задач.

В принципах построения платформы «1С: Предприятие 8» изначально заложена строгая ориентация на разработку прикладного решения на основе определенной модели.

Модель – это вся идеология построения прикладного решения. Здесь и способы построения структур данных, и типы связей между данными, и принципы управления данными, и форматы описания бизнес-логики, и способы связи данных с объектами интерфейса, и разделение функциональности по уровням системы, а также многое другое.

Важно, что все приложения должны следовать принятой модели. Благодаря этому обеспечивается единообразие и предсказуемость их поведения. Таким образом, разработчик, который желает отразить в прикладном бизнес-решении специфику той или иной предметной области, имеет вполне определенный набор способов реализации задачи средствами, заложенными в платформу. Безусловно, такой подход в чем-то ограничивает свободу разработчика, но в то же время он защищает от множества ошибок и позволяет довольно быстро получить работоспособное решение, которое в дальнейшем сможет развиваться и поддерживаться не только им, но и другими специалистами.

Кроме того, наличие единой модели принципиальным образом сказывается и на простоте освоения системы. Вся разработка ведется в рамках одной сквозной системы понятий и в едином пространстве типов данных. У разработчика не возникает необходимости осваивать несколько моделей представления и тратить усилия на реализацию переходов между ними на разных уровнях.

В системе «1С: Предприятие» все операции редактирования данных (создание, изменение и удаление) проводятся только с использованием объектной техники. Разработчики взаимодействуют с базами данных не на уровне записей, а с помощью объектов, соответствующих хранимым в базах данных сущностям. Работа с объектными сущностями поддерживается представлением сущностей базы данных в виде объектов встроенного языка программирования и специальными типами данных, служащими для представления объектных ссылок (ссылок на объекты базы данных). Зная объект, легко получить его ссылку, зная ссылку – извлечь объект из базы данных. Данная техника обеспечивает наглядный и естественный способ описания в исходном коде алгоритмов бизнес-логики, манипулирующих объектами, и гарантирует логическую целостность данных при любых операциях. Это напоминает написание приложений объектных баз данных с той лишь разницей, что сохранение данных происходит в таблицах реляционной системы управления базами данных. При этом в модулях, написанных

на встроенном языке, может одновременно присутствовать несколько объектов, относящихся к одной единице базы данных.

Для изменения хранимых данных не требуется писать сложные запросы и преобразовывать результаты их обработки в объекты языка программирования. Достаточно получить объект из базы данных, изменить его свойства и снова сохранить. Разработчик при этом имеет возможность написать обработчики событий, связанных с изменением данных, выполняя с их помощью различные проверки и изменяя при необходимости другие данные.

Платформа обеспечивает работу конфигурации и позволяет вносить в нее изменения или создавать собственную конфигурацию.

Существует одна платформа – «1С: Предприятие 8» – и множество конфигураций. Для функционирования какого-либо прикладного решения всегда необходима платформа и какая-либо (одна) конфигурация.

Сама по себе платформа не может выполнять никаких задач автоматизации, так как создана для обеспечения работы какой-либо конфигурации. То же самое касается конфигурации: чтобы выполнить задачи, для которых она создана, необходимо наличие платформы, которая управляет ее работой.

Таким образом, на передний план выходит конфигурируемость системы, поскольку платформа не только управляет работой конфигурации, но и содержит средства, позволяющие вносить в нее изменения. Более того, платформа позволяет создавать свою собственную конфигурацию с нуля, если по каким-либо причинам использование типовой конфигурации представляется нецелесообразным.

**Плюсы и минусы 1С**

Плюсы 1С:

- работает в двух вариантах – файловом и серверном;
- независимая система учета легко устанавливается и настраивается;
- мощный функционал для программистов со всеми необходимыми объектами и инструментами;
- приятный и удобный интерфейс;
- сравнительно недорогое решение для бизнеса;
- сеть франчайзи, начальное обучение;
- мощная база наработок и знаний, накопленная годами.

Минусы 1С:

- цена: покупать придется отдельно клиентские лицензии на каждый клиентский компьютер, отдельно – одну лицензию на сервер 1С, отдельно – лицензию на сервер SQL, если не использовать бесплатный;
- иногда возникают сложности в работе базы данных. Они решаются гораздо быстрее за счет доступности данных и наличия внешних инструментов работы с базой данных. Кроме того, следует делать архивные копии базы данных.

**Библиографический список**

1. Основы разработки прикладных решений на платформе 1С: Предприятие 8. URL: https://otherreferats.allbest.ru/programming/c00506667.html.

2. Обоснование выбора программного продукта 1С: Предприятие 8. URL: http://studbooks.net/2091323/informatika/obosnovanie_vybora_programmnogo_produkta_predpriyatie.

3. О программировании на 1С: Предприятие 8. URL: https://habrahabr.ru/post/247657.

**УДК** 004.75

***В. Ю. Фундовой***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. А. Бакин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ

Беспроводная сенсорная сеть – сеть множества датчиков (сенсоров) и базовой станции (БС), объединенных с помощью радиоканала. За счет ретрансляции сообщений от одного сенсора к другому область покрытия такой сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров

Целью исследования является исследование модели беспроводной сенсорной сети, в которой каждый сенсор формирует бернуллиевский поток сообщений на базовую станцию.

На сенсорные сети накладываются ограничения, связанные с передачей сообщений. В результате передачи сообщений возникает вероятность появления ошибок – коллизий. Существует три вида коллизий, при которых невозможна одновременная отправка сообщений:

1) сенсор-приемник не способен одновременно принимать и передавать сообщения (см. рис. 1, *а*);
2) сенсор-приемник не способен одновременно принимать более одного сообщения (см. рис. 1, *б*);
3) сенсор-приемник находится в радиусе действия других сенсоров-передатчиков.

Для сбора сообщений с сенсоров на базовую станцию без коллизий целесообразно создать бесконфликтное расписание передачи сообщений. Такое расписание описывается фреймом, в котором находятся слоты. Каждый слот содержит в себе все возможные передачи сообщений без коллизий (см. рис. 2).

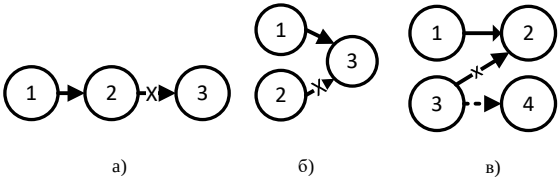



Рис. 1. Виды коллизий

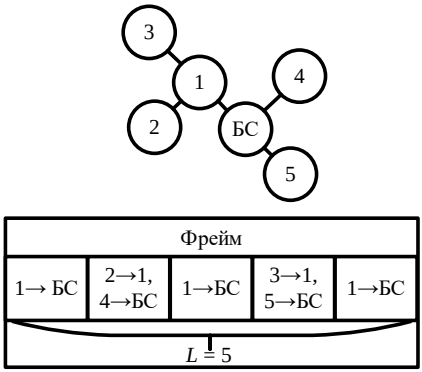



Рис. 2. Пример сенсорной сети с бесконфликтным расписанием

Задачи исследования:

1. Теоретически рассчитать характеристики сети для случая циклического опроса.
2. Предложить алгоритм составления расписания передач для произвольного числа сообщений в сенсорах.
3. Оценить характеристики сети методом имитационного моделирования.

Стоить заметить, что при бернуллиевском потоке входящих сообщений за один фрейм на сенсоре сформируется $K$ заявок, распределенных по биномиальному закону (1):

$$\Pr(R_i = K) = C_N^K p^K q^{N-K}, \quad (1)$$

где $R_i$ – количество пришедших сообщений на фрейм $i$; $N$ – количество слотов в фрейме $i$; $C_N^K$ – биномиальный коэффициент; $p$ – вероятность возникновения заявки; $q = 1 - p$ – вероятность невозникновения заявки.

Если рассмотреть любой слот во фрейме, можно обнаружить, что количество входящих заявок $k$ на все сенсоры также распределено по биномиальному закону (2):

$$\Pr(r_{i,j} = k) = C_n^k p^k q^{n-k}, \quad (2)$$

где $r_{i,j}$ – количество пришедших сообщений на слот $j$ фрейма $i$; $n$ – количество сенсоров в сети.

Так как базовая станция не может бесконфликтно принимать больше одного сообщения за слот, то сенсоры сети не могут формировать в среднем больше одного сообщения за слот (иначе система будет перегружаться). Если в системе $N$ сенсоров, то каждый не может формировать в среднем больше $1/N$ сообщений, следовательно:

$$0 \le p \le \frac{1}{N},$$

если же каждый сенсор формирует больше чем $1/N$, то система становится нестабильной.

Для того чтобы определить загруженность сенсорной сети, необходимо определить среднее количество сообщений $Q_{ср}$ в сети. Для сети с циклическим опросом, то есть такой сети, в которой гарантированно обработаются все сообщения, присутствующие в начале каждого фрейма, среднее количество сообщений рассчитывается по формуле

$$Q_{ср} = \frac{D + \lambda(1 - \lambda)}{2(1 - \lambda)}, \quad (3)$$

где $D$ – дисперсия количества сообщений, приходящих за 1 фрейм в сеть; $\lambda$ – интенсивность потока сообщений.

Для составления расписания сенсорной сети необходимо сделать следующее:

1) отсортировать сенсоры в порядке удаления от БС;
2) построить маршруты от БС до каждого сенсора;
3) инициализировать слот;
4) все передачи, не создающие коллизий, назначить в слот;
5) повторять пункты 3, 4, пока все сообщения не будут на БС.

Адаптация алгоритма составления расписания предполагает изменение расписания каждые несколько слотов. Данная особенность позволяет оптимизировать нагрузку на сеть, увеличивая ее пропускную способность.

График на рис. 3 иллюстрирует среднее количество сообщений $Q_{ср}$ в системе для сетей с фиксированным расписанием и адаптивным расписанием с различной частотой адаптации. Обозначим диапазон эффективности применения адаптации как промежуток, при котором график адаптивного изменения расписания лежит ниже графика фиксированного расписания. Тогда из рис. 3 и 4 становится видно, что чем ниже частота адаптации расписания, тем меньше диапазон эффективности расписания.

Результаты исследования:

1. Была получена формула среднего количества заявок в сети для сетей со случайными потоками сообщений.
2. Была выявлена верхняя граница вероятности формирования сообщения, при которой система стабильна.

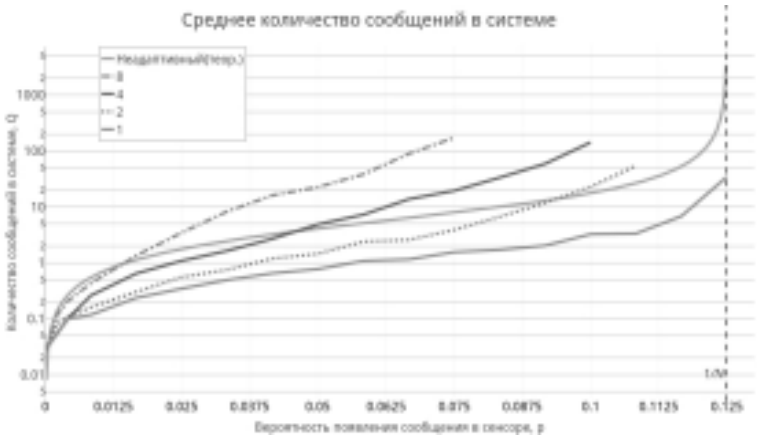



Рис. 3. График зависимости среднего количества сообщений в системе от вероятности появления сообщения в сенсоре

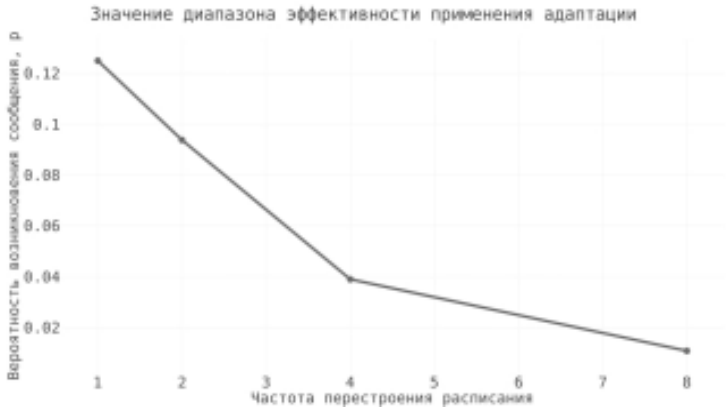



Рис. 4. График диапазона эффективности применения адаптации от частоты перестроения расписания

3. Было обнаружено, что адаптивное расписание способно снизить среднее количество сообщений до двух раз.

4. Было показано, что при снижении частоты перестроения расписания снижается эффективный диапазон адаптации расписания.

**Библиографический список**

1. Бакин Е. А. Повышение эффективности сбора информации в беспроводных сенсорных сетях на основе оптимизации расписания: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.13.01). СПб.: ГУАП, 2012. 19 с.

2. Шепета А. П. Нижняя граница длительности периода сбора информации в сенсорной сети / А. П. Шепета, Г. С. Евсеев, Е. А. Бакин // Информационно-управляющие системы. 2011. № 6.

3. Stojmenovic I. Handbookof Sensor Networks (Algorithms and Architectures). Wiley-Interscience, 2005.

4. Бертсекас Е. Сети передачи данных / Е. Бертсекас, А. Галлагер; пер. с англ. М.: Мир, 1969. 544 с.

**УДК 004.021**

***А. А. Шемякин***
студент кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***Е. А. Бакин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПОЛЕТОВ ПОЧТОВОГО ДРОНА

В настоящее время малые беспилотные летательные аппараты по типу квадрокоптеров (дронов) активно внедряются в различные сферы деятельности, в частности в службы доставки грузов в отдаленные населенные пункты. Это обуславливает необходимость составления плана полетов, учитывающего основные характеристики летательного аппарата, а также адреса доставки.

В данной работе зона работы дрона представляет собой окружность с заданным радиусом, в которой адреса распределены равномерно. В центре окружности с координатами (0,0) располагается базовая станция (БС), из которой дрон вылетает в начале обслуживания маршрутного листа и в которую возвращается по истечении запаса топлива либо запаса посылок [1].

После получения адресов для доставки проводится процесс моделирования оптимального с точки зрения затраченного времени алгоритма для обслуживания клиентов. Существует четыре постоянных алгоритма полетов. Для каждого отдельного маршрутного листа выбирается алгоритм, занявший наименьшее время [2].

Каждые два алгоритма попарно похожи друг на друга. В первом алгоритме дрон производит облет адресов, начиная с наиболее приближенных к БС, и по мере обслуживания смещается к краям окружности, где после обслуживания последнего клиента в независимости от остатка топлива возвращается на БС, что означает конец выполнения процесса доставки посылок абонентам и конец работы алгоритма.

Второй алгоритм схож с первым, но дрон начинает облет адресов с самых удаленных от БС и по мере обслуживания смещается к ней. Где также после обслуживания последнего клиента дрон возвращается на БС, что означает конец процесса выполнения доставки посылок и конец работы этого алгоритма. Примеры работы алгоритмов продемонстрированы на рис. 1.

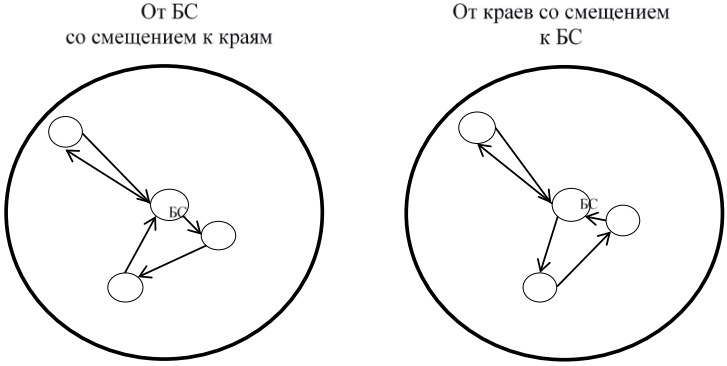



Рис. 1. Визуализация работы алгоритмов без разделения окружности на четверти

Третий алгоритм работает по такому же принципу, что и первый, но помимо того, что доставка посылок дроном производится от БС и постепенно смещается к краям окружности, существует жесткое разделение окружности на четыре четверти. То есть сначала дрон летает по заданному алгоритму в первой четверти, затем – во второй, потом в третьей и наконец в четвертой.

Четвертый алгоритм работает по принципу второго алгоритма, то есть также происходит разделение окружности на четыре четверти с последующим облетом каждой из них. Сначала дрон летает по заданному алгоритму в первой окружности, затем во второй и так до четвертой. Примеры работы этих алгоритмов представлены на рис. 2.

Анализ эффективности предложенных алгоритмов был осуществлен методом моделирования в среде *Python* с применением библиотеки PyQT [3, 4]. Результаты приведены на рис. 3.

Полученные гистограммы демонстрируют время выполнения полетов. В результате сравнения времени выполнения по всем четырем алгоритмам был выявлен наиболее быстродействующий алгоритм с точки зрения затраченного времени – вариант «от краев со смещением к БС по четвертям».

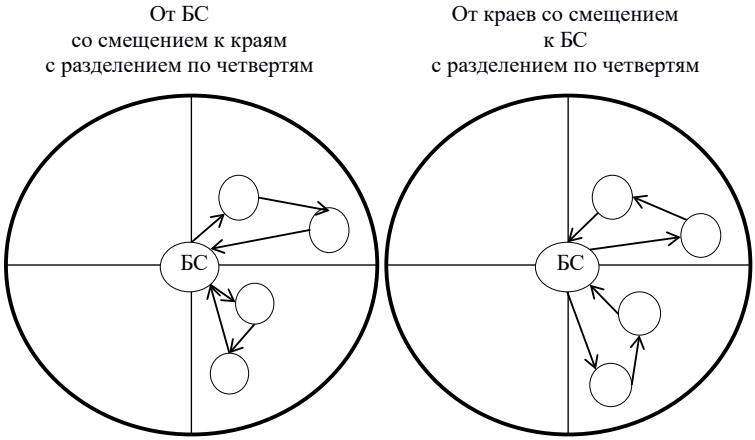



Рис. 2. Визуализация работы алгоритмов с разделением окружности на четверти

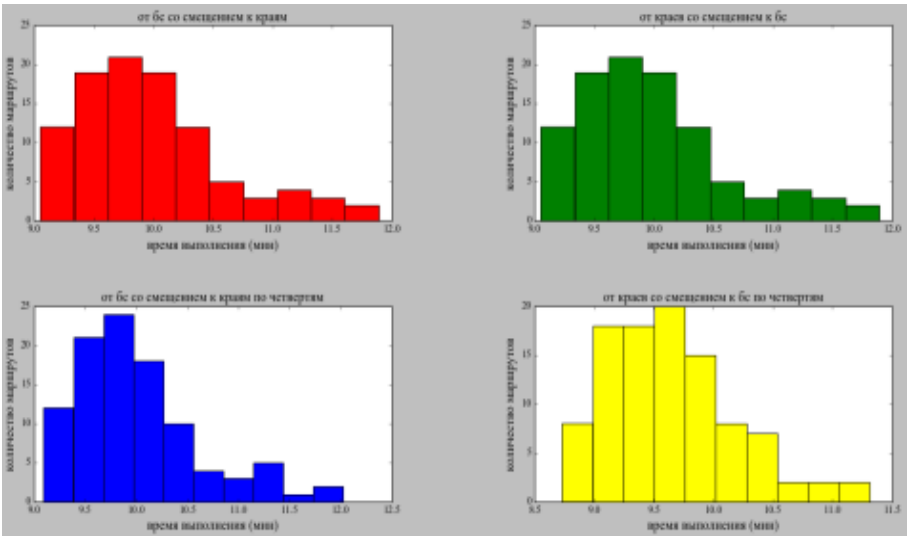



Рис. 3. Гистограммы, отображающие время выполнения полетов дроном для четырех алгоритмов

В рамках развития проекта и для возможности моделирования полетов в более сложных ситуациях, в том числе в метеорологически неблагоприятных условиях, предполагается моделирование полетов с учетом возможного порывистого ветра. Также представляется важным более точное моделирование энергозатрат и скорости движения коптера, а именно ее снижение при подлете к текущему адресу доставки и постепенное увеличение до заявленной во время взлета после обслуживания очередного адреса.

**Библиографический список**

1. Дольников В. Л. Основные алгоритмы на графах / В. Л. Дольников, О. П. Якимова. Ярославль: ЯрГУ, 2011. 80 с.

2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978.

3. Марк Лутц. Изучаем Python. 4-е изд. СПб.: Символ-Плюс, 2011. 1280 с.

4. Прохоренок Н. А. Python 3 и PyQt5. Разработка приложений / Н. А. Прохоренок, В. А. Дронов. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 832 с.

**УДК 519.876.5**

***И. А. Юдин, Е. К. Григорьев***
магистранты кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***В. А. Ненашев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА

Системы компьютерного зрения в настоящий момент применяются во многих областях науки и техники, например в системах связи, медицине, системах безопасности. С ростом современных требований к таким системам становится недостаточно производить обработку только статических изображений, необходима работа с видеоинформацией. Поэтому к алгоритмам обработки изображений предъявляются высокие требования, такие как производительность и точность оценок. В это же время в некоторых случаях требуется работа в реальном масштабе времени, в качестве примера можно привести отслеживание автомобилей нарушителей в видеопотоке. В связи с этим актуальна задача разработки эффективных алгоритмов обработки видеоинформации.

В статье рассматривается использование фильтра Калмана в системах компьютерного зрения для сопровождения движущегося объекта в видеопотоке.

Особое внимание сфокусировано на двух важных особенностях:

- прогнозирование координат расположения объекта;
- уменьшение вероятности ложной тревоги при обнаружении объекта.

Предлагается система слежения за подвижными объектами с помощью калмановской фильтрации, структурная схема которой представлена на рис. 1.

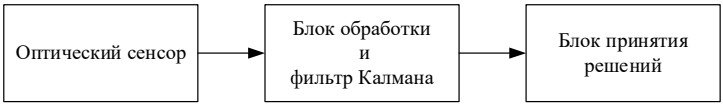



Рис. 1. Структурная схема системы слежения

Данные поступают с видео сенсора на блок обработки, где они обрабатываются с помощью фильтра Калмана. Затем принимается решение, имеется ли на видео интересующий движущийся объект или нет, и начинается его сопровождение.

Типовым примером выступает задача отслеживания объекта в видеопотоке. На рис. 2 изображен движущийся объект, который на видеозаписи двигается справа налево по гладкой и ровной поверхности.

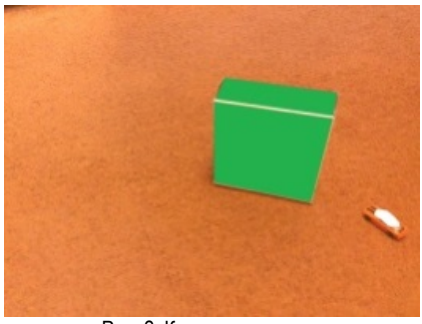


Рис. 2. Кадр видеозаписи

Белая область на объекте – область, обнаруженная алгоритмом, который отделяет движущийся объект от фона. Как видно из рисунка, алгоритм определяет только часть объекта из-за низкого контраста между объектом и поверхностью. То есть процесс обнаружения не является идеальным и имеет шумовую составляющую. Поэтому следует разработать методику обнаружения движущегося объекта в кадре.

Появляются две проблемы:

1. Центр выделенной области обычно отличается от центра объекта, то есть существует ошибка в измерении положения объекта.
2. Невозможно измерить положение объекта, если он закрыт посторонним объектом.

Эти проблемы могут быть решены с помощью фильтра Калмана.

Разработано программное обеспечение, которое отслеживает движущиеся объекты. Пример работы алгоритма представлен на рис. 3, 4.

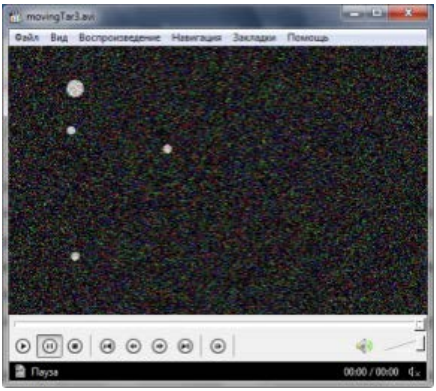



Рис. 3. Фрагмент видеозаписи с исходными данными

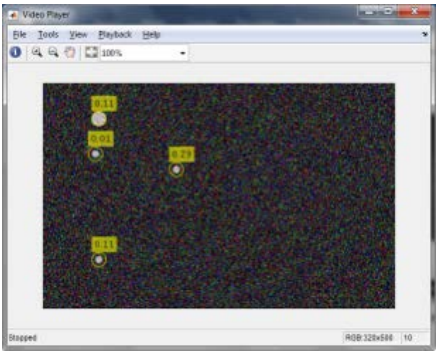



Рис. 4. Фрагмент видеозаписи после выполнения программы

Программное обеспечение выделяет движущиеся объекты, а также указывает скорость, с которой двигаются объекты в режиме реального времени. Для создания реалистичной ситуации в исходный видеофайл искусственно добавлена шумовая составляющая. Для повышения точности определения скорости движущихся объектов в видеопотоке была использована фильтрация Калмана.

У фильтра Калмана есть недостатки. В частности, качество его работы зависит от степени соответствия действительности моделей объекта наблюдения и измерительной системы, а также заложенных в фильтр априорных сведений о погрешностях, начальных условиях и возмущающих воздействиях. Указанные сведения известны всегда приближенно, и фильтрация не является полностью оптимальной.

Ограниченностью рассматриваемого фильтра является то, что он приспосабливается под заданную модель движения. То есть при изменении траектории движения с прямолинейного на криволинейную фильтр перестает работать с требуемой точностью. Для разрешения этой ситуации предлагается ввести систему из нескольких фильтров Калмана, представленную на рис. 5, с решающим устройством для переключения на требуемую модель движения.

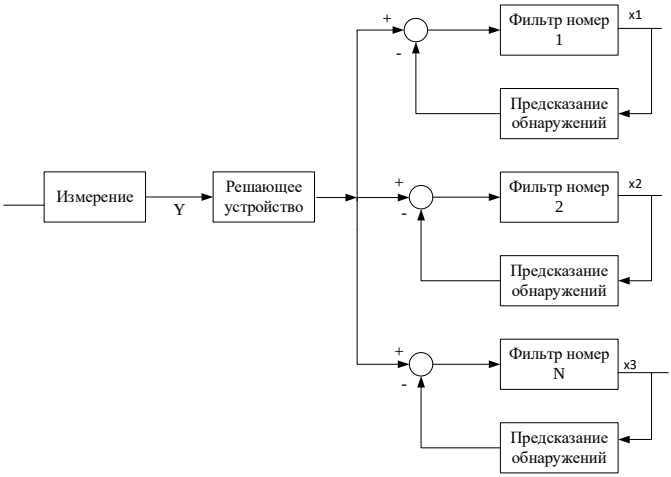



Рис. 5. Структурная схема системы фильтров Калмана

Представленная модель позволяет проводить натурные эксперименты для разработки алгоритмов сопровождения движущихся объектов, которые могут быть использованы, например, службами ГИБДД для обеспечения высокоточного отслеживания автомобилей нарушителей в видеопотоке, а также проводить эксперименты для улучшения работы аппаратуры систем компьютерного зрения.

Модель может быть использована для отладки программного обеспечения уже существующих систем с целью повышения вероятности правильного обнаружения, что необходимо при современных требованиях к системам компьютерного зрения.

**Библиографический список**

1. Szeliski R. Computer Vision. Algorithms and Applications. Washington: Springer. 2011. 793 p.

2. Welch Greg. An Introduction to the Kalman Filter / Greg Welch, Gary Bishop. 2001.

3. Grewal M. S. Kalman Filtering. Theory and Practice Using MATLAB / M. S. Grewal, A. P. Andrews. Wiley, 2001.

4. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.

5. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. М.: Вильямс, 2004.

6. Dan S. A Tracking Algorithm Based on SIFT and Kalman Filter / S. Dan, Zh. Baojun, T. Linbo // In Proceedings The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling. 2012.

7. Ханыков И. Г. Программный модуль автоматического выделения объектов // Информационные технологии в управлении. 2016.

**УДК 004.051**

***М. А. Яковлев***
магистрант кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов
***В. С. Павлов***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ БРАУЗЕРА

В современной сети Интернет существует большое количество сайтов, различающихся по тематике и функциональности. С увеличением сложности веб-приложений встает вопрос об увеличении эффективности работы с динамическим контентом в разрабатываемых приложениях.

Сейчас большое количество веб-приложений используют динамический контент посредством языка *JavaScript*. При этом многие динамические элементы в процессе жизни приложения многократно изменяются, например лента новостей в различных социальных сетях и новостных порталах. Возникает задача эффективного использования объектной модели браузера. Целью данной работы является рассмотрение метода повышения эффективности использования объектной модели браузера на основе выявления и компенсации негативных факторов при обработке веб-приложений на стороне пользователя.

Для анализа клиентских веб-приложений использовались инструменты разработчика *Chrome DevTools* [1].

Возможности *Chrome DevTools*:

1. Просмотр DOM-дерева (англ. *Document Object Model* – объектная модель документа).
2. Просмотр стилей, применяемых к элементам.
3. Отслеживание работы с сетью, просмотр загружаемых ресурсов, обмен данными по AJAX (англ. *Asynchronous JavaScript and* XML – асинхронный *JavaScript* и XML) и *WebSocket*.
4. Профилирование исполняемых *JavaScript* скриптов.
5. Просмотр локальных файлов *cookie*, *localstorage*, IndexedDB.
6. Инструменты разработчика позволяют оценивать производительность веб-приложения с помощью графиков зависимости количества узлов DOM-дерева, потребляемой памяти и затрачиваемой памяти GPU от времени.
7. Анализ времени обработки каждого действия браузера в веб-приложении «Чтение HTML, интерпретация *JavaScript*, наложение стилей и перерисовка».

Главная проблема DOM состоит в том, что он плохо подходит для создания динамического пользовательского интерфейса (UI). Мы можем работать с ним, используя *JavaScript* и библиотеки наподобие *jQuery*, но их использование не решает проблем с производительностью, если рассматривать такие проекты, как *Twitter*, *Facebook* или *Pinterest*. После небольшого скроллинга мы будем иметь десятки тысяч DOM-узлов, эффективно взаимодействовать с которыми затруднительно, поскольку это требует дополнительных затрат вычислительной мощности [2, 3].

Вместо того чтобы взаимодействовать с DOM напрямую, можно создать его копию, называемую VirtualDOM. В копию можно вносить изменения исходя из потребностей, а после этого применять изменения к реальному DOM. При этом происходит сравнение DOM-дерева с его виртуальной копией, определяется разница и запускается перерисовка того, что было изменено. Такой подход работает быстрее, потому что не включает в себя все части реального DOM [2].

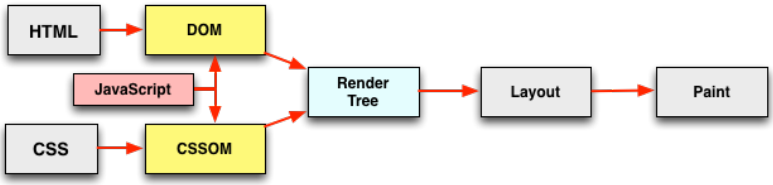
Для начала, рассмотрим последовательность работы браузера при отображении документа (см. рисунок).

1. Из полученного от сервера HTML-документа формируется DOM.
2. Загружаются и распознаются стили, формируется CSSOM (англ. CSS *Object Model* – объектная модель стилей).
3. На основе DOM и CSSOM формируется скомпонованное дерево отображения, или *rendertree* – набор объектов рендеринга (англ. *Rendering* – отрисовка), оно дублирует структуру DOM,

но сюда не попадают невидимые элементы (например, <head> или элементы со стилем display: none;). Также каждая строка текста представлена в дереве отображения как отдельный объект. Каждый объект рендеринга содержит соответствующий ему объект DOM или блок текста и рассчитанный для этого объекта стиль. Проще говоря, дерево отображения описывает визуальное представление DOM.

4. Для каждого элемента дерева отображения рассчитывается положение на странице – происходит создание макета (англ. *Layout*). Браузеры используют поточный метод, при котором в большинстве случаев достаточно одного прохода для размещения всех элементов (для таблиц проходов требуется больше).

5. В завершение происходит визуализация в браузере (англ. *Paint*) [4].




Процесс отображения документа в браузере

В ходе проведения исследования было разработано тестовое веб-приложение, заполняющее и удаляющее из таблицы строки с использованием языка *JavaScript*, библиотеки *jQuery* и Фреймворка (от англ. Framework – программная платформа) *Vue.js* [5], использующего технологию VirtualDOM.

В процессе исследования производился замер скорости заполнения таблицы на 10, 50, 100, 500, 1000, 5000 и 10000 строк, также замерялась скорость перерисовки и отображения элементов, вычислялся объем затрачиваемой оперативной памяти. Данные представлены в табличном виде: в верхней строке указывается количество изменяемых строк таблицы в формате «начальное количество строк – количество строк в конце эксперимента», в левом столбце указываются параметры, по которым делались замеры.

В табл. 1 приведены результаты измерений при использовании чистого *JavaScript* для изменения количества строк в таблице.

В табл. 2 приведены результаты измерений при использование библиотеки *jQuery*.

В табл. 3 приведены результаты измерений при использование Фреймворка *Vue.js*, использующего для работы с DOM-деревом технологию VirtualDOM.

Основываясь на результатах исследования, можно сделать вывод, что при изменении небольшого количества узлов DOM-дерева (менее 500 строк) полученные результаты не сильно различаются по итоговому времени обработки и отображения данных. Но при увеличении количества узлов DOM-дерева (более 500 узлов) использование технологии VirtualDOM на примере Фреймворка *Vue.js* явно начинает лидировать благодаря эффективному использованию DOM-дерева. Однако применение технологии VirtualDOM влечет за собой куда больший расход оперативной памяти для хранения копии DOM-дерева.

*Таблица 1*

Результаты измерений для *JavaScript*

| Количество строк | 0–10 | 10–50 | 50–100 | 100–500 | 500–1000 | 1000–5000 | 5000–10 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Диапазон памяти, используемой *JavaScript*, Мбайт | 4,6–5,46 | 4,8–4,98 | 4,88–5,26 | 4,82–5,88 | 4,94–6,08 | 4,88–8,12 | 4,38–8,74 |
| Время выполнения, мс | | | | | | | |
| Инициализация | 0 | 0,7 | 1,9 | 6,9 | 12,1 | 58,8 | 123,3 |
| Обработка | 15,54 | 16,44 | 20,64 | 79,08 | 153,28 | 747,3 | 1491,78 |
| Рендеринг | 18,14 | 35,52 | 36,1 | 110,91 | 196,16 | 932,28 | 1646,84 |
| Отрисовка | 3,44 | 11,42 | 21,78 | 21,26 | 21,46 | 18,32 | 23,74 |
| Итого | 37,12 | 64,08 | 80,42 | 238,79 | 383 | 1756,7 | 3285,66 |

*Таблица 2*

Результаты измерений для *jQuery*

| Количество строк | 0–10 | 10–50 | 50–100 | 100–500 | 500–1000 | 1000–5000 | 5000–10 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Диапазон памяти, используемой *JavaScript*, Мбайт | 5,4–5,6 | 5,4–6,0 | 5,4–6,3 | 5,4–7 | 5,6–7 | 5,6–11,5 | 5,6–16,2 |
| Время выполнения, мс | | | | | | | |
| Инициализация | 0,6 | 1,7 | 4,4 | 15,6 | 32,9 | 147,8 | 299,5 |
| Обработка | 31,5 | 24,6 | 60,7 | 190,9 | 338,7 | 1505,8 | 3183,4 |
| Рендеринг | 51,8 | 33 | 57,9 | 105,1 | 181,7 | 841,3 | 2011,5 |
| Отрисовка | 14,3 | 10,2 | 35,1 | 20,8 | 10,6 | 9,1 | 54,5 |
| Итого | 98,2 | 69,5 | 158,1 | 332,4 | 563,9 | 2504 | 5548,9 |

*Таблица 3*

Результаты измерений для *Vue.js*

| Количество строк | 0–10 | 10–50 | 50–100 | 100–500 | 500–1000 | 1000–5000 | 5000–10 000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Диапазон памяти, используемой *JavaScript*, Мбайт | 5,46–5,48 | 5,5–5,9 | 5,6–6,2 | 5,8–7,6 | 7,2–10,3 | 8,6–26,58 | 19,9–46,08 |
| Время выполнения, мс | | | | | | | |
| Инициализация | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Обработка | 12,08 | 26,7 | 27,74 | 109,12 | 157,14 | 760,78 | 1548,06 |
| Рендеринг | 25,46 | 48,36 | 33,52 | 93,6 | 151,16 | 729,92 | 1515,58 |
| Отрисовка | 3,94 | 20,04 | 18,68 | 23,72 | 29,24 | 8,04 | 24,32 |
| Итого | 41,48 | 95,1 | 79,94 | 226,44 | 337,54 | 1498,74 | 3087,96 |

После проведенного исследования можно дать следующую рекомендацию: если клиентское веб-приложение не обладает большим количеством динамически изменяемых данных, то использование технологии VirtualDOM будет излишним, поскольку скорость обработки не будет различаться с подходом, использующим *JavaScript* или *jQuery*, но объем потребляемой оперативной памяти будет выше. Однако, если на веб-странице имеется большое количество динамически изменяемого контента, подход с использованием VirtualDOM более эффективен по сравнению с подходом, использующим *jQuery* или обычный *JavaScript*.

В ходе проведения эксперимента все элементы создавались посредством метода document.createElement. Однако можно ускорить процесс обработки и вставки узлов в DOM-дерево посредством вставки html методом innerHTML, но стоит учитывать, что это не рекомендовано с точки зрения безопасности [6].

**Библиографический список**

1. Инструменты разработчика Chrome. URL: https://developer.chrome.com/devtools.

2. Antani V. Object-Oriented JavaScript. Third Edition. Packt Publishing, 2018. 459 p.

3. 10 способов минимизировать перекомпоновку страницы и повысить производительность. URL: http://prgssr.ru/development/10-sposobov-minimizirovat-perekomponovku.html.

4. Tali Garsiel and Paul Irish. How Browsers Work: Behind the Scenes of Modern Web Browsers. URL: https://www.html5rocks.com/en/tutorials/internals/howbrowserswork.

5. Macrae C. Vue.js: Up and Running: Building Accessible and Performant Web Apps. O'Reilly Media. 2018. 174 p.

6. Element.innerHTML. URL: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Element/innerHTML.

**УДК 004.056**

***Е. А. Ярославцева***
Студент кафедры прикладной математики, информатики и информационных таможенных технологий (Ивангородский филиал ГУАП)
***А. А. Сорокин***
научный руководитель

## АЛГОРИТМЫ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Двухфакторная аутентификация – это метод идентификации пользователя в каком-либо сервисе при помощи запроса аутентификационных данных двух разных типов, что обеспечивает двухслойную, а значит, более эффективную защиту аккаунта от несанкционированного проникновения [1].

Примером двухфакторной аутентификации может послужить процесс снятия наличных через банкомат. Для того чтобы получить денежные средства, необходима карта и PIN-код, который знает только владелец карты. Обладая картой, злоумышленник не сможет снять наличные, не зная PIN-кода, также и наоборот: зная PIN-код, злоумышленник не сможет снять денежные средства, не обладая картой. Подобным образом осуществляется доступ к аккаунтам в социальных сетях, почте и другим сервисам.

Наиболее широкое распространение сегодня получила вторичная аутентификация. Для подтверждения она использует SMS-коды, и это более безопасный вариант, чем локальное создание паролей в приложении.

*Преимущества:*

- при каждом входе происходит генерация нового пароля;
- привязка к телефонному номеру пользователя.

*Недостатки:*

- при отсутствии сигнала сотовой сети произвести вход невозможно;
- существует уязвимость: подмена номера через услугу оператора или работников салонов связи;
- если авторизация происходит через мобильное устройство (например, смартфон) и получение кода происходит через то же устройство, то защита перестает быть двухфакторной.

Приложение-аутентификатор – программное обеспечение (ПО), используемое для генерации кода. При входе в систему используется первичный ключ, в котором содержится одноразовый пароль на основе криптографического алгоритма ограниченного срока действия (как правило, до одной минуты). Даже в случае перехвата злоумышленником одного пароля до момента начала сессии спустя некоторое время он потеряет свою актуальность [2].

*Преимущества:*

- необходимо только подключение к Интернету для первичной настройки;
- поддержка мультиаккаунтов.

*Недостатки:*

- при взломе сервера или получении доступа к первичному ключу злоумышленник сможет генерировать новые пароли;
- если аутентификатор используется на том же устройстве, на котором осуществляется вход, то теряется двухфакторность.

Мобильные приложения используют подтверждение входа с мобильного устройства пользователя, на котором установлено приложение сервиса. На устройстве пользователя хранится приватный ключ, который проверяется при каждом входе [3].

*Преимущества:*

- не нужно вводить пароль при входе;
- не требуется сотовая связь или SMS-служба, а в некоторых случаях – Интернет;
- поддержка мультиаккаунтов.

*Недостатки:*

- при перехвате ключа возможна подделка идентификатора;
- смысл двухфакторной аутентификации теряется при использовании одного и того же устройства для входа.

Использование аппаратных токенов – один из самых надежных способов двухфакторной аутентификации. В отличие от всех перечисленных выше способов применение внешнего устройства позволяет избежать потери двухфакторности, как в случае использования на одном устройстве.

*Преимущества:*

- нет надобности в использовании мобильного телефона;
- полностью самостоятельное устройство.

*Недостатки:*

- устройство покупается отдельно;
- не все сервисы поддерживают данный метод;
- на несколько аккаунтов необходимо несколько токенов;
- потеря токена влечет за собой взлом системы злоумышленником.

Стандарт U2F (*Universal Second Factor*) – это открытый бездрайверный протокол, использующий для двухфакторной аутентификации специальные USB-, NFC-, Bluetooth LE-устройства или SIM-карту, которые хранят ключи и самостоятельно выполняют криптографические операции [4].

Протокол основан на *challenge-response* аутентификации с помощью электронной цифровой подписи.

Работа с протоколом для пользователя довольно проста: необходимо ввести логин и пароль, вставить в компьютер USB- (или использовать *Bluetooth*- или NFC-) U2F-устройство (нажать на нем кнопку, ввести PIN-код, пройти биометрическую проверку или не делать ничего) и успешно пройти аутентификацию.

Взаимодействие с U2F-клиентом (например, браузером или *Windows* 10) проходит следующим образом.

Пользователь вводит логин и пароль, сервер проверяет учетные данные и, если они верны, генерирует случайный *challenge* и отправляет его клиентскому ПО, которое, в свою очередь, передает его U2F-устройству. U2F-устройство ожидает подтверждения дальнейших операций пользователем и затем возвращает клиентскому ПО подписанный *challenge*, который передается дальше на сервер для проверки подписи.

Особенности:

- Для защиты клиентское ПО добавляет к *challengeorigin* URL, TLS *channel* ID перед отправкой U2F-устройству, а сервер после получения подписи проверяет полученные данные.
- Каждая подпись и регистрация увеличивает состояние счетчика на единицу. Если U2F-устройство будет клонировано, то состояние счетчика клонированного устройства будет меньше, чем состояние счетчика оригинального устройства, что вызовет ошибку во время верификации.
- Для того чтобы избежать небезопасных реализаций, каждое U2F-устройство имеет встроенный сертификат, гарантирующий клиентскому ПО и серверу, что оно является аппаратным и сертифицировано альянсом FIDO.
- Чтобы не подписывать все одной парой ключей, при регистрации сервер передает вместе с *challenge* параметры *application* ID и *randomseed*, на основе которых U2F-устройство и генерирует уникальную пару Registering Dependent Keys. Причем ее способ генерации не описан в протоколе и полностью отдан на усмотрение изготовителя устройства. За счет того, что пара ключей уникальна для каждой регистрации, становится возможным использовать совместно одно U2F-устройство для множества аккаунтов.
- Пользователь обязан подтвердить свое решение на двухфакторную аутентификацию. Как уже говорилось ранее, это может быть простое нажатие на кнопку, ввод PIN-кода, снятие отпечатка пальца или что-то другое [4].

Использование двухфакторной аутентификации, на первый взгляд, может показаться неудобным или сложным, но все затруднения оправданны, когда речь идет о безопасности платежных данных или личной информации, не предназначенной для чужих глаз. Все рассмотренные алгоритмы обладают рядом достоинств, но имеют и недостатки. Идеальное соотношение степени защиты и удобства каждый пользователь выбирает для себя сам.

**Библиографический список**

1. Официальный сайт «Лаборатория Касперского». URL: https://blog.kaspersky.ru/what_is_two_factor_authenticatio/4272.

2. Бирюков А. А. Информационная безопасность: защита и нападение. М.: ДМК, 2013. 473 с.

3. Давыдов А. Е. Защита и безопасность ведомственных интегрированных инфокоммуникационных систем /А. Е. Давыдов, Р. В. Максимов, О. К. Савицкий. М.: ОАО «Воентелеком», 2015. 519 с.

4. Официальный сайт «Tproger». URL: https://tproger.ru/articles/fido-u2f.

**УДК 004.514+004.652.8**

***А. М. Архипов***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

# ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА РАБОТЫ С ДАННЫМИ ПО ФИТОПЛАНКТОНУ

Проблема интенсивного «цветения» воды очень остро стоит для самых разных акваторий. «Цветением» воды считают массовое развитие одного или 2–3 видов фитопланктона, сопровождающиеся значительным ухудшением качества воды. Интенсивное и зачастую вредоносное цветение водорослей резко возросло в последние 20–30 лет и охватило как пресные, так и морские водоемы. Как считают гидробиологи, это вызвано целым комплексом факторов, таких как изменение климата, поступление в воду большого количества различных минеральных и органических веществ, связанное с интенсификацией хозяйственной деятельности человека. Вредоносное цветение может оказать угнетающее действие на водную биоту из-за кислородного голодания и выделения токсичных метаболитов [1].

С целью составления прогнозов цветения и получения научных данных, в Финском заливе проводятся мероприятия мониторинга путем забора водных проб *in situ* с зафиксированных станций водоема, в ходе этих мероприятий накапливается большое количество данных о фитопланктоне в составе воды.

Для систематизации накопления данных об отобранных в акватории Финского залива пробах *in situ* на кафедре компьютерных технологий и программной инженерии ГУАП была спроектирована система гидробиологического мониторинга, использующая базу данных под управлением СУБД PostgreSQL. Реализованная модель базы данных отвечает требованиям нормальной формы, накопленные данные хранятся во множестве таблиц и являются четырехмерными, т. е. распределенными во времени и пространстве (время, широта, долгота и глубина).

Освоение синтаксиса и принципов построения SQL-запросов в СУБД достаточно трудоемкий процесс, из-за этого сотрудники Северо-Западного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды до сих пор вынуждены хранить, редактировать и анализировать данные гидробиологического мониторинга в программном пакете Microsoft Excel. В связи с этим потенциальным пользователям проекта требуется предоставить автоматизированную веб-геоинформационную систему (далее веб-ГИС) с продуманным и интуитивным пользовательским интерфейсом, которая будет взаимодействовать с разработанной базой данных, т.е. предоставлять пользователю возможность обновлять, удалять, и добавлять данные о пробах воды.

В данной работе рассматривается создание подсистемы веб-ГИС, а именно – пользовательского веб-интерфейса для отображения и редактирования данных по пробам фитопланктона, которые отбираются при проведении мониторинга состояния водоема *in situ*.

Для реализации данной подсистемы необходимо:

- создать программный интерфейс в СУБД для упрощения доступа к данным мониторинга фитопланктона;
- автоматизировать операции удаления, обновления, добавления данных о пробах фитопланктона для программного интерфейса путем создания хранимых процедур;

– реализовать веб-интерфейс пользователя;
– разграничить функционал созданного веб-интерфейса в зависимости от прав доступа пользователя в веб-ГИС.

Программный интерфейс подсистемы реализуется путем создания представлений в СУБД. Представления (объект VIEW) позволяют скрыть сложную структуру отношений БД от разработчика, упростить доступ к данным и уменьшить объем программного кода серверной части подсистемы. Отношения, использованные для создания программного интерфейса, представлены на рис. 1.

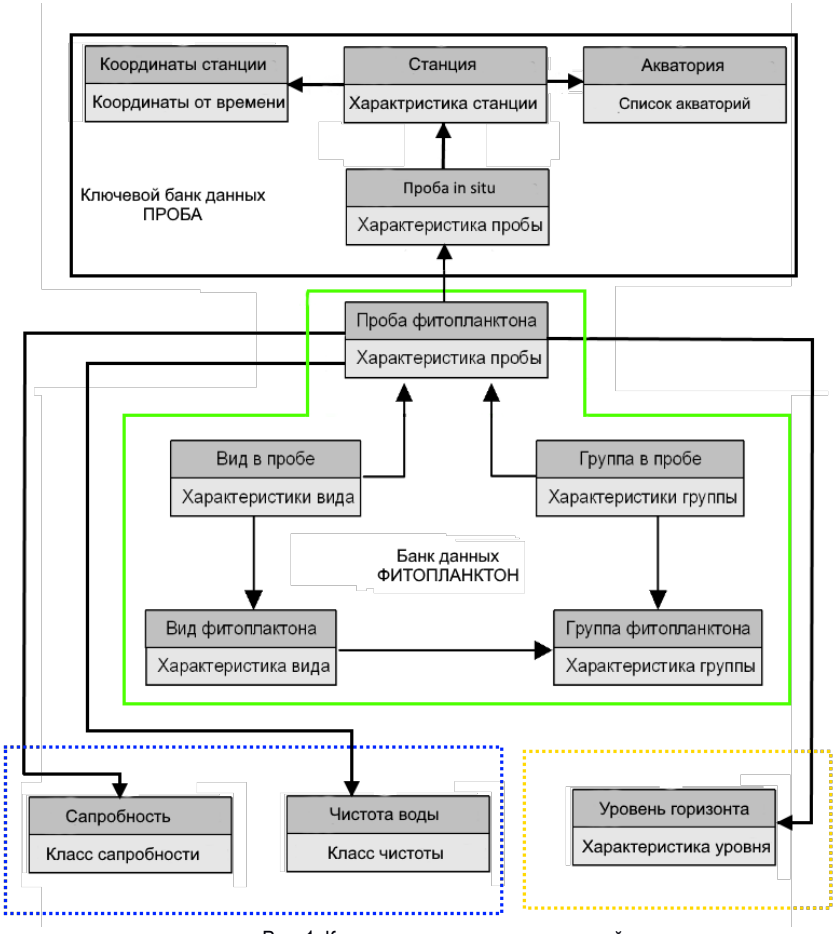



Рис. 1. Концептуальная схема отношений

Особенностью СУБД PostgreSQL, является то, что запросы к представлениям на редактирование данных в ней не автоматизированы. Поэтому для каждого представления были сформулированы триггеры в виде правил (объект RULE) для добавления, обновления и удаления данных. Данные правила срабатывают как триггеры INSTEAD OF при поступлении SQL-запросов на редактирование данных к представлениям. В рамках создания программного интерфейса всего было реализовано три представления с сопутствующими правилами. Каждое из созданных правил строго сохраняет целостность данных и проверяет их на корректность.

Пользовательский веб-интерфейс подсистемы создавался с использованием следующих технологий.

- Язык PHP для разработки серверной части подсистемы.
- База данных гидробиологического мониторинга под управлением СУБД PostgreSQL как источник исходных данных мониторинга.
- Фреймворк Laravel и шаблон проектирования MVC как основа архитектуры подсистемы.
- Язык JavaScript для управления контентом веб-интерфейса.
- Технология AJAX для обеспечения передачи данных в фоновом режиме.
- Библиотека с открытым исходным кодом GijgoGrid для создания интерактивных таблиц.

Диаграмма взаимодействия пользователя с шаблоном проектирования MVC (модель-представление-контроллер) представлена на рис. 2:

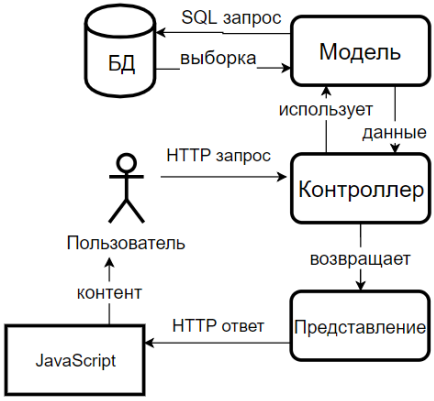



Рис. 2. Диаграмма взаимодействия пользователя с подсистемой

С помощью графического интерфейса пользователь посылает HTTP – запрос на контроллер, который использует модель в качестве структуры данных, в свою очередь модель производит манипуляции с БД. Следующим шагом контроллер возвращает представление с результатом SQL-запроса в виде HTTP-ответа, который средствами JavaScript преобразуется в динамический контент страницы. В данном случае модели и контроллеры – это PHP-классы, создаваемые в проекте Laravel, а представления – шаблоны Blade, содержащие HTML разметку, или структуру данных в виде массива JSON.

В ходе заполнения шаблона MVC были разработаны модели, контроллеры и представления для программного интерфейса проб фитопланктона, что позволило достичь следующего функционала:

- Получение данных.
- Добавление данных.
- Удаление данных.
- Обновление данных.
- Живой поиск по данным.
- Фильтрация данных.

Построение архитектуры на основе объектно-ориентированного подхода с применением данного архитектурного шаблона улучшает структурированность, масштабируемость и надежность программной подсистемы, облегчает ее модификацию и сопровождение [2].

Графический интерфейс пользователя представляет собой интерактивные таблицы для отображения и редактирования данных о пробах фитопланктона. Для защиты от случайных или необдуманных действий пользователя был введен механизм отмены операций редактирования записей таблиц (в том числе и в БД). Также весь функционал пользовательского веб-интерфейса разделен в зависимости от прав доступа пользователя в веб-ГИС.

Пример интерактивной таблицы представлен на рис. 3.

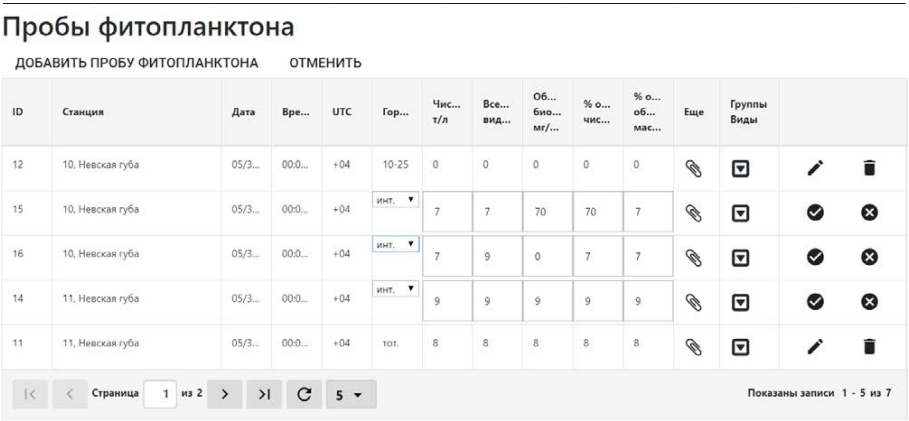



Рис. 3. Интерактивная таблица пользовательского интерфейса

В данной работе было рассмотрено создание интуитивного пользовательского веб-интерфейса для отображения и редактирования данных по фитопланктону с помощью шаблона проектирования MVC. Для упрощения доступа к данным в СУБД реализован программный интерфейс в виде представлений, скрывающих сложную структуру базы данных от разработчика. Также разграничение функционала интерфейса пользователя в зависимости от его прав доступа в веб-ГИС обеспечивает безопасность и сохранность информации, хранящейся в базе данных гидробиологического мониторинга.

**Библиографический список**

1. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 54–72.

2. MVC. CMS. Знакомство с Opencart URL: http://project260218.tilda.ws/lecture14 (дата обращения: 12.05.2018).

**УДК 004.92**

***А. М. Воробьев***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

## ПОДСИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ КАРТ НА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В современном мире возрос интерес к исследованию земного шара. Люди открывают, исследуют, находят и высчитывают что-то новое, получая тем самым новую информацию об окружающем мире. Компьютеры значительно упрощают многие процессы сбора, хранения и обработки информации и применяются в самых разных сферах деятельности человека для решения огромного количества задач. Картография не стала исключением, поэтому с появлением компьютеров человек начал совершать попытки создать карту на компьютере. С возрастанием возможностей компьютера возросло и количество задач, которые могут решаться посредством таких карт (указание характеристик того или иного объекта, их расчет и т.п.). Таким образом, примитивные бумажные карты эволюционировали в современные ГИС (геоинформационные системы). На сегодняшний день данные системы востребованы во многих областях деятельности человека: недвижимость, транспорт, экология, государственный и муниципальный сектор, в промышленности и т.п.

*Принцип работы*

Данные, которые получают исследователи в ходе экспериментов и систематического мониторинга, сохраняются на различных носителях информации. Зачастую такими носителями являются всевозможные карты и схемы. С помощью разнообразных систем процессы сбора, обработки и отображения информации автоматизируются, что позволяет людям акцентировать большее внимание на решении проблемы, а не терять время на обработку данных. Одной из таких систем и является геоинформационная система, сокращенно ГИС. Она позволяет решать различного рода задачи и адаптирована для пользователей с любым уровнем знаний и степенью подготовки.

Данные, которые являются основой для работы ГИС, рассматриваемой в этой работе, получают посредством мониторинга. С помощью разнообразных технологий люди могут следить за водоемами, почвами, воздушным пространством Земли.

Отображение многомерных данных на картографической подложке является сложной задачей. Одним из способов визуализации таких данных является использование тепловых (температурных) карт, где одна из переменных отображается с помощью цвета, иногда с добавлением изолиний. Целью данной работы является разработка подсистемы визуализации тепловых карт с использованием API Яндекс.Карт для веб-геоинформационной системы гидробиологического мониторинга.

Для разработки данной системы был выбран язык программирования JavaScript, так как все вычислительные процессы происходят на стороне клиента, т.е. в браузере пользователя. Также в работе используются инструменты API Яндекс.Карт, а они работают именно с JS.

Из существующих картографических сервисов были выбраны Яндекс.Карты. Данная технология, по сравнению с аналогичными картографическими сервисами, является самой стабильной в работе. Она довольно популярная и постоянно пополняется новыми способами реализации различного рода задач, в том числе для отображения разнородной информации на картографической подложке.

*Реализация тепловых карт на стороне клиента. Метод многоугольников*

Метод многоугольников заключается в том, что поверх необходимой зоны на карте создается равномерная «сетка», благодаря который образуются точки, с которыми ведется дальнейшая работа (рис. 1).

Каждая точка имеет три значения: широта, долгота и третий параметр, который используется для визуализации данных с помощью цвета. Все точки полученной сетки отсортировываются по величине третьего параметра и образуют группы, в которых третий параметр имеет значение, входящее в диапазон своей группы. Когда точки разбиты на группы, начинается новая сортировка, где уже в группах точки разбиваются на подгруппы. Главным условием распределения в подгруппы является то, что точки должны быть расположены рядом друг с другом. Добиться этого позволяет применение алгоритма поиска соседа.

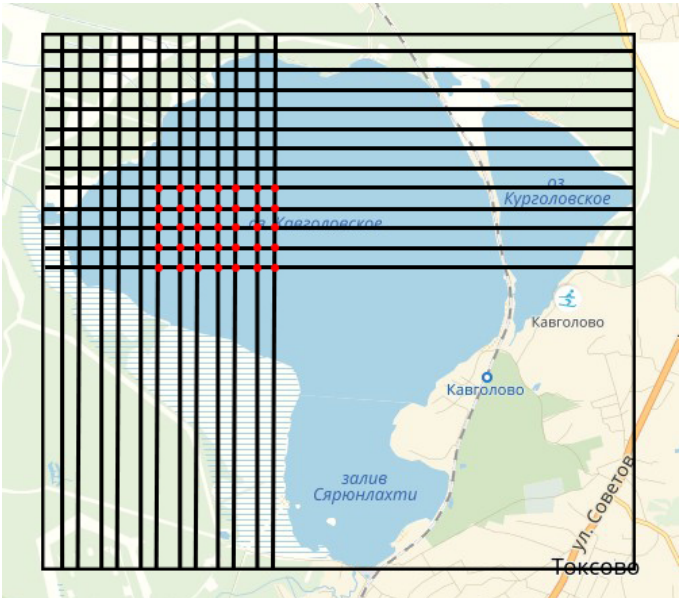



Рис. 1. Точки пересечения «сетки» (выделены красным цветом)

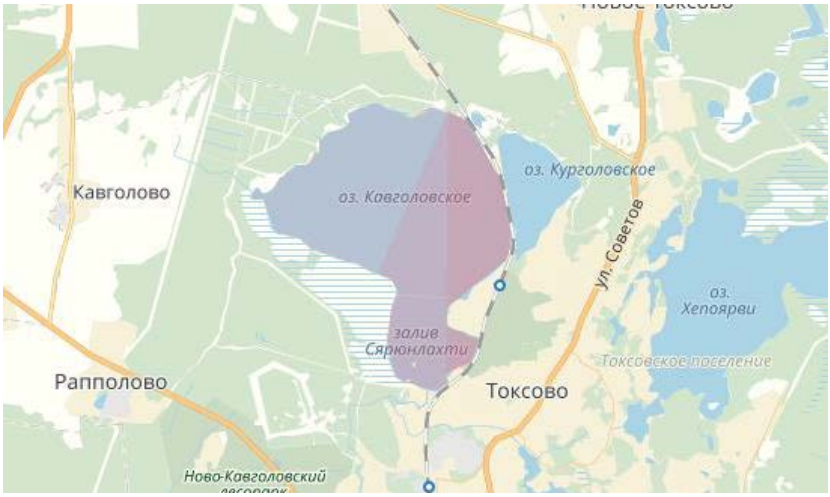



Рис. 2. Метод многоугольников

Правильно отсортированные точки необходимо отобразить на карте. Перед этим происходит исключение лишних точек из подгрупп, так как для построения плавных контуров необходимо найти минимальные выпуклые оболочки (далее МВО) в каждой из подгрупп. МВО называется выпуклая оболочка минимальной длины (минимального периметра). Для построения МВО был реализован алгоритм Грэхема (алгоритм построения минимальной выпуклой оболочки), который хорошо справляется со своей задачей.

Когда все области отсортированы, данные передаются в алгоритм построения и отображения многоугольников на картографической подложке (рис. 2).

Рис. 3. Блок-схема работы алгоритма по методу многоугольников

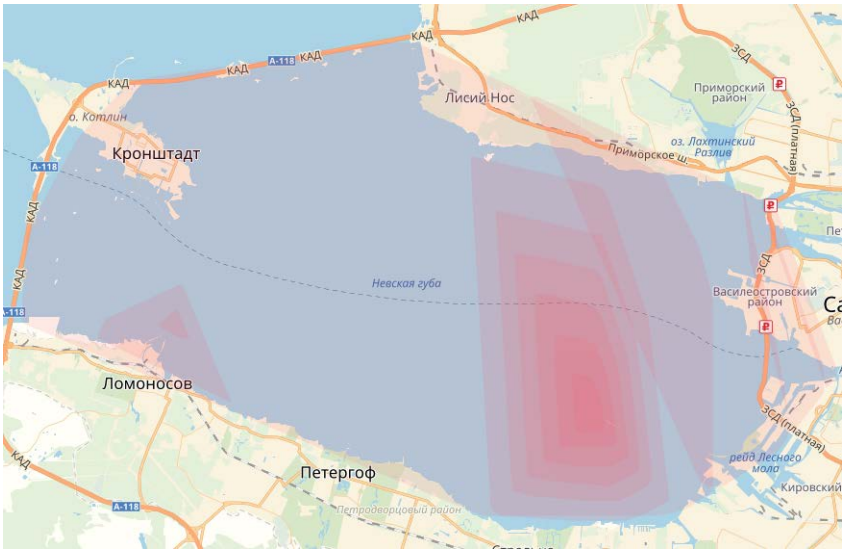



Рис. 4. Результат работы метода многоугольников

На рис. 3. изображена общая блок-схема алгоритма, основанного на методе многоугольников.

С помощью предложенного метода была отображена концентрация хлорофилла *a* на территории Невской губы. Результат работы алгоритма визуализации представлен на рис. 4.

**Библиографический список**

1. Моисеев Н. Н. Экология и образование. М., 1996. С. 24.

2. Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Экология, здоровье и природопользование в России / под ред. В. Ф. Протасова. М.: Финансы и статистика, 1995.

3. Ковин Р. В., Марков Н. Г. Геоинформационные системы. Томск: ТПУ, 2008. 175 с.

4. Как работает ГИС. URL: http://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n0000000r000000.htm (дата обращения: 6.05.2018).

5. Современный учебник Javascript. URL: https://learn.javascript.ru (дата обращения: 10.04.2018).

6. Построение минимальных выпуклых оболочек. URL: https://habr.com/post/144921/ (дата обращения: 16.04.2018).

**УДК 004.94**

***И. Ю. Горчаков***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ КАРТ ПО ДАННЫМ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Есть множество задач, решение которых связано с обработкой неравномерно распределенных данных. В особенности это касается больших систем, для которых во многих случаях возможно измерение лишь в некоторых рабочих точках и при работе с которыми принципиальным вопросом является учет системы координат. Например, моделирование рельефа, построение тепловых карт и т.д. Тепловые (температурные) карты позволяют отобразить сложные пространственные данные в понятном для человека виде.

Для того чтобы принимать какие-либо решения на основе данных мониторинга сложных динамических систем, человеку нужно эти данные легко понять, а поскольку данных много, и они имеют сложную структуру, то проще всего их воспринимать с помощью визуализации. Визуализированные области на карте в большинстве случаев отражают нужную информацию гораздо нагляднее, чем десятки страниц отчетов с таблицами. Повышается также структурированность информации, а значит, повышается эффективность ее анализа и обработки. Такая система по данным мониторинга позволяет решать задачи в различных областях: экологии, биологии, управления земельными и природными ресурсами, наблюдения за последствиями ЧС и оценки ущерба после них, и т.д.

Таким образом возникает задача визуализации данных гидробиологического мониторинга на тепловых картах.

*Постановка задачи*

Все данные, которые получают в ходе мониторинга, имеют нерегулярный характер и распределены в пространстве и во времени. Главная задача математической модели состоит в том, чтобы по имеющимся, неравномерно распределенным данным с помощью пространственной интерполяции и сопутствующих алгоритмов построить регулярную сетку. Данные с этой сетки будут использоваться на следующем шаге для визуализации информации на картографической подложке.

На вход модели поступают неравномерно распределенные данные о замерах какого-либо гидробиологического параметра в конкретных опорных точках Финского залива. Формат входных данных: объект (x, y, z), где x, y – координаты точек, а z – замеряемый параметр. На выходе разработанная математическая модель должна выдавать равномерную сетку с интерполированными промежуточными значениями измеряемой величины z, для дальнейшей визуализации на подложке Яндекс.Карт.

*Интерполяция методом построения триангуляции Делоне*

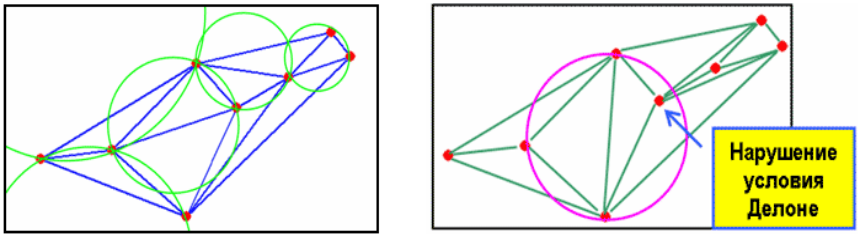
При решении задачи двумерной интерполяции на неравномерной сетке был использован метод нерегулярной триангуляционной сети. Этот метод использует алгоритм построения триангуляции Делоне.

Триангуляция называется триангуляцией Делоне при условии, что внутрь окружности, описанной вокруг каждого треугольника, не попадают точки множества. Рассмотрим реализацию условия Делоне на примере (рис. 1). Триангуляция, построенная синими линиями, является триангуляцией Делоне, поскольку она удовлетворяет этому условию (рис. 1. А, на нем окружности нарисованы не для всех треугольников только для того, чтобы не загромождать рис.) Триангуляция, которая построена зелеными линиями, не удовлетворяет условию Делоне (рис. 1. Б).

На рис. 2 приведен пример реализации триангуляции Делоне для сети станций измерения гидробиологических параметров в Невской губе.

*Экстраполяция*

Как видно на рис. 2, при использовании триангуляции мы можем интерполировать данные только внутри множества опорных точек. То есть если опорные точки находятся на каком-то расстоянии от берега, а, как правило, практически все опорные точки отдалены от береговой линии, то вычислить промежуточные данные переменной $Z$ вдоль берега мы не можем. Эту проблему можно решить с помощью экстраполяции.




а) б)

Рис. 1. Триангуляции Делоне

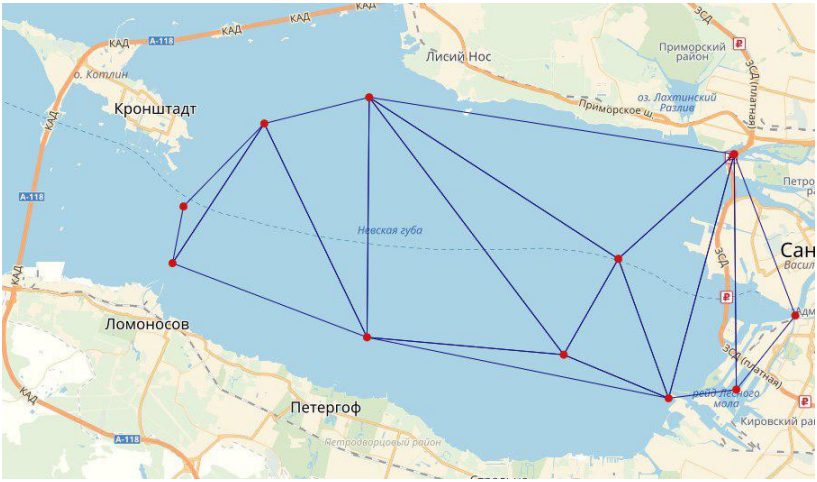



Рис. 2. Триангуляция Делоне, построенная по опорным точкам (обозначены красным)

Для осуществления экстраполяции перед построением триангуляции Делоне были добавлены дополнительные точки, которые лежат вне имеющейся нерегулярной сетки станций мониторинга. В этих точках были вычислены значения переменной $Z$ по методу обратного взвешенного расстояния:

$$C_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i}{f_i * F}, \; F = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{f_i},$$

где $C_j$ – значение переменной $Z$ в дополнительных точках; $a_i$ – значение переменной $Z$ в опорных точках; $f_i$ – расстояние от дополнительной точки до точки со значением $a_i$; $n$ – количество опорных точек.

И только после этого строится триангуляция Делоне по исходным опорным точкам вместе с добавленными дополнительными точками. То есть, по сути, как таковой экстраполяции в классическом виде нет. Мы добавили дополнительные точки, а дальше решаем все ту же задачу интерполяции.

На рис. 3 приведен пример реализации триангуляции Делоне с экстраполяцией для той же выборки станций гидробиологического мониторинга в Невской губе.

Благодаря интерполяции пространственных данных на неравномерной сетке с использованием триангуляции Делоне был разработан инструментарий для построения равномерной сетки за минимальное время в браузере пользователя по опорным точкам.

Результат отображения полученной равномерной сетки на подложке Яндекс.Карт продемонстрирован на рис. 4.

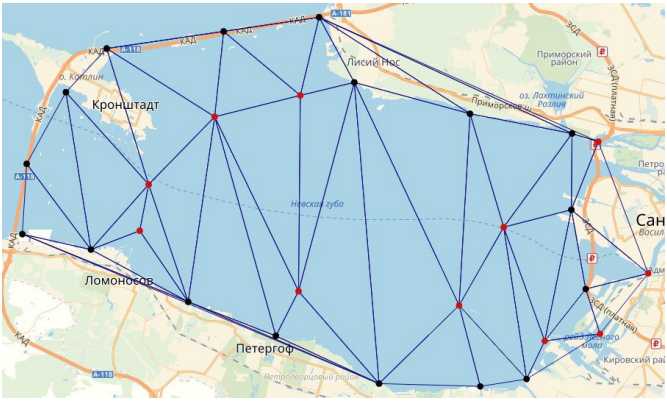



Рис. 3. Триангуляция Делоне, построенная по опорным точкам
(обозначены красным цветом) и дополнительным точкам (обозначены черным)

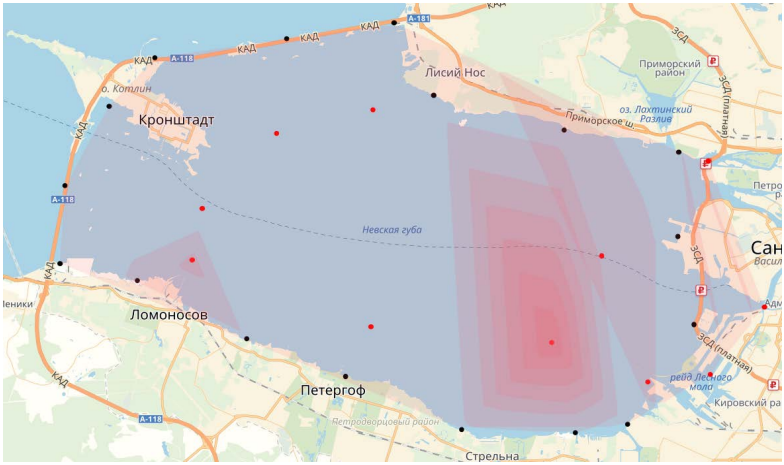



Рис. 4. Результат визуализации равномерной сетки
на картографической подложке методом многоугольников

Для более плавного изменения значений между опорными точками в дальнейшем могут быть использованы алгоритмы сглаживания.

**Библиографический список**

1. Афанасьев Ю. А., Фомин С. А., Меньшиков В. В. и др. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. М.: МНЭПУ, 2001.

2. Геоинформационные системы. URL: http://gis-laris.narod.ru/ (дата обращения: 15.04.2018).

3. Методы интерполяции и аппроксимации. URL: http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MBB/uchebnaya_rabota/Моделирование%20систем/Tab/Interp_app.pdf (дата обращения: 25.04.2018).

4. Мальцев К. А., Мухарамова С. С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer). Казань: КГУ, 2014. 103 с.

5. Вычислительная геометрия. Триангуляция. URL: http://rain.ifmo.ru/cat/data/theory/math/triangulation-2008/article.pdf (дата обращения: 30.04.2018).

**УДК** 004.415.25 65.011.56

***Е. Ю. Гурьянов***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***А. А. Ключарев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИСКАЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Фискальный аппарат (рис. 1) состоит из печатающего устройства, системной платы, на которой находится основной процессор фискального аппарата и фискального накопителя. Фискальный накопитель – это устройство для шифрования и защиты фискальных данных. Фискальные данные – сведения о расчетах, в том числе сведения об организации или индивидуальном предпринимателе, осуществляющих расчеты, о контрольно-кассовой технике, применяемой при осуществлении расчетов, и иные сведения, сформированные контрольно-кассовой техникой или оператором фискальных данных. Назначение устройства в том, чтобы записывать и хранить в некорректируемом виде фискальные данные. А также производить сверку фискальных документов, подтверждающих факт передачи фискальных данных оператору фискальных данных и обеспечивать конфиденциальность передаваемой информации накопителя.

Рис. 1. Внешний вид фискального аппарата Штрих-ON-LINE

Ранее в фискальных аппаратах использовали электронные кассовые ленты защищенные, фискальные данные на которую просто сохранялись и могли быть получены только путем физической передачи в налоговую. Однако недавно вышел закон, обязывающий всех предпринимателей передавать данные о продажах в налоговую в момент совершения сделки (рис. 2), посредником в этой операции служит оператор фискальных данных, ему и должен отправлять данные фискальный аппарат через интернет [1].

На данный момент большую часть продаж занимают системы электронной коммерции, которые проводят продажи через сеть Интернет. В качестве тестовой среды разработки был выбран Фреймворк Webasyst. Обусловлено это тем, что он включает в себя CMS (система управления содержимым) Shop-script, которая позволяет создавать свои системы электронной коммерции чем и пользуются предприниматели. Shop-Script набирает популярность в странах СНГ, на что указывает большое количество разрабатываемых на нем продуктов [2].

В настоящее время для взаимодействия с фискальными аппаратами данная CMS предлагает только решение, обязывающее иметь для каждой точки продаж работающий компьютер с предустановленной на ней программой на базе Windows. В данном случае необходимо для каждой точки приобретать полноценный персональный компьютер, постоянно подключенный к сети, что влечет за собой расходы и неудобство использования ввиду того, что персональный компьютер занимает место.

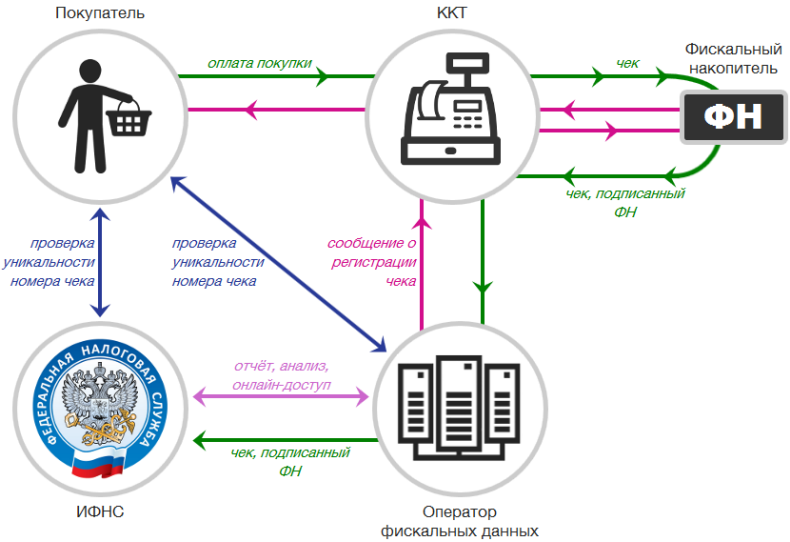



Рис. 2. Схема обмена данными между продавцом и налоговой

Также Shop-script предлагает интеграции с другими системами, которые фактически являются отдельными системами продаж и уже имеют свои интерфейсы для передачи данных о продажах в налоговую. Это означает, что помимо своей системы продаж, необходимо покупать еще другие и заключать новые договора, что также неудобно и влечет расходы.

Цель работы состоит в максимальном упрощении выполнения условий закона, для систем интернет коммерции и удовлетворении следующих показателей:

1) простота;
2) удобство;
3) дешевизна системы.

Задача заключается в разработке системы управления фискальным аппаратом.

Система будет разделена на следующие части:

1. Подсистема взаимодействия с сервером данных – необходима для передачи данных о продажах и хранения протоколов работы подсистемы управления печатью;
2. Подсистема управления печатью – предназначена для управления фискальным аппаратом.

*Подсистема взаимодействия с сервером данных*

1. Отправляет запрос на печать подсистеме управления печатью.
2. Отвечает на запрос о содержимом заказа.
3. Сохраняет информацию о работе подсистемы управления печатью.

Данная подсистема связана с системой оформления заказов магазина.

*Подсистема управления печатью*

Данная подсистема управляет обработкой таких фискальных документов как:

1. Отчет о регистрации.
2. Отчет об изменении параметров регистрации.
3. Отчет об открытии смены.
4. Отчет о закрытии смены.
5. Отчет о закрытии фискального накопителя.
6. Отчет о текущем состоянии расчетов.

Кассовые чеки:

– приход;
– расход;

– возврат прихода;
– возврат расхода;
– коррекции.

Кроме того, данная подсистема необходима для настройки печати и возврата серверу статусов печати чеков.

В качестве платформы для реализации данной системы был выбран одноплатный компьютер RaspberryPI 3, который отличается надежностью, низкой стоимостью, простотой использования и удобством размещения.

Для тестов выбрана операционная система Raspbian – это официальная операционная система для RaspberryPi, она разработана специально для этого устройства и имеет все необходимое программное обеспечение [3]. В дальнейшем планируется для оптимизации работы убрать лишние предустановленные пакеты в данной операционной системе.

В качестве языка программирования для создания подсистемы управления печатью был выбран C++.

Все операции обмена между подсистемой взаимодействия с сервером и подсистемой управления печатью будут подтверждаться следующим алгоритмом:

1) в обязательном порядке передается временная метка и подпись (могут быть также дополнительные параметры);

2) все параметры помимо подписи сортируются в алфавитном порядке, значения этих параметров склеиваются и в конце прибавляется секретный ключ, известный только отправителю и получателю;

3) получатель берет хешmd5 от склеенной строки и сравнивает с переданной подписью, которая генерируется по такому же алгоритму, но перед отправлением;

4) если полученный хеш и подпись равны, производится обработка переданной информации.

В работе рассмотрена система управления фискальным аппаратом. Данная система позволит уменьшить траты предпринимателей на выполнение закона, повысить простоту использования фискального аппарата – необходимо будет только подключить Raspberry к фискальному аппарату. Это решение позволит также повысить степень удобства пользования системой передачи чеков оператору фискальных данных, она будет занимать минимальное количество пространства. Кроме того, данная система может быть изменена под другие CMS, необходимо будет переписать лишь малую часть – подсистему взаимодействия с сервером данных. Нововведение позволит уменьшить затраты предпринимателей и оптимизировать их работу.

**Библиографический список**

1. Сроки передачи данных фискального чека в ФНС через онлайн-кассу. URL: https://www.ekam.ru/blogs/pos/srok-otpravki-cheka (дата обращения: 03.03.2018).

2. Лучшие CMS для интернет-магазинов. URL: http://www.ratingruneta.ru/cms/shop/#commercial (дата обращения: 03.03.2018).

3. Лучшие операционные системы RaspberryPI 3 Losst. URL: tps://losst.ru/luchshie-operatsionnye-sistemy-raspberry-pi-3 (дата обращения: 04.03.2018).

**УДК** 004.942 004.67

***М. М. Егоров***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***С. В. Щекин***
доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

## ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ ОБЩЕЙ МОДЕЛИ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Многообразие проблем, возникающих в практической деятельности человека, приводит к многообразию методов и моделей, используемых аналитиками для решения этих проблем и, в общем случае, к разным акцентам использования методологии системного анализа. Поэтому существует несколько общепринятых разновидностей системного анализа.

1. По назначению системного анализа.
2. По направленности вектора анализа.
3. По способу его осуществления.
4. По учету времени.
5. По характеру отражения жизни системы.

Нас интересует пункт 4 – по учету времени. Данная классификация различает 3 подвида анализа: ретроспективный, актуальный (ситуационный) и прогностический.

Рассмотрим подробнее назначение и взаимодействие данных методов:

1) ретроспективный анализ направлен на исследование прошлого системы или на влияние систем прошлого на процессы развития;

2) актуальный анализ занимается изучением поведения систем в настоящем, текущем времени;

3) прогностический анализ исследует будущие состояния и поведение систем и последствия, принимаемых в настоящее время решений.

Эти три вида анализа могут использоваться и по отдельности в зависимости от постановки задачи и вида решаемой проблемы. Но поскольку системно-исторический подход является необходимым элементом системного анализа, то, как правило, все эти виды анализа используются последовательно при полноценном системном анализе.

Зачастую крупные фирмы и разработчики не проводят анализа по учету времени, из-за категорично больших объемов своего программного обеспечения и отсутствия человеческих ресурсов. Однако стоит отметить, что подобного рода процедуры выполнять необходимо и рекомендуется не упускать из виду поддержание и обновление методов.

Перед тем как обосновывать необходимость и разрабатывать модель ретроспективного анализа, необходимо четко определить, что такое системное программное обеспечение. Системное программное обеспечение – это комплекс программ, которые обеспечивают управление компонентами компьютерной системы, такими как процессор; оперативная память; устройства ввода-вывода; сетевое оборудование, выступая как «межслойный интерфейс», с одной стороны которого аппаратура, а с другой – приложения пользователя. В отличие от прикладного программного обеспечения, системное не решает конкретные практические задачи, а лишь обеспечивает работу других программ, предоставляя им сервисные функции, абстрагирующие детали аппаратной и микропрограммной реализации вычислительной системы, управляет аппаратными ресурсами вычислительной системы.

Основными компонентами системного программного обеспечения принято считать следующие.

1. Операционные системы (эта программа загружается в ОЗУ при включении компьютера).
2. Программы – оболочки (обеспечивают более удобный и наглядный способ общения с компьютером, чем с помощью командной строки DOS, например, Norton Commander).
3. Операционные оболочки – интерфейсные системы, которые используются для создания графических интерфейсов, мультипрограммирования и т.п.
4. Драйверы (программы, предназначенные для управления портами периферийных устройств, обычно загружаются в оперативную память при запуске компьютера).

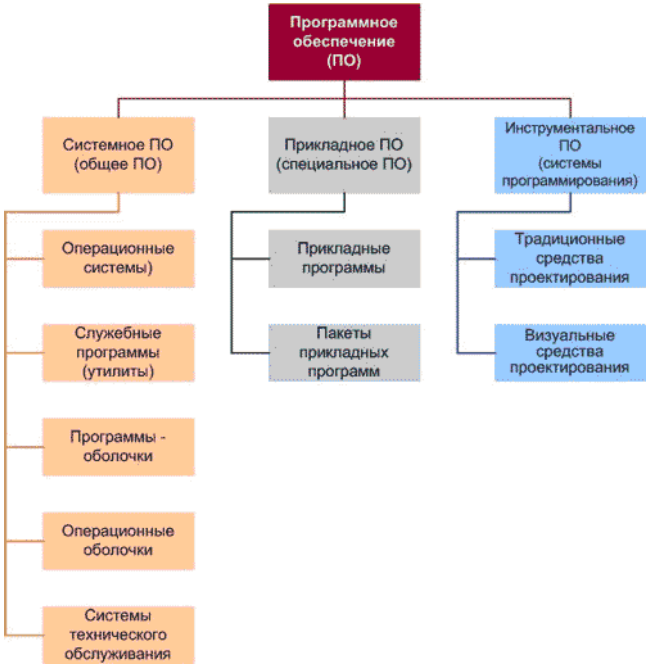



Схема деления программного обеспечения

5. Утилиты (вспомогательные или служебные программы, которые представляют пользователю ряд дополнительных услуг).

Возникает вопрос, в чем необходимость проводить анализ, казалось бы, таких устойчивых и постоянных компонентов?

Ответ очевиден. Улучшение качества собственного продукта и предоставление более стабильного программного компонента. К примеру, в медицине ретроспективный анализ является неотъемлемой частью генетического анализа. Во-первых, он дает исчерпывающую характеристику некоторого процесса в статике и в динамике за прошедший период. Во-вторых, выявляет ведущие тенденции действия, которые определяли некую ситуацию в прошлом (недавнем прошлом). Эти два параметра также применимы в нашем случае.

Теперь, зная все необходимое, можем составить общее понятие и модель проведения ретроспективного анализа.

Ретроспективный анализ системного программного обеспечения – это аналитические расчеты по своей методике, подходу направленные на разработку прогнозов, а сам анализ называется ретроспективным, так как используются данные за ряд прошедших лет.

Целью ретроспективного анализа является подготовка (сбор, обработка и систематизация) информации о развитии системного программного обеспечения и ее подсистем, о существующих тенденциях в экономических, технологических и других процессах развития национальных и мировых технологий для создания достоверных, научно обоснованных прогнозов развития системного программного обеспечения.

Общая модель включает в себя:

1. Анализ технологической реализации программ и состояния выполнения нового системного программного обеспечения в предпрогнозном периоде.

2. Качественный и количественный анализ установленных ранее целей развития системного программного обеспечения, обоснованности их ранжирования.

3. Качественный и количественный анализ установленных ранее технологических показателей.

4. Установление степени достижения целей развития и насыщения системного программного обеспечения.

5. Выявление дисбалансов в системном программном обеспечении, причин, вызвавших эти дисбалансы, нарушений пропорций между элементами системного программного обеспечения.

6. Выявление основных тенденций развития системного программного обеспечения в предпрогнозном периоде, включая и разработку трендовых моделей на основе временных рядов.

**Библиографический список**

1. Кадневский В. М. Тестовые методы и тесты в цивилизационном процессе. Омск: ОГУ им. Ф.М. Достоевского, 2015. 363 с.

2. Аветисян А. И. Современные методы статического и динамического анализа программ для автоматизации процессов повышения качества программного обеспечения. 2012. 271 с.

3. Ретроспективный анализ. Смысл ретроспективного анализа. URL: https://medicalplanet.su/100.html (дата обращения: 12.04.2018).

4. Добрынин А. С., Койнов Р. С., Кулаков С. М. Модель неполного жизненного цикла программного обеспечения // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/model-nepolnogo-zhiznennogo-tsikla-programmnogo-obespecheniya (дата обращения: 02.05.2018).

**УДК 004.032.26**

***А. Ю. Еремченко***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Ю. Охтилев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СО СМЕШАННОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Анализ временных рядов является важнейшим компонентом реальных приложений, таких как моделирование климата, прогнозирование веб-трафика, а также является важным предметом в экономике, бизнесе и финансах. Традиционно существует несколько методов для эффективного прогнозирования следующего значения временного ряда с заданным лагом, таких как одномерный авторегрессионный (AR); одномерное скользящее среднее (MA); простое экспоненциальное сглаживание (SES) и более сложные, авторегрессионные интегрированные модели скользящего среднего (ARIMA) и их вариации.

Основной алгоритм, который используется при построении модели:

1. Выявление выбросов.
2. Преобразование данных.
3. Выявление трендов.
4. Выявление периодичности.
5. Выбор порядка модели.
6. Оценка параметров.
7. Построение прогноза.

Важно отметить, что данный алгоритм является итеративным. Это означает, что, скорее всего, при его исполнении придется возвращаться к предыдущим шагам, когда версия модели на текущей итерации потерпит неудачу.

Практически все методологии обработки временных рядов подразумевают работу с достаточно устойчивыми рядами. Однако реальные данные не всегда этому соответствуют. Для того чтобы сгладить дисперсию и сделать ряды более стационарными используют различные преобразования. Для того чтобы решить, какое преобразование использовать для $y_t$ нужно найти $\lambda$, которая максимизирует функцию логарифмического правдоподобия:

$$L(\lambda) = -\frac{N}{2}\log\left\{\hat{\sigma}_y(\lambda)\right\} + (\lambda - 1)\sum_{t=1}^{N}\log y_t,$$

где $\hat{\sigma}_y(\lambda)$ – расчетное стандартное отклонение преобразованных данных, используя параметр $\lambda$. В [2] даны несколько стандартных преобразований с соответствующими $\lambda$, которые использовались при моделировании. Среди множества преобразований одним из лучших (при неизвестном типе распределения) считается преобразование Бокса-Кокса [3].

Очень часто наборы данных имеют тенденции (тренды). Чтобы выявить их, можно использовать фильтр дифференциации:

$$A(Z)\left(1 - z^{-1}\right)^d y_t = C(z)e_t.$$

Также может потребоваться значение шага сезонности. Аналогично выявлению тренда используется:

$$A(Z)\left(1 - z^{-s}\right)y_t = C(z)e_t.$$

При выборе порядка модели можно воспользоваться различными информационными критериями, например, Байесовским информационным критерием:

$$BIC = \ln(n)k - 2\ln\hat{L},$$

где $\hat{L}$ – максимизированное значение функции правдоподобия модели M, т.е. $L = p\left(x\middle|\hat{\theta},M\right)$, где $\hat{\theta}$ – значения параметров, которые максимизируют функцию правдоподобия; x – наблюдаемые данные; n – размер выборки; k – количество параметров, оцененных моделью.

Используя модель авторегрессии – скользящего среднего с добавленными экзогенными факторами (ARMAX), требуется найти многочлены, которые описывают данные в форме:

$$A(z)y_t = B(z)x_{t-d} + C(z)e_t,$$

где d – задержка между входом и выходом; A, B, C – полиномы в соответствии с:

$$P(z) = p_0 + p_1 z^{-1} + ... + p_n z^{-n}.$$

Следует выбрать полином A с использованием функции частичной автокорреляции и полином C с использованием функции автокорреляции для исходных данных.

У авторегрессионной модели AR(p) функция автокорреляции должна выглядеть как затухающая экспоненциальная и/или синусная функция, а функция частичной автокорреляции должна быть равна нулю для значений, больших p.

У модели скользящего среднего MA(q), функция автокорреляции должна быть равна нулю для значений, больших q, а функция частичной автокорреляции должна выглядеть как затухающая экспоненциальная и/или синусоидальная функции.

У модели авторегрессии – скользящего среднего ARMA(p,q), функция автокорреляции и функция частичной автокорреляции выглядят как затухающая экспоненциальная и/или синусовая функция для значений, больших, чем |p-q|.

Также следует осуществить переход от более общих моделей, таких как метод Бокса-Дженкинса, которые определяют только три шага итеративного подхода: идентификация, оценка, диагностика. К более конкретным моделям, таким как ARIMA (и их производным), которые определяют большее количество шагов (например, семь, как это определено ранее в данном тексте).

При оценке параметров существует выборность оценок. Одной общей оценкой при использовании ARMAX является МОП (метод ошибки прогнозирования). Идея состоит в том, чтобы минимизировать разницу между измерением и одношаговым предсказанием измерения:

$$\varepsilon_{t+1|t}(\theta) = t_{t+1} - y_{t+1|t}(\theta),$$

где $\varepsilon_{t+1|t}(\theta)$ – ошибка предсказания, $\hat{y}_{t+1|t}(\theta)$ – одношаговое предсказание, а $\theta$ – вектор параметров модели для $y_t$ [2].

Важно понимать, что рекурсивная модель также нуждается в рекурсивной оценке. Для этой задачи можно использовать рекурсивный МОП, используя либо фильтр Калмана (при использовании фильтра Калмана возникает вопрос о матрице $R_e$, которая содержит ковариационную матрицу изменений параметров за шаг времени, [который должен быть установлен], лучший результат заключался в установке значения, равному 0.005), либо коэффициент забывания $\lambda \in \{0...1\}$. Где 0 означает «не использовать данные», а 1 – «использовать все данные». Это необходимо для отслеживания динамического поведения в системе.

Предсказание заключается в том, чтобы дать обоснованное предположение о будущих значениях. Можно использовать оптимальный линейный предиктор, который будет сформирован как линейная комбинация предыдущих наблюдений:

$$\hat{y}_{t+k|t} = \sum_{l=0}^{n} w_l y_{t-1}.$$

Это справедливо для нормального распределенного процесса, который, как предполагается, является результатом теоремы 6.2 [2].

Для случая ARMAX оптимальным предиктором $y_{t+k}$ является:

$$\hat{y}_{t+k|t}(\theta) = E\{y_{t+k}|\theta\} = \hat{F}(z)E\{x_{t+k}|\theta\} + \frac{\hat{G}(z)}{C(z)}x_t + \frac{G(z)}{C(z)}y_t.$$

При анализе предсказания на k шагов вперед существуют некоторые нюансы, касающиеся разности между спрогнозированными значениями и реально зафиксированными, которые стоит учитывать. Прежде всего, для k=1, разности между спрогнозированными значениями и реально зафиксированными, должны представлять собой белый шум. Для k>1 разности между спрогнозированными значениями и реально зафиксированными должны быть такие же, как и в случае MA(k-1). Этот вывод сделан из того факта, что ошибка прогнозирования:

$$\varepsilon_{t+k|t} = y_{t+k} - \hat{y}_{t+k|t} = F(x)e_{t+k}.$$

В ходе выполнения работы было получено множество моделей, которые можно разделить условно на три категории.

1. Максимально общие модели – используют наименьшее количество параметров. Даже без удаления выбросов дают приемлемый результат.

2. Более интуитивно понятные модели, зависящие от большего количества параметров, которые фактически объясняют большую часть нестационарности в данных, но дающие более плохой результат, возможно из-за того, что увеличение числа параметров привод к попытке приписать «новое» поведение к исходным данным, которого там нет.

3. Модели с очень низким показателем дисперсии и хорошем результатом теста на нормальность, но с очень плохими результатами прогноза. Очевидно, что при обучении таких моделей происходила смена контекста обучения с корректности результатов прогнозирования на максимальную успешность прохождения тестов.

Для проверки результатов работы моделей, полученных в ходе экспериментов использовались следующие тесты: критерий Дарбина-Уотсона и Тест Бройша-Годфри. Q-тест Льюнг-Бокса пришлось отвергнуть из-за того, что в моделях чистых временных рядов он теряет свое асимптотическое обоснование.

**Библиографический список**

1. Hawkins J., Blakeslee S. On Intelligence: How a New Understanding of the Brain Will Lead to the Creation of Truly Intelligent Machines. Times Books. Reprint edition. April 1. 2007. P. 284.

2. Jakobsson A. An Introduction to Time Series Modeling. Student litteratur AB; UK edition (January 1, 2015). P. 387.

3. Box G.E., Cox D.R. An analysis of transformations // Journal of the Royal Statistical Society. Series B. 26. C. 211–252.

**УДК 528.8.04**

***М. С. Иванов***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***В. А. Матьяш***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время спутниковые данные, наблюдения являются важнейшим глобальным и периодическим источником информации, необходимой для изучения атмосферы и поверхности Земли. С каждым годом увеличивается число спутниковых систем, обладающих разнообразными характеристиками (пространственными, временными, спектральными), что порождает значительный рост получаемых данных и приводит к необходимости развивать соответствующие методы хранения, обработки и анализа, которые должны обеспечивать эффективную и быструю работу со спутниковыми данными. Особое внимание уделяется развитию программно-информационной составляющей, позволяющей пользователям искать, получать, обрабатывать и визуализировать спутниковую информацию. Решение задачи оценки состояния окружающей среды, претерпевающей изменения в зависимости от влияния естественных и антропогенных факторов, невозможно без достоверной информации о параметрах.

В настоящее время не существует наземной системы мониторинга, которая обеспечила бы регулярное, с широким пространственным охватом получение параметров окружающей среды. Единственно возможной является космическая система мониторинга окружающей среды, которая обеспечивает большую обзорность, оперативность и регулярность получения информации. Получаемые из космоса данные необходимо накапливать, обрабатывать и анализировать. В результате обработки появляется возможность получать информацию об основных параметрах атмосферы и поверхности Земли. Изучая пространственно-временное поведение параметров, описывающих состояние поверхности Земли (температура поверхности, коэффициент отражения, вегетационный индекс и др.), можно извлекать массу связанной с этими параметрами информации. Такой информацией, например, может быть изменение, которое связано с отличием типичного поведения параметра во времени или по пространству (примером является пожар).

Дистанционное зондирование Земли (ДДЗ) – это наука и совокупность технологий, которые получают, обрабатывают и интерпретируют информацию о различных объектах земной поверхности без прямого физического контакта с этой поверхностью, – посредством фиксирования отраженной солнечной энергии и излученной тепловой энергии (электромагнитного излучения) от земной поверхности, реализующегося сенсорами, расположенными на орбитальных спутниках планеты.

По сложившейся традиции, к ДДЗ относят данные, полученные с помощью съемочной аппаратуры наземного, воздушного или космического базирования, позволяющей получать изображения в одном или нескольких участках электромагнитного спектра. Главные характеристики ДДЗ определяются числом и градациями спектральных диапазонов; геометрическими особенностями получаемого изображения (вид проекции, распределение искажений), его разрешением.

Схема, приведенная на рис. 1, иллюстрирует общий принцип работы технологий ДЗЗ.

Одними из важнейших данных, которые позволяют исследовать происходящие на поверхности Земли процессы, являются вегетационные индексы. Классификация величин индексов и их взаимосвязей позволяет четко выделять объекты на Земле, которые относятся к разным типам поверхности. Классификация типов поверхности, поиск изменений необходимы в различных технологических, научных или экологических приложениях, связанных с контролем состояния лесных массивов, пахотных земель, строительных территорий, оценкой площади выгоревшего леса и прочее. Вегетационный индекс-показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) ДДЗ, и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Эффективность ВИ определяется особенностями отражения; эти индексы выведены, главным образом, эмпирически.

Если остановиться на задачах, связанных с растительностью, то в этом случае удобно использовать вегетационные индексы NDVI. Данный индекс удобен для идентификации типа отражающей по-

верхности. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, количественный показатель фотосинтетически активной биомассы. Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Идея расчета NDVI основана на спектральной зависимости коэффициента отражения растений, которая в красной области спектра содержит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, а в инфракрасной области содержит область максимального отражения типом и листовой структурой растений. Отношение спутниковых измерений, полученных в этих двух спектральных областях, позволяет четко отделять растительные объекты от прочих.

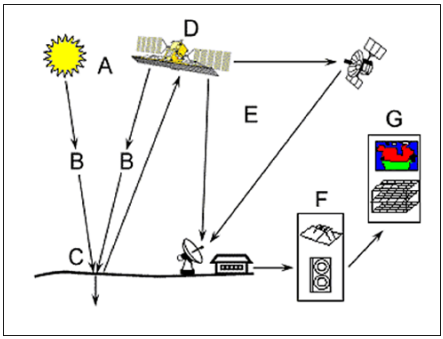



Рис. 1. Принцип работы технологий ДЗЗ: A – источник электромагнитной радиации (Солнце); B – прохождение солнечной радиации через Атмосферу при взаимодействии с ней к земной поверхности; C – отражение и испускание электромагнитного излучения от земной поверхности; D – фиксирование отраженной и испущенной энергии сенсором орбитального спутника и ее сохранение в специальном формате; E – передача и первичная обработка полученных данных; F – анализ данных (пользовательская обработка полученных данных с различными целями), интерпретация полученных результатов; G – конечное применение полученных результатов (разработка карт, написание статей, принятие решений и пр.).

Вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}},$$

где $\rho_{NIR}$ – отражение в ближней инфракрасной области спектра; $\rho_{RED}$– отражение в красной области спектра.

Зимой значения NDVI минимальны, а летом они максимальны (рис. 2). Вегетационный индекс обладает естественной межгодовой периодичностью, а значит, временной ряд содержит составляющие: трендовую, сезонную и случайную. Вариации значений вегетационного индекса в каждый конкретный день года могут быть значительными, поскольку они обусловливаются многими естественными причинами, такими как облачность, дождь, ветер, температура, прозрачность атмосферы и др. На рис. 2 приведены значения вегетационного индекса для пикселя в течение двух лет.

Данный вегетационный индекс позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

Благодаря этой особенности объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации. Это свойство довольно активно используется для регионального картирования и анализа различных типов ландшафтов и оценки ресурсов в масштабе стран и континентов.

Также на основе NDVI можно получать численные данные, используемые для оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных естественных и антропогенных бедствий.

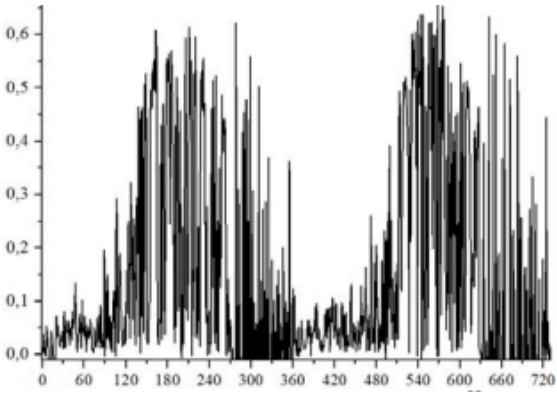



Рис. 2. Значения временного хода (два года) вегетационного индекса NDVI

Таблица 1

Значение индекса NDVI для различных объектов

| Тип объекта | Отражение в красной области спектра | Отражение в ближней инфракрасной области спектра | Значение *NDVI* |
|---|---|---|---|
| Густая растительность | 0,1 | 0,5 | 0,7 |
| Разреженная растительность | 0,1 | 0,3 | 0,5 |
| Открытая почва | 0,25 | 0,3 | 0,025 |
| Облака | 0,25 | 0,25 | 0 |
| Снег и лед | 0,375 | 0,35 | -0,05 |
| Вода | 0,02 | 0,01 | -0,25 |
| Искусственные материалы (бетон, асфальт) | 0,3 | 0,1 | -0,5 |

Методы распознавания растительности при анализе данных дистанционного зондирования стремительно развиваются и используются во многих отраслях в сельском хозяйстве, экологии: оценка состояния посевов, урожайности; отображение характеристик почвы; отображение практики обработки почвы и многое другое; поэтому данная тема является крайне полезной и актуальной в данное время. В настоящее время большинство карт растительности существенно устарели. Современный растительный покров отражен на глобальных картах растительности с небольшим разрешением. Это связано с тем, что недостаточно часто применяются алгоритмы для распознавания растительности из-за его сложности. С помощью моих наработок будут предложены новые идеи для реализации распознавания растительности при анализе данных дистанционного зондирования.

**Библиографический список**

1. Бабокин М. И. Авиационные и космические комплексы дистанционного зондирования Земли с интерферометрической обработкой многомерных сигналов: дис. …д-ра техн. наук. URL: http://нэб.рф/catalog/000199_000009_004608384/ (дата обращения: 12.04.2018).

2. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / под ред. В. В. Еремеева. М.: Физматлит, 2015. 459 с.

3. Черемисин М.В. Обработка информации комплекса активных и пассивных приборов дистанционного зондирования Земли при аэрокосмическом мониторинге: дис. ... канд. техн. наук. URL: http://www.dslib.net/sys-analiz/obrabotka-informacii-kompleksa-aktivnyh-i-passivnyh-priborov-distancionnogo.html (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК 004.021+004.056.3**

***С. А. Караванова***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Ю. Охтилев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ALFRESCO С ГАРАНТИРОВАННЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

Резервирование данных в системе внутреннего электронного документооборота (далее СВЭД) играет важную роль в здоровом функционировании предприятия, делопроизводство которого ведется через данную систему.

Если на предприятии, работающем в данной системе, не предусмотрено резервирования данных, то при возникновении нештатной ситуации, в результате которой могут быть потеряны данные, последствия будут или необратимыми, или трудно ликвидируемыми, что приведет к серьезному финансовому ущербу.

Поскольку полностью обезопасить себя от подобных ситуаций невозможно, необходимо свести к минимуму возможный ущерб. Для этого требуется периодически сохранять текущее состояние системы. Иначе говоря, создавать резервные копии.

В настоящее время одним из средств, позволяющим реализовать СВЭД, является BPM (Business Process Management) система Alfresco [1]. В работе разработка и реализация алгоритма, решающего проблемы резервирования данных, будет проводиться именно для этой системы.

Для всех систем есть некоторые ключевые файлы и папки, используя информацию из которых, можно восстановить систему в состояние, в котором она находилась на момент создания резервной копии. У Alfresco физический уровень хранения данных представлен в виде файлового хранилища, где расположены все документы и индексная информация, а также базы данных, в которой хранятся модели представления данных и бизнес-процессы, описывающие их взаимодействие [1].

Необходимо затронуть еще один аспект проблемы резервирования данных – надежность резервной копии. Ее создание достаточно длительный процесс, в течение которого могут возникнуть различные сбои как со стороны самого сервера, на котором развернута СВЭД, так и со стороны файловой системы. К сожалению, чаще всего, эти ошибки можно обнаружить только при попытке восстановления системы. Поэтому необходимо вести отчеты о результатах создания резервной копии, а штатный системный администратор должен регулярно их просматривать для того, чтобы своевременно обнаружить и устранить проблему.

Снятие резервных копий лучше проводить в периоды низкой активности СВЭД потому, что изменения файлов могут привести к ошибкам. Архивы предпочтительнее создавать тогда, когда в системе работает мало пользователей (ночью или в выходные дни). В этом случае архивирование будет происходить при минимальной вероятности изменения файлов, а сам процесс архивирования будет оказывать на пользователей минимальное влияние [2]. При выполнении резервирования «холодным» методом следует иметь ввиду, что сервера будут отключены, т.е. у пользователей будет отсутствовать доступ к ресурсам. Этот способ самый безопасный. И именно этот тип резервного копирования будет использован при разработке алгоритма.

Обсудив эти аспекты проблемы, можно сформулировать постановку задачи более конкретно.

Требуется выполнить резервирование данных системы, включающее:

- сохранение папки alf_data;
- сохранение состояния базы данных alfresco;
- проверка надежности резервной копии.

Алгоритм решения представлен на рис. 1.

Каждый этап создания копий проходит проверку. Как можно заметить, резервные копии, содержащие ошибки, удаляются с носителя информации и, соответственно, в списке доступных для восстановления фигурировать не будут. Это и позволяет дать гарантию, что доступные резервные копии, созданные в соответствии с предложенным алгоритмом, надежны.

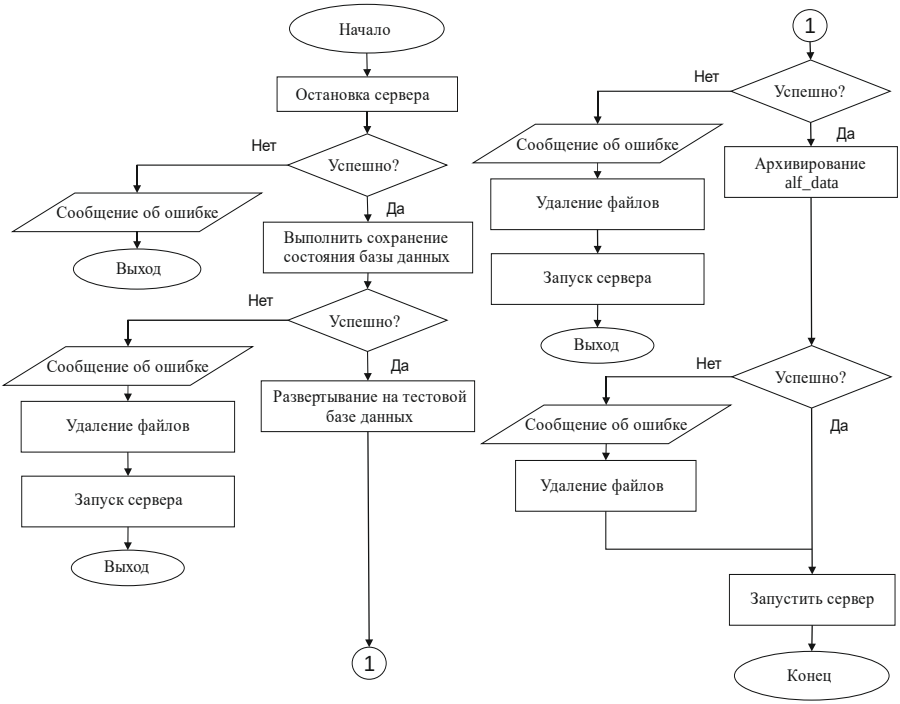



Рис. 1. Общий алгоритм создания резервной копии СВЭД Alfresco

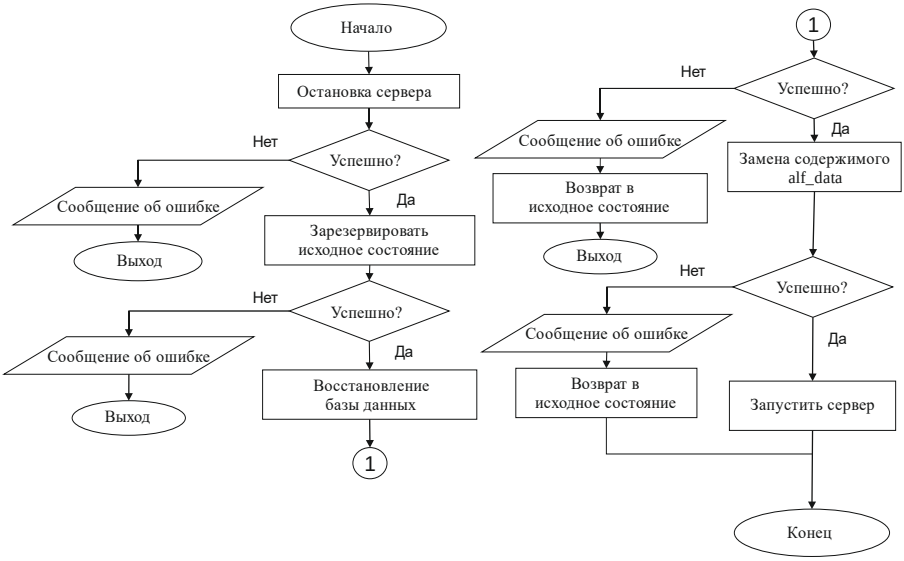



Рис. 2. Общий алгоритм восстановления системы из резервной копии

Задача резервирования данных включает в себя не только создание резервных копий, но и восстановление из них системы, и последнее является основной целью. Этот факт подтверждается даже общим названием, которое используется для всего оборудования и программного обеспечения, связанного с этим процессом, – «система резервного копирования» [3]. Поэтому параллельно составлению алгоритма создания резервной копии СВЭД Alfresco, был составлен алгоритм восстановления системы (рис. 2).

Как можно заметить, перед тем как начать производить какие-либо операции по изменению данных системы, она резервируется. Это необходимо для обеспечения возможности возвращения системы в исходное состояние, поскольку при восстановлении могут возникнуть различные сбои.

Результаты тестирования работоспособности алгоритмов приведены в таблице, из которой видно, что время создания резервной копии в основном зависит от размера архивируемых данных, что вполне логично.

*Таблица*

Результаты тестирования

| Номер теста | Время создания резервной копии (с) | Размер резервной копии (Mb) | Восстановимость |
|---|---|---|---|
| 1 | 32 | 52 | Да |
| 2 | 35 | 152 | Да |
| 3 | 39 | 201 | Да |
| 4 | 145 | 1214 | Да |

В работе была рассмотрена проблема резервирования данных в СВЭД Alfresco. Для ее решения был разработан алгоритм, с помощью которого можно реализовать программу создания резервных копий с гарантированным восстановлением. Также был составлен алгоритм восстановления системы из резервной копии. По результатам работы было проведено тестирование, на основании которого можно заключить, что поставленная задача решена полностью.

**Библиографический список**

1. Alfresco: Официальный сайт. URL: https://www.alfresco.com (дата обращения: 12.04.2018).

2. Немет Э., Снайдер Г., Хейн Т., Уэйли Б. Unix и Linux: руководство системного администратора / пер. Д.А. Клюшина. М.: Вильямс, 2012. 1312 с.

3. Лимончелли Т., Хоган К., Чейлап С.Системное и сетевое администрирование. Практическое руководство, 2-е изд. /пер. с англ. Ю. Белозерова, Р. Багаутдинов.СПб: Символ-Плюс, 2009. 944 с.

**УДК 004.946**

***А. С. Каратаев***
магистрант кафедры вычислительных систем и программирования
***А. В. Фомин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

На сегодняшний день все большее распространение получает технология дополненной реальности. Несмотря на то, что сам термин «дополненная реальность» относится к 1990-м гг., сегодня благодаря развитию технического прогресса возможности дополненной реальности в полной мере становятся доступными пользователям портативных вычислительных устройств. В текущее время под данным термином обычно понимают результат введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшении восприятия информации. Дополненная реальность нашла широкое применение в следующих областях человеческой деятельности: медицина, военная техника, полиграфия и компьютерные игры. Так, например, в современных лапароскопических операциях изображение на эндоскопе дополняется изображением, полученным во время интраоперативной ангиографии. Это позволяет хирургу точно знать, где находится опухоль внутри органа, и таким образом минимизировать потери здоровой ткани органа пациента во время операции по удалению опухоли.

Развитие технологии дополненной реальности связано с тем, что вычислительная мощность и набор датчиков в портативных аппаратных платформах позволяют производить наложение любых цифровых данных на получаемое в реальном времени изображение. На текущий момент существует достаточное количество программных каркасов для мобильных вычислительных устройств, позволяющих разработать сервис с поддержкой технологии дополненной реальности.

Технически каждое такое решение представляет собой систему визуальной инерциальной одометрии (VIO) с простым определением 2D плоскости. VIO обозначает, что программное обеспечение отслеживает позицию в пространстве в реальном времени, то есть вычисляет ее с каждым обновлением дисплея, 30 или более раз в сек. Эти вычисления производятся дважды, параллельно. Позиция отслеживается через визуальную систему (камеру), сравнивая точку в реальном мире с пикселями на сенсоре камеры. Также она отслеживается инерционной системой (акселерометром и гироскопом – инерционной измерительной единицей или IMU). Выходные данные этих двух систем совмещаются через фильтр Калмана, который определяет, которая из двух систем предоставляет лучшую оценку настоящей позиции и публикует это обновление через SDK используемого фреймворка.

Одним из популярных SDK для разработчиков является Vuforia. Vuforia представляет собой набор инструментов для создания приложений дополненной реальности и поддерживает следующие особенности.

- Распознавание нескольких целей одновременно.
- Распознавание 2D и 3D форматов.
- Отображение дополняющих элементов через OpenGL.
- Возможность продлить отображение цели на мобильном устройстве, даже когда она находится вне поля зрения.

К основным недостаткам библиотеки можно отнести ограничения бесплатной версии и небогатую документацию, что затрудняет работу с данным SDK.

Другим популярным решением для построения приложений с поддержкой дополненной реальности является библиотека Wikitude, которая поддерживает следующие особенности работы:

- распознавание 2D- и 3D-форматов;
- возможность сканирования реального объекта для последующего распознавания;
- рендеринг и анимацию 3D-моделей;
- отслеживание местоположения объектов;
- возможность HTML аугментации.

Для разработчиков есть бесплатная пробная версия, в остальном использование библиотеки требует финансовых вложений. Плюсом является достойно представленная документация.

Еще одним рассмотренным решением стал каркас от компании Apple – ARKit, представленный разработчикам в рамках конференции WWDC 2017. Фреймворк представляет собой новый взгляд на технологию дополненной реальности. Разработка способна распознавать габариты окружающего пространства и учитывать условия освещения, чтобы максимально достоверно интегрировать виртуальные объекты в реальную жизнь. А совместимость с подавляющим большинством современных iOS-устройств делает ARKit самой массовой платформой дополненной реальности в мире. Технология ARKit входит в стандартную поставку iOS SDK и не требует финансовых вложений. Стоит отметить, что данная технология была выбрана для реализации браузера дополненной реальности в моей магистерской диссертации. Решающим критерием в пользу выбора данной технологии стало объединение аппаратной и программной частей системы в единую реализацию. Важность данного критерия обусловлена необходимостью в настройке и калибровке оптических сенсоров для устранения ошибок в работе алгоритмов визуальной одометрии.

Использование технологии ARKit в разработке браузера дополненной реальности, позволило мне упростить процесс разработки AR-приложения, получить доступ к обширному SDK операционной системы, а так же построить работающий прототип разрабатываемой системы.

**Библиографический список**

1. Сцельски Р. ComputerVision: AlgorithmsandApplication. Springer, 2010. 957 с.
2. Vuforia Developer Library URL: https://library.vuforia.com (дата обращения: 15.03.2018).
3. ARKit. URL: https://developer.apple.com/arkit/ (дата обращения: 15.03.2018).

**УДК** 004.032.26

***А. А. Кириллова***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ ХОПФИЛДА В ЗАДАЧАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБРАЗОВ

Задача восстановления образов встречается во многих областях: от поиска по неполным данным до распознавания зашумленных или поврежденных изображений. Запоминание образов может выполняться при помощи ассоциативной памяти, реализацией которой является сеть Хопфилда, обладающая способностью восстанавливать образы при наличии недостаточной или искаженной информации.

Нейронные сети представляют собой упрощенную модель работы человеческого мозга. Он обрабатывает информацию параллельно, используя для этого обширную сеть нейронов с большим количеством сложных связей, которые формируются под действием внешней среды, в процессе обучения. В искусственных нейронных сетях используются похожие принципы.

Нейроны человеческого мозга состоят из тела, дендритов и аксона, информация подается на вход нейрона через дендриты и идет из нейрона через аксон [1].

Искусственная нейронная сеть представляет собой совокупность ее нейронов, которые так же, как и биологические нейроны, могут принимать и передавать информацию. В нашем случае каждый элемент может быть в одном из двух состояний: {1; -1}, а сеть представляет собой вектор этих состояний. Отличие сети Хопфилда от других состоит в наличии обратной связи: выход каждого нейрона замыкается на все нейроны сети, кроме самого себя [2].

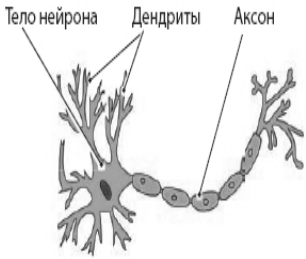



Рис. 1. Строение нейрона

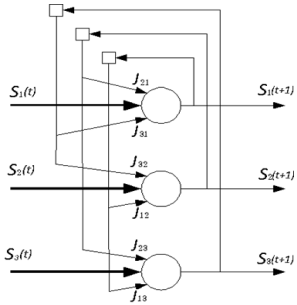



Рис. 2. Модель сети Хопфилда

Связи между нейронами в искусственных сетях имитируются с помощью матрицы синаптических весов (синапсом в нейробиологии называется место контакта двух нейронов), которая заполняется в процессе обучения. Вычисление весов сети Хопфилда происходит по формуле:

$$w_{ji} = \begin{cases} \frac{1}{N}\sum_{\mu=1}^{M} \xi_{\mu,j}\xi_{\mu,i}, & j \neq i \\ 0, & j = i \end{cases},$$

где $\xi$ – вектора образов, которым обучается сеть. Синоптические веса $w$ вычисляются один раз, после чего остаются неизменными.

В данной работе сеть Хопфилда обучается 10 образам, соответствующим почтовым индексам. Образы подаются на вход сети как вектора, каждый элемент которого означает наличие или отсутствие линии на определенной позиции. Например, вектор нуля [1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1], а единицы – [1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1].

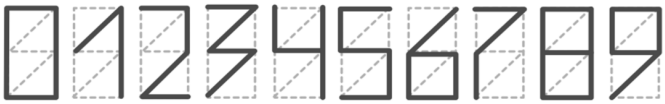


Рис. 3. Образы, восстановлению которых будет обучаться сеть

Сеть Хопфилда может запомнить только ограниченное число образов *M*, вычисляемое по формуле:

$$M = \frac{N}{2 * \ln N},$$

где *N* – количество нейронов в сети. Соответственно, для запоминания 10 образов сети понадобится около 100 нейронов. Способ заполнения этих нейронов влияет на качество восстановления выученных образов.

Распознавание образа происходит следующим образом. На вход сети подается вектор из девяти элементов, каждый элемент имеет значение 1 или -1. В начальный момент времени состояние сети представляет собой обработанный неким способом входной вектор (в дальнейшем будут сравниваться между собой несколько вариантов заполнения вектора сети). Далее итеративно происходит корректировка состояния сети по указанной ниже формуле.

$$x_j(n+1) = sgn\left(\sum_{i=1}^{N} w_{ji} x_j(n)\right), j = 1,2,\ldots,N.$$

где $x_j(n+1)$ – результирующее состояние конкретного нейрона; *sgn* – функция активации, которая отвечает за выходной сигнал нейрона, в данном случае возвращает 1 или -1 в зависимости от знака числа; $N$ – количество нейронов, $w_{ji}$ – элемент матрицы весов; $x_j(n)$ – состояние этого же нейрона на предыдущей итерации.

По окончанию итерации предыдущее и текущее состояния сети сравниваются и, если они одинаковы, то делается вывод о том, что сеть сошлась к определенному образу и восстановление закончено. Сеть может сойтись к образу, которому ее не обучали, такие образы называются «мнимыми» или «ложными» [2]. Далее будут рассмотрены несколько способов заполнения нейронов с точки зрения их способности минимизировать сходимость сети к мнимым образам.

Если записать в первые девять нейронов входные вектора, а оставшиеся заполнить единицами, то нейронная сеть будет всегда сходиться к одному образу, поскольку вектора, используемые при ее обучении, слишком похожи друг на друга.

Другой способ – копирование входного вектора некоторое количество раз. В данном случае сеть сходится к нужным образам как в случае, когда на вход ей подан вектор без изменений, так и когда во входном векторе изменен один или два элемента, поскольку вектора отличаются друг от друга сильнее, чем в предыдущем случае, и синаптические веса, полученные при обучении, несут больше информации об образах, позволяя распознавать и образы с небольшим количеством искажений.

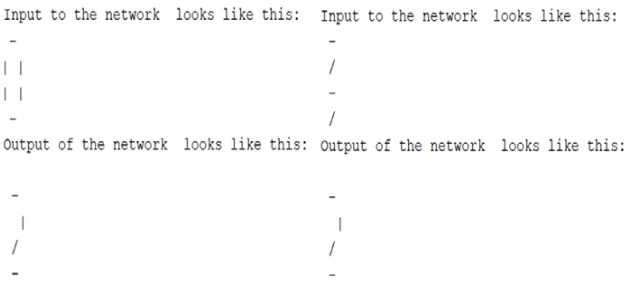



Рис. 4. Результат работы сети при заполнении дополнительных нейронов единицами

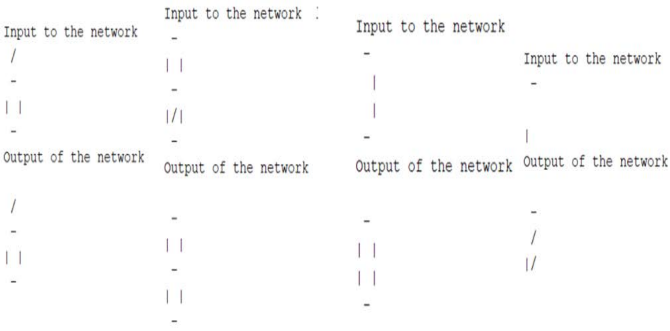



Рис. 5. Слева направо: образ без искажений; восстановление образа с одним и двумя искаженными элементами; схождение сети к мнимому образу

Обученная таким образом сеть Хопфилда распознает 8 образов без изменений и в среднем 3–4 искаженных образа, если подавать все образы со случайно искаженными элементами.

Еще один способ – заполнение со сконцентрированной корректировкой. В данном случае дополнительные нейроны несут информацию об образах, которые сходятся к ложным, даже если подаются на вход без искажений. Это значительно улучшает ассоциативную память, сеть распознает все 10 образов без изменений и в среднем 2–3 искаженных.

Попытка увеличить количество восстанавливаемых искаженных образов с помощью выбора наиболее редко встречающихся комбинаций среди элементов векторов из обучающего набора и добавление этой информации в исходный вектор состояний приводит к увеличению до 4–6 искаженных образов и падению количества восстановления образов без изменений до 8.

Наилучший результат дает комбинация двух последних подходов, обеспечивающая восстановление 10 образов без изменений и в среднем 3 зашумленных образов.

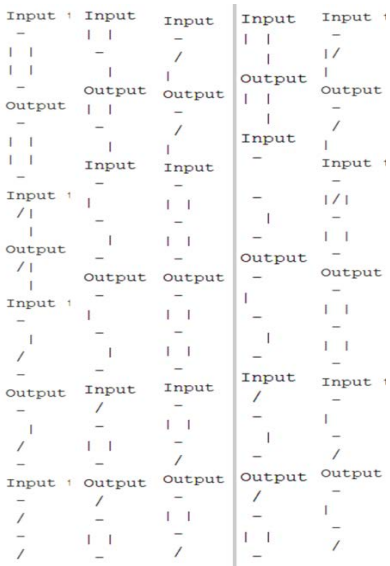



Рис. 6. Результат работы сети с комбинацией двух последних подходов

*Таблица*

Сравнение различных подходов

| Способ заполнения | Количество распознанных неискаженных образов (из 10) | Количество распознанных образов с искажениями (из 10) |
|---|---|---|
| Копирование входного вектора | 8 | 3–4 |
| Сконцентрированная корректировка | 10 | 2–3 |
| Добавление информации о наиболее редко встречающихся комбинациях | 8 | 4–6 |
| Сочетание двух последних подходов | 10 | 3 |

Сеть Хопфилда хорошо справляется с восстановлением небольшого числа образов, а при большем количестве образов начинает чаще сходиться к мнимым. Хорошей ассоциативной памяти можно добиться, заполняя дополнительные нейроны с акцентом на ложно распознаваемые образы, но достигнутое улучшение ассоциативной памяти приводит к падению качества восстановления искаженных образов. Комбинация двух подходов к заполнению нейронов – акцент на мнимые образы и выбор редких сочетаний позволяет лишь незначительно улучшить результат.

**Библиографический список**

1. Каменская М. А., Каменский А.А. Основы нейробиологии. М.: Дрофа, 2014. С. 7.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 856 с.

**УДК 681.326.74.06**

***Н.А. Лелекова***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***Е. В. Копкин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ГИБКИХ ПРОГРАММ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

Каждый объект, будь то элементарная вещь, сложный механизм или многоуровневая система, обладают определенным набором признаков, которые могут изменяться с течением времени и влиять на работоспособность объекта. Такие признаки называют диагностическими. Они бывают представлены как в дискретной форме (могут быть бинарными или иметь несколько фиксированных состояний), так и в непрерывной (представляются интервалами на вещественной оси). Совокупность значений этих признаков формирует техническое состояние (ТС) объекта [1].

Анализ ТС объекта – это процесс определения состояния, в котором находится объект в момент его диагностирования. Он включает контроль технического состояния и техническое диагностирование, и заключается в последовательном проведении проверок диагностических признаков (ДП) и определении, обладает ли объект в данный момент времени набором требуемых свойств, обеспечивающих его пригодность к целевому применению и правильность выполнения им своих функций непосредственно в процессе применения, и если не обладает, то по причине каких дефектов.

Технических состояний, как и диагностических признаков, может быть много –осуществлять проверки всех признаков каждый раз при проведении диагностирования состояния объекта дорого и нецелесообразно. Поэтому возникла необходимость в разработке алгоритмов, которые позволили бы выполнять только часть проверок в определенной последовательности, т.е. формировали бы программы диагностирования. Программа диагностирования является гибкой, если каждая последующая проверка определяется результатами предыдущих, уже выполненных проверок.

В каждый момент времени объект находится в одном из возможных технических состояний $S_i$, но в каком именно, до проведения анализа остается не известно. При выполнении проверок диагностических признаков $\pi_j$ количество «подозреваемых» ТС уменьшается. Проверки проводятся до тех пор, пока не будет достигнуто одно из подозреваемых состояний. Совокупности подозреваемых ТС называют информационными состояниями (ИС) $R_k$ [2].

При графическом представлении гибкой программы диагностирования(ГПД) (рис. 1) информационные состояния $R_k$ формируют листья древовидного графа, а его дуги определяются исходами проверок диагностических признаков $\pi_j$– т.е. попаданием (или совпадением) измеренного значения признака с эталонным. Стоит отметить, что при дискретной форме ДП количество ветвей построенного графа соответствует количеству технических состояний объекта, а при непрерывной форме – ветвей может быть больше.

Существуют различные критерии оптимальности, задающие условия построения ГПД. В своей работе мы рассматриваем три основных критерия: минимум средних затрат (*C*), максимум информативности (*I*), и максимум полезности информации (*J*). Однако, построение ГПД по критерию максимума информативности для дискретной формы представления признаков не является целесообразным, так как в каждом информационном состоянии значение информативности для всех проверок является одинаковым.

В зависимости от формы представления признаков и выбранного критерия оптимальности, формулы для расчетов несколько разнятся, но все они схожи в одном – они сложные и требуют кропотливых и долгих расчетов. Поэтому сама собой возникла необходимость в создании средства, которое бы ускорило процесс расчета и построения ГПД.

Цель состоит в повышении уровня автоматизации процесса диагностирования технического состояния сложных объектов за счет разработки алгоритмического и программного обеспечения, которое может быть использовано в автоматизированных системах мониторинга состояния сложных организационно-технических систем.

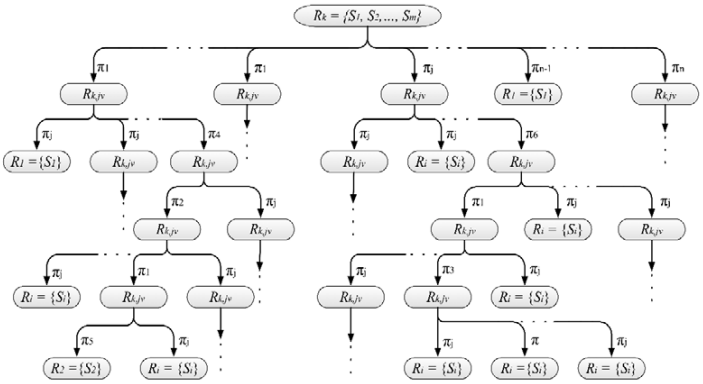
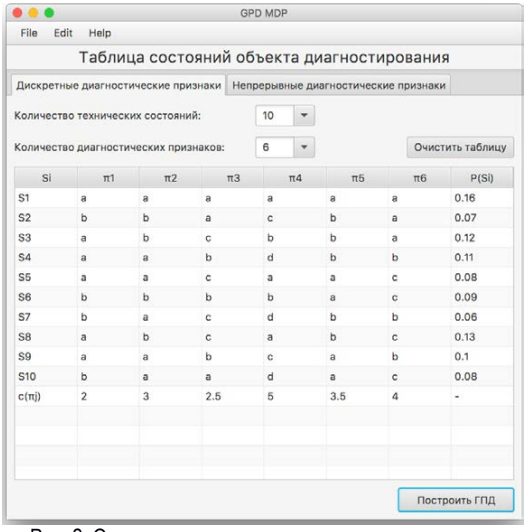


Рис. 1. Пример графического представления гибкой программы диагностирования

А задача, в свою очередь, включает в себя разработку программного комплекса, который позволил бы синтезировать гибкие программы диагностирования на основе метода динамического программирования для распознавания технического состояния объектов, оптимальные по критериям минимума средних затрат, максимума информативности и максимума полезности анализируемой диагностической информации.

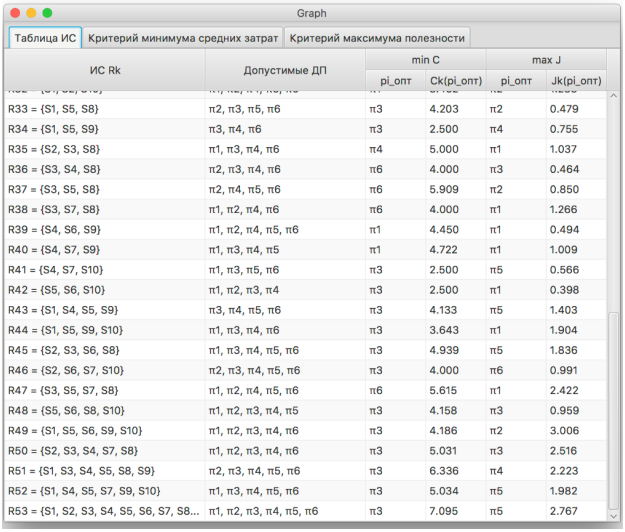
Для достижения поставленной цели и задачи я приступила к разработке соответствующего приложения. Оно написано на языке программирования Java с использованием библиотеки графического пользовательского интерфейса JavaFX и библиотеки построения графов JUNG 2.0. Планируется переход на библиотеку TreeViz вместо JUNG 2.0, так как она представляет большую гибкость при работе с графами.

Ниже представлены скриншоты приложения, а также пример расчета для заданной таблицы состояний. На рис. 2 изображено главное окно приложения – в нем заполняются исходные данные в виде таблицы состояний объекта диагностирования. Таблица состояний несколько различается для дискретных и непрерывных признаков, поэтому эти данные должны заполняться в соответствующей вкладке – для дискретных или для непрерывных признаков.




| Si | π1 | π2 | π3 | π4 | π5 | π6 | P(Si) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | a | a | a | a | a | a | 0.16 |
| S2 | b | b | a | c | b | a | 0.07 |
| S3 | a | b | c | b | b | a | 0.12 |
| S4 | a | a | b | d | b | b | 0.11 |
| S5 | a | a | c | a | a | c | 0.08 |
| S6 | b | b | b | b | a | c | 0.09 |
| S7 | b | a | c | d | b | b | 0.06 |
| S8 | a | b | c | a | b | c | 0.13 |
| S9 | a | a | b | c | a | b | 0.1 |
| S10 | b | a | a | d | a | c | 0.08 |
| c(πj) | 2 | 3 | 2.5 | 5 | 3.5 | 4 | - |

Рис. 2. Окно приложения для ввода исходных данных




| ИС Rk | Допустимые ДП | min C | | max J | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | pi_опт | Ck(pi_опт) | pi_опт | Jk(pi_опт) |
| R33 = {S1, S5, S8} | π2, π3, π5, π6 | π3 | 4.203 | π2 | 0.479 |
| R34 = {S1, S5, S9} | π3, π4, π6 | π3 | 2.500 | π4 | 0.755 |
| R35 = {S2, S3, S8} | π1, π3, π4, π6 | π4 | 5.000 | π1 | 1.037 |
| R36 = {S3, S4, S8} | π2, π3, π4, π6 | π6 | 4.000 | π3 | 0.464 |
| R37 = {S3, S5, S8} | π2, π4, π5, π6 | π6 | 5.909 | π2 | 0.850 |
| R38 = {S3, S7, S8} | π1, π2, π4, π6 | π6 | 4.000 | π1 | 1.266 |
| R39 = {S4, S6, S9} | π1, π2, π4, π5, π6 | π1 | 4.450 | π1 | 0.494 |
| R40 = {S4, S7, S9} | π1, π3, π4, π5 | π1 | 4.722 | π1 | 1.009 |
| R41 = {S4, S7, S10} | π1, π3, π5, π6 | π3 | 2.500 | π5 | 0.566 |
| R42 = {S5, S6, S10} | π1, π2, π3, π4 | π3 | 2.500 | π1 | 0.398 |
| R43 = {S1, S4, S5, S9} | π3, π4, π5, π6 | π3 | 4.133 | π5 | 1.403 |
| R44 = {S1, S5, S9, S10} | π1, π3, π4, π6 | π3 | 3.643 | π1 | 1.904 |
| R45 = {S2, S3, S6, S8} | π1, π3, π4, π5, π6 | π3 | 4.939 | π5 | 1.836 |
| R46 = {S2, S6, S7, S10} | π2, π3, π4, π5, π6 | π3 | 4.000 | π6 | 0.991 |
| R47 = {S3, S5, S7, S8} | π1, π2, π4, π5, π6 | π6 | 5.615 | π1 | 2.422 |
| R48 = {S5, S6, S8, S10} | π1, π2, π3, π4, π5 | π3 | 4.158 | π3 | 0.959 |
| R49 = {S1, S5, S6, S9, S10} | π1, π2, π3, π4, π6 | π3 | 4.186 | π2 | 3.006 |
| R50 = {S2, S3, S4, S7, S8} | π1, π2, π3, π4, π6 | π3 | 5.031 | π3 | 2.516 |
| R51 = {S1, S3, S4, S5, S8, S9} | π2, π3, π4, π5, π6 | π3 | 6.336 | π4 | 2.223 |
| R52 = {S1, S4, S5, S7, S9, S10} | π1, π3, π4, π5, π6 | π3 | 5.034 | π5 | 1.982 |
| R53 = {S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8... | π1, π2, π3, π4, π5, π6 | π3 | 7.095 | π5 | 2.767 |

Рис. 3. Вкладка с рассчитанной таблицей информационных состояний

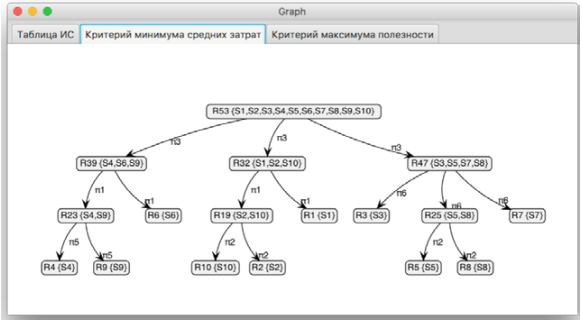



Рис. 4. Вкладка с построенной ГПД по критерию минимума средних затрат

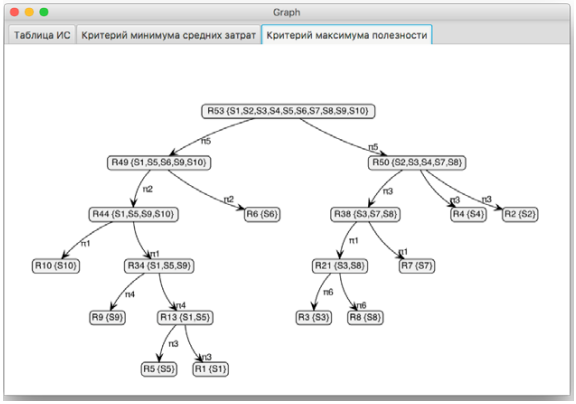



Рис. 5. Вкладка с построенной ГПД по критерию максимума полезности

При нажатии на кнопку «Построить ГПД» открывается новое окно с вкладками. На рис. 3 отображена первая вкладка с рассчитанной таблицей информационных состояний, в которой представлены все ИС $R_k$, для каждого из которых указаны допустимые ДП, а также оптимальные признаки и значения критериев оптимальности в них.

На рис. 4 и 5 представлены вкладки с соответствующими графами гибких программам диагностирования по каждому критерию.

В финальной версии приложения планируется добавить такой же функционал для непрерывных ДП, возможность импорта и экспорта данных таблицы состояний объекта из/в текстовый файл, а также другие таблицы с более подробными данными, получающимися в ходе расчетов.

**Библиографический список**

1. Копкин Е.В., Кравцов А.Н., Мышко В.В. Анализ технического состояния космических средств. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2016. 189 с.

2. Копкин Е.В., Кравцов А.Н., Мышко В.В. Контроль и диагностика космических средств. СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2016. 198 с.

**УДК 004.51**

***В. Е. Мещанинов***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

## ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ДАННЫХ О ПРОБАХ

В связи с экспоненциальными темпами развития науки и промышленности на сегодняшний день перед человечеством остро стоит вопрос чистоты самого ценного ресурса на нашей планете – воды. Особенно это важно для тех государств, которые омываются внутренними морями или озерами.

Среди внутренних водоемов Европы особенно выделяется Балтийское море, так как оно окружено индустриально-развитыми странами.

Очевидно, что большой объем загрязнения угрожает ущербом и разрушением морской экосистемы, в частности, пагубно сказывается на качестве и количестве рыболовной продукции. Употребление людьми низкокачественных морепродуктов может оказывать негативное влияние на здоровье, увеличивает смертность от отравления.

С целью своевременного выявления и прогнозирования развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов, производят мониторинг состояния водоемов. Предметом гидробиологического мониторинга являются различные виды макро- и микроорганизмов, в том числе микроводоросли, формирующие планктон и бентос водоема.

Страны, имеющие выход в Балтийское море, достаточно много инвестируют в проекты по мониторингу его состояния и очистке (такие как BEEP (Biological Effectsof Environmental Pollutionin Marine Coastal Ecosystems), HELCOM (The Helsinki Commission) [1, 2].

Накопленные данные мониторинга разнородны и являются четырехмерными, т.е. распределенными во времени и пространстве (широта, долгота и глубина). Для удобной и эффективной работы с информацией, хранимой подобным образом, необходимо спроектировать и создать простой человеко-машинный интерфейс для работы со сложными многомерными данными гидробиологического мониторинга с использованием современных веб-технологий.

Исходя из сформулированной цели, были поставлены следующие задачи:

1) создать программный интерфейс для доступа к данным мониторинга;

2) разработать простой пользовательский интерфейс для работы с данными мониторинга водных объектов (пробами), содержащими геопространственную и временную информацию;

3) создать иерархию пользователей, то есть обеспечить безопасность доступа к данным;

4) разработать интерфейс администратора для возможности делегирования полномочий.

*Разработка системы для отображения и редактирования данных мониторинга*

Представленные на рынке продукты не обладают характеристиками, необходимыми для реализации данного проекта [3]. Многие из существующих решений платные. Их настройка в соответствии с требованиями к разрабатываемой системе сложна и явно может занять продолжительное время. Редактирование данных если и реализовано, то только для пространственных данных. Разрабатываемая система гидробиологического мониторинга не обладает описанными недостатками, что выгодно отличает ее от других веб-ГИС.

В качестве программной платформы, определяющей структуру созданной системы, выступает PHP-фреймворк Laravel [4]. Взаимодействие пользователя с системой гидробиологического мониторинга основано на концепции MVC [5], реализация которой доступна во фреймворке (рис. 1).

Внедрение средств защиты в систему позволило увеличить стабильность ее функционирования, снизить риски несанкционированного доступа.

Для предотвращения утечки информации, к которой может привести несанкционированный доступ, фреймворк Laravel предоставляет стандартные средства регистрации, аутентификации и авторизации.

Рис. 1. Взаимодействие пользователя с системой

Также Laravel помогает защитить систему от трех серьезных угроз безопасности: SQL-инъекция, межсайтовая подделка запросов и межсайтовый скриптинг.

Полученная информация о состоянии воды Финского залива сейчас находится в базе данных под управлением СУБД PostgreSQL. Отношения реляционной модели данных, реализованной в базе, нормализованы, приведены к виду, отвечающему нормальным формам. Для поддержания данного свойства, информация разнесена в большое количество таблиц. Такая структура полезна для исключения избыточности, но для удобного взаимодействия непригодна.

Решением данной проблемы явился программный интерфейс на основе созданных в базе данных представлений. Для сохранения безопасности, которую обеспечивали таблицы при вставке, удалении и редактировании данных, написаны соответствующие триггеры.

Перед тем как пользоваться системой сотруднику необходимо пройти процесс аутентификации и авторизации. Авторизацию необходимо осуществлять для исключения нежелательных манипуляций с данными теми пользователями, которые не имеют на это полномочий. В системе существует четыре уровня доступа к возможностям веб-интерфейса взаимодействия с пробами:

- права не назначены;
- редактирование проб;
- редактирование, удаление и добавление проб;
- администратор.

Администратор, используя панель администрирования, не сможет добавить нового пользователя и отменить удаление существовавшего. Исключение добавления данных из списка возможностей пользователей с правами доступа «Администратор» обусловлено существованием в разработанном проекте модуля регистрации. Для реализации отмены удаления информации о пользователе необходимо было бы хранить его пароль на клиентской части веб-приложения, что не вполне безопасно.

Возможности по взаимодействию с данными о пробах посредством веб-интерфейса, изображенного на рис. 2, довольно обширны. Остановимся на описании основных из них.

Кроме операций, связанных непосредственно с табличным представлением данных, таких как удаление, добавление и редактирования записей о пробах, реализована возможность:

- добавления новой станции мониторинга в виде html-диалога;
- живого поиска при выборе нужной станции в режиме редактирования строки;
- отмены всех действий, произведенных с данными о пробах;
- выборки данных по дате, акваториям и станциям с помощью фильтра.

Все действия выполняются асинхронно с помощью технологии AJAX.

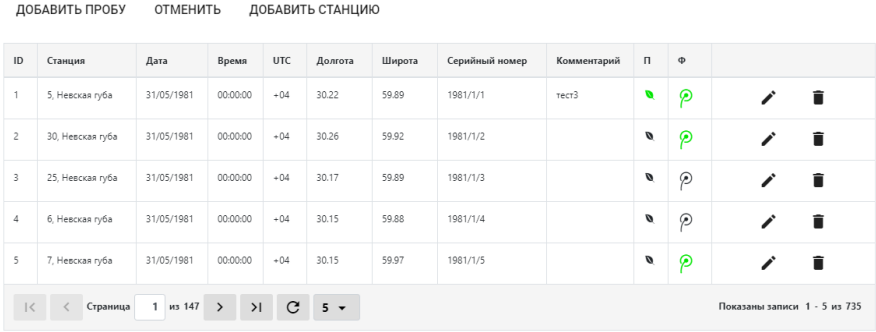



Рис. 2. Веб-интерфейс взаимодействия с пробами

Пользователи, взаимодействующие с данными мониторинга, могут совершить ошибку в процессе выполнения операций удаления, добавления или редактирования. Ошибка может быть совершена либо по случайному стечению обстоятельств, либо по причине недостаточных квалификации или опыта сотрудника. Для нивелирования последствий подобных неприятных ситуаций в системе реализована возможность отмены действий, произведенных над данными. На текущий момент сохраняются последние десять совершенных операций пользователя. Структурно хранимая информация, необходимая для отмены операций, представляет собой список элементов, организованных по принципу last in — first out, т.е. стек. В процессе отмены, реализованной подобным образом, не применяются транзакции, что снимает лишнюю нагрузку с базы данных.

В результате выполнения данной работы создан программный интерфейс с использованием представлений в СУБД PostgreSQL, реализующий простой доступ к данным о пробах, станциях мониторинга и пользователях веб-ГИС, построены не сложные в использовании пользовательские интерфейсы для взаимодействия с данными о пробах и панели администрирования, разработана иерархия прав пользователей, отвечающая требованиям безопасности.

**Библиографический список**

1. Lehtonen K. K. et al. The BEEP project in the Baltic Sea: Overview of results and outline for a regional biological effects monitoring strategy. // Marine Pollution Bulletin. 2006. №53. С. 523–537.

2. Backer H. et al. HELCOM Baltic Sea Action Plan – A regional programme of measures for the marine environment based on the Ecosystem Approach // Marine Pollution Bulletin. 2010. No. 60. С. 642–649.

3. Каталог разработанных веб-ГИС// URL: http://gisgeo.org/catalogue/soft/web-gis.html (дата обращения: 12.04.2018).

4. Дронов В.А. Laravel. Быстрая разработка современных динамических web-сайтов на PHP, MySQL, HTML, и CSS. СПб: БХВ-Петербург, 2018. 768 с.

5. MVC. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Model-View-Controller (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК 004.94**

***И. С. Панова***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***В. Ю. Гамов***
кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ЗАПУСКЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Современный этап развития ракетно-космической отрасли характеризуется возрастанием сложности космических комплексов (КК) и процессов управления ими, что приводит к ужесточению требований к оперативности получения, качеству и достоверности результатов обработки и анализа информации различной природы, используемых при оценке технического состояния и надежности КК, повышением меры ответственности за принимаемые решения о достигнутых уровнях надежности КК и переходе на следующий этап жизненного цикла КК [1].

Реализация космического проекта, связанного с запуском космического аппарата (КА) осуществляется на различных этапах – от пуска ракеты-носителя (РН), до вывода спутника на расчетную орбиту. На каждом этапе возможно возникновение различных рисковых ситуаций.

В рамках данного исследования будет рассматриваться анализ рисковых ситуаций на этапе пуска ракеты-носителя. То есть на этапе, когда проводятся различные виды испытаний по подготовке РН на стартовой позиции: включение двигательной установки и сход РН с пускового стола (пусковой установки), а также непосредственно пуск РН.

Неудача на этом этапе может повлечь за собой неисполнение поставленной цели по запуску КА в запланированный срок. К примеру, внутри РН может находиться новый модуль для МКС или спутник особого назначения, незапуск которого приведет к срыву оборонных или других важных государственных программ, а также повлечет за собой крупные материальные потери.

К сожалению, исключить возникновение нежелательных событий на этапе пуска РН невозможно, так как определяющим фактором возникновения риска является неопределенность – неполное или неточное представление о значениях параметров в будущем, порождаемых различными причинами. В свою очередь, риск – это неопределенность, связанная с потенциально возможным появлением неблагоприятных ситуаций и последствий, которые могут ухудшить показатели исследуемого процесса. Наступление рискового события влечет за собой смещение во времени запланированных мероприятий, связанных с пуском РН, а также изменения плана пусков и его содержание.

Актуальной научной задачей является анализ неудачных космических пусков с целью использования полученных результатов для совершенствования процесса прогнозирования количества пусков РН легкого класса (ЛК), а именно дополнения и уточнения модели прогнозирования с учетом рисковых ситуаций.

**1. Анализ данных**. Рассмотрим статистику пусков РН ЛК прошлых лет с космодрома Плесецк в период с 1992 по 2002 год, представленную в табл. 1. Все пуски из общего количества были подразделены на успешные и неудачные. Под неудачными понимаются пуски, в ходе которых произошли нежелательные события, повлекшие полное или частичное невыполнение запланированных мероприятий. Например, аварийное выключение двигательной установки вследствие отключения электропитания.

На основании представленных данных, из 73 пусков, запланированных на 11-летний период, 68 являются успешными, а 5 – неудачными.

**2. Анализ неудачных пусков**. Рассмотрим неудачные пуски относительно факторов, из-за которых они произошли (табл. 2).

Основные факторы риска, приводящие к смещению во времени запланированных пусков:

1. Технический – фактор риска, связанный с неисправностью систем.
2. Человеческий – фактор риска, связанный с неправильным выполнением работ специалистами.

*Таблица 1*

Статистика пусков РН ЛК

| Год | Количество пусков | | |
|---|---|---|---|
| | Успешные | Неудачные | **Всего** |
| 1992 | 12 | 0 | 12 |
| 1993 | 11 | 0 | 11 |
| 1994 | 12 | 0 | 12 |
| 1995 | 7 | 0 | 7 |
| 1996 | 5 | 2 | 7 |
| 1997 | 3 | 1 | 4 |
| 1998 | 3 | 0 | 3 |
| 1999 | 1 | 0 | 1 |
| 2000 | 5 | 0 | 5 |
| 2001 | 3 | 1 | 4 |
| 2002 | 6 | 1 | 7 |
| **Всего** | 68 | 5 | 73 |

*Таблица 2*

Статистика неудачных пусков РН ЛК

| Год | Дата | Время задержки пуска (мес.) | Фактор | Перенос пуска на следующий год* |
|---|---|---|---|---|
| 1996 | 20.06 | 1,5 | Тех. | FALSE |
| 1996 | 15.08 | 0,5 | Чел. | FALSE |
| 1997 | 10.01 | 0,5 | Чел. | FALSE |
| 2001 | 25.10 | 2 | Тех. | FALSE |
| 2002 | 15.10 | 3 | Чел. | TRUE |

* Логическое поле, в котором устанавливается факт переноса пуска на следующий год.

**3. Вероятностный метод**. Одним из методов комплексной оценки рисков является метод вероятностного моделирования, позволяющий дать статистическую оценку вероятности исполнения пуска путем расчета доли успешных и неудачных пусков.

Вероятность рассчитывается как отношение числа исходов пусков $N_{x_i}$ к общему числу всех пусков $N$ по формуле

$$P(x_i) = \frac{N_{x_i}}{N}. \quad (1)$$

На основании данной вероятности можно определить количество исходов пусков $M$:

$$M = P(x_i) \cdot N. \quad (2)$$

Чтобы показать варьируемость исходной величины на заданном дискретном множестве элементов, были построены графики распределения вероятностей относительно общего количества пусков (рис. 1, *а*) и количества неудачных пусков (рис. 1, *б*).

Таким образом, исходя из рис. 1*а,* вероятность успешных пусков составляет 93%, а вероятность неудачных пусков – 7%.

На основании рисунка 1, *б* выявлено преобладание рисков связанных с человеческим фактором, с вероятностью возникновения 60%. На втором месте по частоте появления риски, связанные с техническим фактором, – с вероятностью возникновения 40%.

**4. Методы классификации**. Для того чтобы определить, на какой срок будет перенесен пуск, исходя из условия, повлиявшего на перенос фактора, воспользуемся алгоритмом «Наивного байесовского классификатора» (НБК, *Naive Bayes Classifier Algorithm*). Этот алгоритм относится к алгоритмам машинного обучения и основан на теореме Байеса (*Bayes' theorem*) [2].

$$p(H|D) = \frac{p(D|H) \cdot p(H)}{p(D)}, \tag{3}$$

где $p(H)$ – априорная вероятность данного класса; $p(D|H)$ – правдоподобие, т.е. вероятность данного значения признака при данном классе; $p(H|D)$ – апостериорная вероятность данного класса при данном значении признака; $p(D)$ – априорная вероятность данного значения признака.

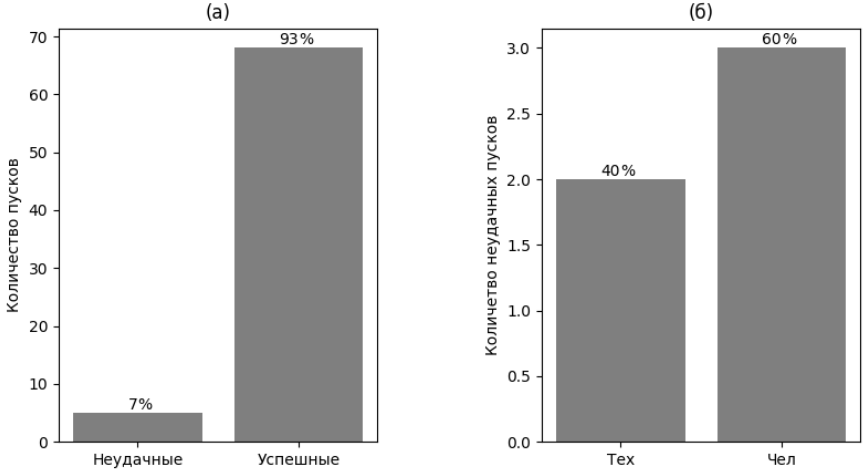



Рис. 1. Распределение вероятностей относительно общего количества пусков (*а*) и количества неудачных пусков (*б*)

Алгоритм классификации определяет вероятность того, что новое наблюдение относится к определенному классу (категории), на основании обучающего множества, для элементов которого эти категории известны.

Наивный байесовский классификатор предполагает, что влияние значения атрибута $d_i$ на данный класс $h_j$ не зависит от значений других атрибутов. Это предположение называется классовой условной независимостью. В связи с таким допущением алгоритм называется наивным [3].

Математически это свойство выражается следующим образом:

$$p(d_1,\ldots,d_k|h_j) = \prod_{i=1}^{k} p(d_i|h_j) = p(d_1|h_j) \cdot \ldots \cdot p(d_k|h_j) \tag{4}$$

5. **Анализ полученных результатов.** Для того чтобы убедиться в качестве применяемых методов, рассмотрим следующую ситуацию. Предположим, что на 2003 год запланировано 7 пусков РН ЛК. Требуется определить риск невыполнения плана на 2003 год. С учетом переноса пуска 2002 года (табл. 2) их количество увеличится на 1 и будет равно 8.

Рассчитаем, сколько пусков из общего количества запланированных на 2003 будут неудачными. По формуле (2) получаем $M = 0{,}07 \cdot 8 = 0{,}56 \approx 1$. На это значение влияют два фактора:

- P(Factor = Чел.) = 60%,
- P(Factor = Тех.) = 40%.

С учетом того, что человеческий фактор встречается чаще, рассчитаем вероятность задержки (Delay) пуска более чем на 1 месяц, исходя из влияния человеческого фактора:

$$P(Delay > 1| Factor = Чел.) = 30\%.$$

В свою очередь, исходя из влияния технического фактора, вероятность задержки пуска более чем на 1 месяц составит

$$P (Delay > 1| Factor = Тех.) \approx 70\%.$$

Таким образом, рассмотренные в работе подходы и методы позволяют осуществить детальную классификацию принадлежности объектов некоторым классам.

**Библиографический список**

1. Разработка методологических основ моделирования объектов и процессов в космической отрасли: учеб. пособие / В. Ю. Гамов., М. Ю. Охтилев. СПБ.: ГУАП, 2018. 123 с.

2. Osvaldo Martin Bayesian Analysis with Python. 2016. 263 p.

3. Jiawei Han. Data Mining: concepts and techniques / Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei. 3rd ed. 2012. 673 p.

**УДК** 004.415.2.052.03

***Е. А. Пастор***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***А. В. Фомин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОДОСТУПНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Микросервисная архитектура благодаря четко определенным размерам сервисов позволяет изолировать сбои. Однако, как и в любой другой распределённой сети, в ней высока вероятность сбоя на уровне сети, оборудования или используемых приложений. В результате сбоя один или несколько сервисов могут быть временно недоступны для конечного пользователя. Чтобы сократить влияние таких сбоев, необходимо построить устойчивые к ним микросервисы, которые могут корректно реагировать на определённые проблемы.

Для построения высокодоступного приложения можно применить несколько методик:

1. *Graceful service degradation* (постепенная деградация).

Одним из плюсов микросервисного приложения является возможность изолировать сбои, что позволяет добиться постепенной деградации в обслуживании. Например, при сбое микросервиса, отвечающего за страницу регистрации новых пользователей, существующие пользователи не заметят никаких проблем.

2. Управление изменениями.

Команда разработчиков *Google* проанализировала статистику сбоев приложений и обнаружила, что примерно 70% сбоев вызваны изменениями версий в боевой среде.

В микросервисной архитектуре сервисы зависят друг от друга. Поэтому необходимо минимизировать сбои и ограничить их негативное влияние. Чтобы избавиться от проблем, связанных с изменениями, можно реализовать механизм автоматического отката. Например, внося изменения, постепенно разворачивайте их на подмножестве своих микросервисов, отслеживайте и автоматически откатывайтесь на предыдущую версию, если происходит заметное ухудшение метрик.

3. *Health-check* (проверка работоспособности и балансировка нагрузки).

Из-за сбоев, автомасштабирования и развёртываний микросервисы часто находятся в состоянии развертывания, перезапуска и остановки. И поэтому они становятся временно или постоянно недоступны для конечного пользователя. Чтобы избежать подобных проблем, необходимо реализовать балансировщик, который умеет перенаправлять трафик только на рабочие микросервисы. Работоспособность можно определить путем постоянного мониторинга. На каждом микросервисе необходимо реализовать запрос состояния и циклически, с определенной задержкой, проверять их и не пускать трафик на нерабочие микросервисы.

4. *Self-healing* (самовосстановление).

Режим самовосстановления позволяет без участия сотрудника сопровождения восстанавливать сбои. В большинстве случаев это достигается внешними приложениями, которые постоянно следят за состоянием микросервисов и, если последние не отвечают в течение определенного периода, то есть находятся в состоянии сбоя, пытаются перезапустить их. Самовосстановление зачастую полезно, однако существуют риски зацикливания перезапуска. Например, в случае если приложение не может сообщить о своём состоянии из-за перезагрузки или длительного ответа при подключении к базе данных.

5. *Failover caching* (отказоустойчивое кеширование).

Достаточно часто сбои происходят из-за проблем с сетью. Однако в большинстве случаев такие сбои являются кратковременными. В данном случае может помочь отказоустойчивое кеширование, которое будет предоставлять нужные данные из кеша.

При применении отказоустойчивого кеширования обычно используют два разных кеша с разным временем жизни: с более коротким временем используют в обычных ситуациях, а с более длинным – в режиме сбоя.

Отказоустойчивое кеширование необходимо использовать там, где действует логика «лучше устаревшие данные, чем ничего».

Для настройки отказоустойчивого кеширования можно использовать стандартные заголовки ответов в HTTP. Например, с помощью заголовка *max-age* можно задать время, в течение которого ресурс будет являться актуальным, а с помощью заголовка *state-if-error* – как долго ресурс будет предоставляться в режиме сбоя.

6. *Retry Logic* (логика повторений).

Бывают ситуации, когда использование отказоустойчивого тестирования невозможно. В таких случаях при сбое можно попробовать реализовать систему повтора запросов, если есть шанс, что микросервис восстановится в течение некоторого времени, или если используется балансировщик, который может отправить запрос на рабочий ресурс. Однако нужно быть более осторожным с реализацией логики повторений, так как это может ухудшить ситуацию и даже помешать восстановиться приложению постоянными повторными запросами. Для минимизации влияния повторов необходимо ограничить количество повторных вызовов. Например, можно с каждым неудачным запросом увеличивать задержку между повторами, пока не будет достигнут определенный предел.

Поскольку повтор инициируется клиентом (браузером, другим микросервисом и т. д.), который не знает, была ли операция сбойной до или после обработки запроса, приложение должно уметь обрабатывать идемпотентность. Например, когда вы повторяете операцию покупки, вы не должны дублировать взимание средств с покупателя. Вам поможет использование уникального ключа идемпотентности для каждой транзакции.

Для предотвращения сбоев необходимо постоянно проводить тестирование поведения системы в разных ситуациях, чтобы удостовериться, что ваши сервисы могут пережить различные сбои.

Для автоматической проверки системы на отказоустойчивость можно воспользоваться приложением, которое генерирует сбои путем автоматического отключения одного или нескольких микросервисов и проверка работоспособности системы в целом. Одним из таких инструментов является *ChaosMonkey*.

В заключение можно отметить, что микросервисная архитектура позволяет разработать высоконагруженное, отказоустойчивое и автомасштабируемое приложение, но создание подобных систем является непростой задачей, требующей вложения больших ресурсов как человеческих, так и денежных.

**Библиографический список**

1. Ньюмен С. Создание микросервисов / Сэм Ньюмэн. СПб.: Питер, 2016. 304 с.

**УДК 519.83**

***И. Н. Плешанов***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. В. Фаттахова***
кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

# О КЛАССЕ ЗАДАЧ ИГР ПАТРУЛИРОВАНИЯ

**Введение**

Игры патрулирования находят применение при решении задач обеспечения безопасности и правопорядка:

- охрана музейных ценностей, таких как картины, скульптуры и другие ценности;
- обеспечение безопасности и правопорядка при патрулировании аэропортов, крупных магазинов и торговых центров;
- предотвращение порчи имущества при обеспечении охраны товарных складов.

Используя теоретико-игровой подход, можно получить ответы на следующие вопросы:

1. Какое минимальное количество патрулирующих необходимо, чтобы выигрыш в игре был не ниже заданного значения?

2. Какое влияние на конечный выигрыш оказывает каждый дополнительный патрулирующий?

3. Как изменится стратегия игроков, если атакующих будет больше одного? Если они будут действовать сообща?

Данная статья посвящена разделу теории игр – играм патрулирования. Под игрой патрулирования можно понимать широкий спектр задач, в которых участвуют две стороны: защитник и нападающий, где первый стремится обнаружить второго или защититься от его нападения, а нападающий стремится пройти незамеченным или же нанести максимальный урон защитнику (защищаемому объекту).

**Постановка задачи**

Игра патрулирования на графе представляет собой следующий набор объектов: $G =< P,A,Q,S_1,S_2,H >$, в котором $P$ – патрулирующий; $A$ – атакующий; $Q$ – неориентированный связный граф. Вершины графа будем обозначать $q_j$, $j = \overline{1..n}$. Две разные вершины могут соединяться одним ребром. Отметим, что граф $Q$ может быть несвязным. Для удобства обозначим $Q =< V,E >$ как множество вершин и множество рёбер соответственно.

$S_1$, $S_2$ – множества стратегий игроков.

$S_1$ – множество стратегий патрулирующего. Элемент множества $S_1$ представляет собой пути патрулирования:

$$u = \upsilon_{k_1} - \upsilon_{k_2} - ... - \upsilon_{k_T}, \text{ где } \forall j = \overline{1...T} : \upsilon_{k_j} \in V, 1 \le k_j \le n, T \ge 1, \forall t = \overline{1...T-1} : (\upsilon_{k_t}; \upsilon_{k_{t+1}}) \in E$$

$T$ – время игры.

Дополнительно стоит заметить, что переход между двумя вершинами занимает 1 ед. времени, следовательно, под $T$ также можно понимать длину пути патрулирующего.

$S_2$ – множество стратегий атакующего. Элемент множества представим в виде $w = (t,\upsilon)$, где $t \in [1...T-m]$ – время посещения вершины $\upsilon$.

$m$ – время, которое необходимо атакующему для проведения атаки.

$H$ – функцией выигрыша игры является вероятность поимки атакующего игрока патрулирующим. Для этого введём вспомогательную функцию:

$$h(u,w) = \begin{cases} 0, \forall j = \overline{1..m} : \upsilon_{t+j} \neq \upsilon \\ 1, \exists j = \overline{1..m} : \upsilon_{t+j} = \upsilon \end{cases}.$$

Если $h(u,w) = 1$, то будем говорить, что путь патрулирующего $u$ ловит атаку $w$.

Введем в рассмотрение смешанные стратегии игроков. Обозначим через $x = (x_1, x_2, ..., x_{|S_1|})$ смешанную стратегию патрулирующего $P$, а через $y = (y_1, y_2, ..., y_{|S_2|})$ – смешанную стратегию атакующего $A$, $x_i$ – вероятности выбора стратегии $i$ из множества $S_1$ а $y_j$ – стратегии $j$ из множества $S_2$. Соответственно, $x_i \geq 0, \sum_{i=1}^{|S_1|} x_i = 1$, $y_j \geq 0, \sum_{j=1}^{|S_2|} x_j = 1$. Таким образом, функция выигрыша будет иметь вид

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^{|S_1|} \sum_{j=1}^{|S_2|} x_i y_j h(u_i, w_j).$$

Обозначим множество смешанных стратегий патрулирующего как $\chi$, где $\chi_i$ –элемент множества, то есть смешанная стратегия. Также обозначим множество смешанных стратегий атакующего как $\Upsilon$, где $\Upsilon_j$ – элемент этого множества.

Ситуацией в игре будем называть пару $(\chi_i, \Upsilon_j)$, где $\chi_i \in \chi$ – смешанная стратегия патрулирующего, а $\Upsilon_j \in \Upsilon$ – смешанная стратегия атакующего.

Под оптимальным решением в данной игре будем понимать любую ситуацию, входящую в по крайней мере одну ситуацию равновесия по Нэшу.

Равновесием по Нэшу называется ситуация $(x^*, y^*)$, для которой выполняется следующее условие: $H(x, y^*) \leq H(x^*, y^*) \leq H(x^*, y)$, где $x \in S_1, y \in S_2$. То есть такой набор стратегий, отклоняться от которого единолично будет невыгодно как патрулирующему, так и атакующему.

Определим понятие двойной стратегии. Под термином «двойная стратегия» будем подразумевать такие стратегии, в которых выбираются две вершины для патрулирования, соединенные ребром.

**Игры патрулирования с однородной плотностью $k$ при $m = 2$**

Значение $m = 2$ означает, что атакующему для проведения атаки требуется 2 ед. времени.

Однородная плотность $k$ – значение для набора двойных стратегий, каждая вершина в этом наборе встречается ровно $k$ раз.

Использование двойных стратегий обуславливается тем, что в данном случае ловятся все атаки, направленные на две выбранные вершины.

**Теорема 3.1**

Двойная стратегия не является избыточной.

*Замечание.* Избыточность заключается в том, что какая-либо вершина может посещаться чаще, чем это необходимо патрулирующему. Докажем, что при использовании двойной стратегии таких вершин не существует.

*Доказательство.* При использовании двойной стратегии каждая вершина посещается каждые 2 ед. времени (не чаще и не реже). Таким образом, если вершина будет посещаться с периодом более 2 ед. времени, то возникнет возможность того, что атакующий проведёт успешную атаку, так как время атаки рассматриваемых игр патрулирования 2 ед.

**Теорема 3.2**

Если возможно построить набор двойных стратегий так, что каждая вершина в этом наборе будет встречаться ровно $k$ раз, то в таком случае вероятность поимки, а равно и цена игры, будет равняться $\frac{2}{n}$.

*Доказательство.* Так как для каждой вершины существует $k$ стратегий, в которых встречается произвольная вершина $v_1$, а количество вершин в двойной стратегии из условия теоремы – 2, то количество двойных стратегий в наборе будет $\frac{k \cdot n}{2}$. Таким образом, вероятность поимки атакующего $\frac{k}{\left(\frac{k \cdot n}{2}\right)} = \frac{2}{n}$.

**Теорема 3.3**

Двойная стратегия ловит $2(T-1)$ атак атакующего.

*Доказательство.* Пусть $T$ – четное число, тогда стратегия патрулирующего $\upsilon_{k_1} - \upsilon_{k_2} - \upsilon_{k_1} - \upsilon_{k_2} - \ldots - \upsilon_{k_1} - \upsilon_{k_2}$ в первый момент времени ловит в вершине $\upsilon_{k_1}$ одну атаку. $(1,\upsilon_{k_1})$. Затем патрулирующий переходит в вершину $\upsilon_{k_2}$, где ловит две атаки $(1,\upsilon_{k_2})$ и $(2,\upsilon_{k_2})$, затем снова переходит в вершину $\upsilon_{k_1}$ где снова ловит две атаки $(2,\upsilon_{k_1})$ и $(3,\upsilon_{k_1})$. Так происходит до момента времени $(T-1)$, в котором патрулирующий последний раз ловит две атаки $(T-2,\upsilon_{k_1})$ и $(T-1,\upsilon_{k_1})$, а в момент времени $T$ он ловит одну атаку $(T-1,\upsilon_{k_2})$.

Таким образом $1+\underbrace{2+2+2+\ldots+2}_{T-2}+1=2(T-2)+2=2(T-1).$

Аналогично доказывается теорема для случая, когда $T$ – нечетное число.

**Теорема 3.4**

Докажем оптимальность стратегии патрулирующего при использовании набора двойных стратегий, описанного в Теореме 3.2.

*Доказательство.* Пусть $x$ – стратегия патрулирующего, при которой игрок выбирает пути, используя набор двойных стратегий с вероятностью $\frac{2}{k\cdot n}$. Пусть $y$ – стратегия атакующего, при которой игрок выбирает атаки из $S_2$ с вероятностью $\frac{1}{n\cdot T}$. Поскольку $H(x,w)=H(u,y)=H(x,y)=\frac{2}{n\cdot k}$ для $\forall w\in S_2, \forall u\in S_1$, то стратегии $x$, $y$ образуют ситуацию равновесия со значением игры.

**Пример 3.1**

Пусть имеется граф (рис. 1).

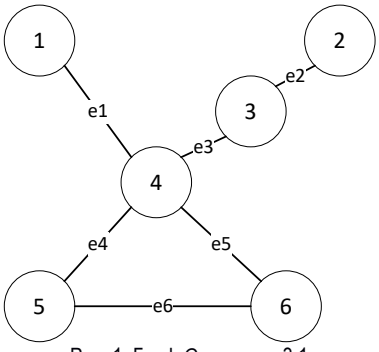



Рис. 1. Граф $Q$ примера 3.1

В таком случае оптимальный набор двойных стратегий будет иметь следующий вид: $\{(1-4),(2-3),(5-6)\}$, где цифра в круглых скобках показывает, какие вершины посещаются при данной двойной стратегии. В этом примере мы получили $k=1$, так как каждая вершина встречается ровно в одной стратегии. Также оптимальный набор двойных стратегий можно представить в виде $\{e_1,e_2,e_6\}$, где $e_1,e_2,\ldots,e_6$ – рёбра графа. Вероятность выбора каждой из этих стратегий соответственно $\frac{2}{1\cdot 6}=\frac{1}{3}$, а цена игры – $H^*=\frac{2}{6}=\frac{1}{3}$.

**Пример 3.2**

Рассмотрим пример, когда $k=2$. Пусть имеется граф (рис. 2).

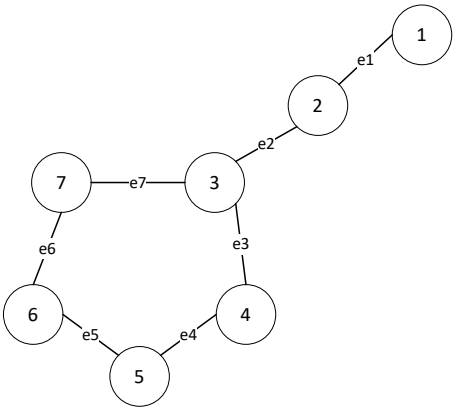



Рис. 2. Граф Q примера 3.2

Оптимальный набор двойных стратегий будет иметь следующий вид: $\{(1-2),(1-2),(3-4),(4-5),(5-6),(6-7),(7-3)\}$.

Вероятность выбора каждой из этих стратегий соответственно $\frac{2}{2\cdot 7}=\frac{1}{7}$, а цена игры – $H^*=\frac{2}{7}$.

**Алгоритм построения набора двойных стратегий для игры патрулирования с $m$ = 2 с однородной плотностью**

Как показала практика, при рассмотрении игр патрулирования с $m=2$, если для игры существует решение в виде набора двойных стратегий, то возможны только два варианта:

– если количество вершин в графе чётное, то $k=1$.

– если количество вершин в графе нечётное, то $k=2$.

Следующий алгоритм построения приводится с этим допущением, так как строго доказать данное утверждение пока не удалось.

Пусть $Q$ – матрица смежности, где каждый элемент $Q[i,j]$ имеет значение 1, если ребро $i$ соединяет вершину $j$. Для удобства будем считать, что столбцы матрицы соответствуют ребрам, а строки – вершинам.

$k$ – однородная плотность.

$S$ – матрица инцидентности стратегий.

$i=0$

1. Если количество вершин графа четное, переходим к пункту 4, если нечетное к – пункту 2.

2. $k=2$. Переходим к пункту 3.

3. Увеличиваем матрицу $Q$, копируя каждую строку $i$ матрицы $Q$ на место $i+n$ той же матрицы $Q$. Переходим к пункту 5.

4. $k=1$. Переходим к пункту 5.

5. Копируем строку $i$ матрицы $Q$ в матрицу $S$. Переходим к пункту 6.

6. Если сумма по столбцам матрицы $S$ для любого столбца превышает $k$, переходим к пункту 7, в противном случае переходим к пункту 12.

7. Удаляем последнюю строку из матрицы $S$, переходим к пункту 8.

8. $i=i+1$. Переходим к пункту 9.

9. Если $i$ выходит за границы массива $Q$, то переходим к пункту 10, в противном случае переходим к пункту 5.

10. Если матрица $S$ не пустая, то переходим к пункту 11, в противном случае переходим к пункту 14.

11. Присваиваем $i$ номер строки матрицы $Q$, откуда она была скопирована в матрицу $S$. Переходим к пункту 7.

12. Если сумма по столбцам графа $S$ для каждого столбца не равна $k$, то переходим к пункту 8, в противном случае переходим к пункту 13.

13. Конец алгоритма. Построена стратегия $S$.

14. Конец алгоритма. Стратегия не может быть построена.

**Заключение**

Большая часть статьи посвящена нахождению равновесного решения игры патрулирования при $m = 2$ и однородной плотности. Представлен алгоритм построения набора двойных стратегий для игры патрулирования при $m = 2$ с однородной плотностью и с допущением, что возможны только два варианта однородной плотности. Данное утверждение не удалось строго доказать, однако множество рассмотренных случаев игр патрулирования демонстрирует верность данного допущения.

**Библиографический список**

1. Alpern S. Optimizing Randovized Patrols / S. Alpern, A. Morton, K. Papadaki // Operational Research Group. 2009. Pp. 392–419.

2. Мазалов В. В. Математическая теория игр и приложения: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 448 с.

3. Гусев В. В., Мазалов В. В. Оптимальные стратегии в игре патрулирования на графе / В. В. Гусев, В. В. Мазалов // Вестн. с.-петерб. ун-та. Сер. 10. Прикл. матем. Информ. проц. упр. 2015. С. 61–76.

**УДК 519.876.5**

***А. В. Савин***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***Е. В. Копкин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В СРЕДЕ OMEDIT

На сегодняшний день любая разработка сложного технического объекта как в военной, так и в гражданской области применения неразрывно связана с процессом моделирования работы этого объекта. В основном моделирование технических систем используется для диагностики неисправностей, определения слабых мест в конструкции, механизмах и узлах для рационального использования системы. Так, в журнале *CosmolNews* [1] рассказывается о моделировании акустических характеристик осредненного течения в ракетных системах. Шон Р. Фишбах, автор статьи, подробно рассказывает о процессе возникновения неустойчивого горения в моторах твердотопливных и жидкостных ракетных двигателей, а также, используя моделирование, показывает, при каких условиях возникает данный процесс и как его можно предотвратить.

Моделирование гидравлических систем сегодня имеет не последнее значение. Имитируя работу гидравлики, можно диагностировать уязвимые места в трубопроводах и других участвующих в работе системы механизмов или просто сымитировать работу системы и посмотреть её результаты.

Согласно работе [2] первые и обобщающие исследования в этой области были выполнены А. П. Зегждой и С. В. Избашем, которые опубликовали свои работы ещё в далеком 1938 году. Это подчеркивает значимость и востребованность моделирования гидравлических механизмов с момента появления первых их сложных элементов.

Сегодня, в век информационных технологий, моделировать гидравлические системы можно с использованием различных компьютерных программ. Среди них наиболее известны следующие: Simulink, OpenModelica, Flow-3D, AFTFathom (AppliedFlowTechnologyFathom).

Simulink позволяет наиболее удобным образом моделировать различные системы. Для моделирования гидравлики необходимо установить библиотеку SimHydraulics [3] в среде Simulink. Достоинством этой системы являются легкость настройки и создания моделируемых элементов, понятный интерфейс, а также способность генерации исходного кода на языке C/C++ для использования в системах, работающих в режиме реального времени.

Недостаток данной системы – отсутствие открытого исходного кода. Для полноценной установки придется приобрести MATLAB с пакетом Simulink и отдельно приобрести библиотеку SimHydraulics. Ещё одним недостатком является то, что для операционной системы семейства Linux необходимо вручную изменить и переписать некоторые структуры данных сгенерированного кода, поскольку они будут ссылаться на объекты, отсутствующие по умолчанию в системе. Как вариант, недостающие объекты и библиотеки можно будет установить или подключить к исходному коду, увеличивая тем самым объем выполняемых процедур.

Второй по популярности и удобству использования программой является OpenModelica [4]. В состав OpenModelica входит OpenModelica Notebook с подробным описанием всех элементов подсистемы, OpenModelica Shell с возможностью работы с ней через терминал или командную строку, а также OpenModelica Connection Edition (OMEdit), которая позволяет уже непосредственно заниматься моделированием процессов. OpenModelica Compiler производит трансляцию языка с кода модели на другой язык и запускает его.

Моделирование в среде OMEdit выглядит менее очевидным, чем в Simulink, некоторые процессы и переменные необходимо прописывать в исходном коде объекта или класса, а для корректной работы системы приходится добавлять объекты более общего назначения (показатели времени, плотности жидкости и т.п.). Здесь механизмы системы связывания и соединения элементов более примитивные, чем в Simulink, но они позволяют быстрее переписать часть кода под свои нужды.

Генерация кода на язык C/C++ происходит в результате трансляции компонента OM Compilerc языка Modelica, на котором описывается модель, на C-подобный язык и компилирует его. Среда моделирования запускает скомпилированный код и исполняет его. Таким образом, готовый сгенерированный код можно использовать в своих проектах. В качестве достоинства стоит выделить открытость исходного кода OpenModelica и бесплатное использование, большое число уже созданных элементов, возможность кодогенерации для работы системы в режиме реального времени и низкое потребление системных ресурсов. Недостатком этой системы является сложная установка в ОС Linux, неудобная настройка и взаимодействие элементов.

Flow-3D – система моделирования, позволяющая сымитировать потоки жидкости в различных системах и трубах, а также визуально продемонстрировать этот процесс с использованием 3D-графики [5]. Данный программный комплекс имеет удобный интерфейс управления и осуществляет моделирование систем, наиболее приближенных к реальным. Однако данная система не имеет возможности генерации исходного кода моделируемой системы на высокоуровневом языке программирования.

Программа для моделирования AFTFathom [6] во многом похожа на OMEdit. В ней присутствует такой же интерфейс переноса и соединения моделируемых элементов, задание параметров и свойств здесь более простое. Недостатком данной системы является то, что она не распространяется бесплатно и не способна производить генерацию кода высокого уровня.

В результате анализа возможных вариантов сред моделирования предпочтение было отдано программе OpenModelica как наиболее удобной.

Рассмотрим простой вариант применения этой программы. Для примера будем использовать три цистерны с жидкостью, соединенных системой трубопроводов (рис. 1).

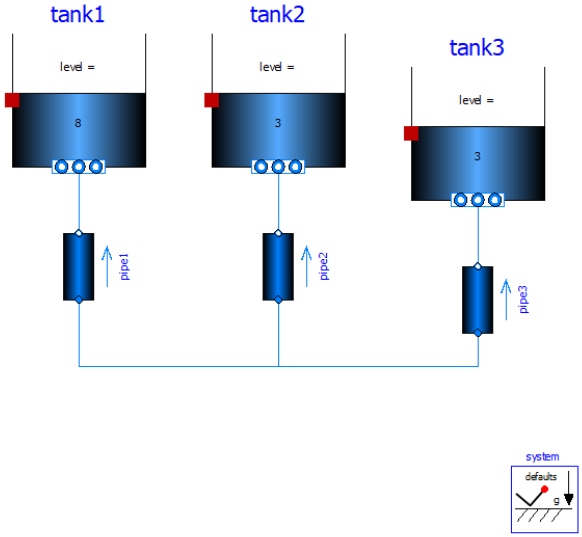



Рис. 1. Схема моделирования системы из трех баков, соединенных между собой

В соответствии с представленной схемой баки tank1 и tank2 расположены на одном уровне и имеют одинаковый объем возможного занимаемого пространства, однако tank1 заполнен полностью, а tank2 только на треть. Tank3 имеет такие же характеристики, как и tank2, но расположен ниже по уровню. Таким образом, после начала процедуры моделирования уровень жидкости между tank1 и tank2 будет выровнен согласно правилу сообщающихся сосудов, а уровень жидкости в tank3 поднимется до максимума. Результат изменения уровня жидкости представлен на рис. 2.

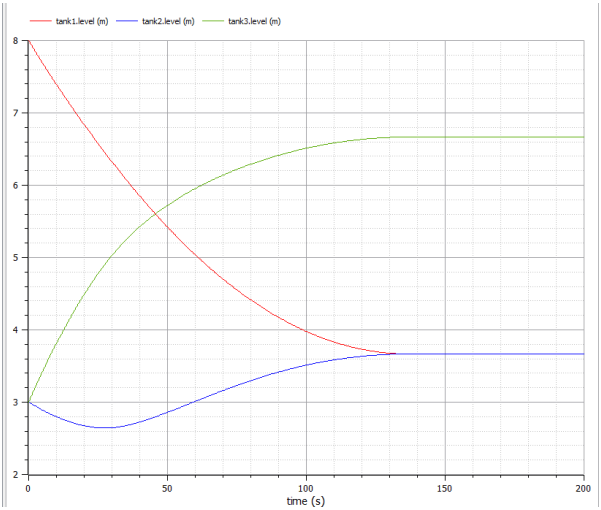



Рис. 2. Показатели уровня жидкости в баках

Среда моделирования OMEdit позволяет выводить на графиках любые участвующие переменные, которые помечены как внешние.

Следует добавить, что в дальнейшем смоделированный проект необходимо будет переводить на высокоуровневый С-подобный язык программирования, осуществлять взаимодействие этого кода с единым интерфейсом передачи данных и подключать его к визуальной графической схеме.

Таким образом, осуществлен анализ различных программных продуктов, позволяющих моделировать работу гидравлических систем, сделан выбор наиболее предпочтительного из них и продемонстрирован пример моделирования с помощью среды OMEdit.

**Библиографический список**

1. Марра В. Моделирование акустических характеристик осредненного течения в ракетных системах // Cosmol News: журнал мультифизического моделирования: издание Accelerate R&D with Multiphysics Simulation, 2016. С. 8.

2. Железняков Г. В. Гидравлическое моделирование: методич. указания к УИР. М.: Министерство путей сообщений СССР, 1985. С. 5.

3. Sim Hydraulics: библиотека Simulink для моделирования жидкостных процессов. URL: https://matlab.ru/products/simhydraulics (дата обращения: 20.03.2018).

4. OpenModelica: Introduction. URL:https://openmodelica.org/ (дата обращения: 20.03.2018).

5. Flow-3D: The Next Generation of Casting Simulation Software. URL:https://www.flow3d.com (дата обращения: 20.03.2018).

6. AFT Fathom: *Incompressible Pipe Flow Analysis & System Modeling Software.* URL: http://www.aft.com/products/fathom (дата обращения: 20.03.2018).

**УДК 629.735.33**

***В. Х. Самады Лаксахан***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***Е. В. Копкин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ОШИБКИ СТРОБОСКОПА-ТАХОМЕТРА

В работе рассматривается применение стробоскопа-тахометра для вычисления частоты вращения объекта. Приводится способ измерения ошибки частоты вращения с помощью стробоскопа-тахометра, вызванной несовпадением частоты вращения объекта и частоты работы лампы стробоскопа.

### Calculating the Harmonic Frequency Error of Stroboscopic Method and Making the Measuring Process More Convenient

Introduction

Even though the frequency of periodic motion can be measured by strobe tachometer, it is widely used to measure the frequency of rotational motion. Stroboscopic method gives more accurate measurements in comparison to other methods and has a wider range of frequencies. But the disadvantage of this method is the probability of being affected by the error of harmonic frequencies.

Various methods used to get rid of this error are:

- Adjusting the stroboscopic lamp from the higher frequency to the lower.
- Doubling the coincided frequency.

The purpose of this research paper is to introduce a method to calculate this harmonic frequency and a more convenient way to measure the frequency using stroboscopic method.

Method

The concept of this method is to deliberately generate a quantitative error and calculate the harmonic frequency by repetition of the error.

Let us consider a plate (an object) that rotates with an angular velocity which is less than the frequency of stroboscopic lamp but is approximately equal to it (Fig. 1).

In figure 01:

$$t_0 - \Delta t = t_{measure}$$

In this situation angular velocity of wagon-wheel effect and the real angular velocity originate opposite to each other.

Calculating the multiplier of harmonic frequency ($p$)

$$\omega_{w1} = \frac{\Delta\theta_1}{t_0 - (p \times \Delta t)};$$

$$\omega_{w2} = \frac{\Delta\theta_2}{t_0 - (p \times \Delta t)};$$

$$\omega_{w3} = \frac{\Delta\theta_3}{t_0 - (p \times \Delta t)};$$

$$\ldots$$

$$\omega_{wn} = \frac{\Delta\theta_n}{t_0 - (p \times \Delta t)};$$

Average angular velocity of plate

$$\overline{\omega_w} = \left[ \frac{\Delta\theta_1}{t_0 - (p \times \Delta t)} + \frac{\Delta\theta_2}{t_0 - (p \times \Delta t)} + \ldots + \frac{\Delta\theta_n}{t_0 - (p \times \Delta t)} \right] \Big/ n .$$

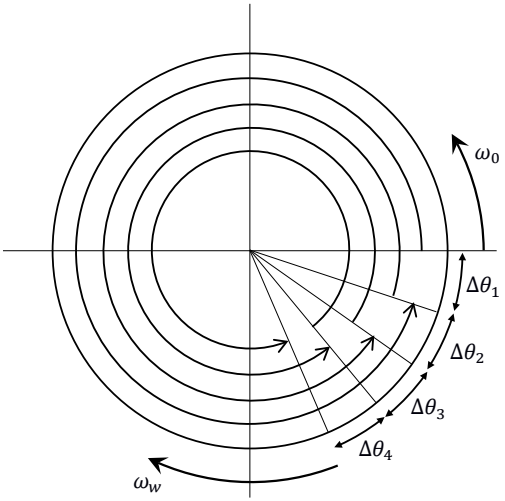



Fig. 1. $t_0$ – real periodic time; $\Delta t$ – deliberately made quantitative error; $t_{measure}$ – periodic time measured by stroboscope; $\omega_0$ – real angular velocity; $\omega_w$ – wagon angular velocity; $\Delta\theta_1$–angle of wagon movement for one turn when p=1; $T$ – wagon periodic time

If the plate rotates with a constant angular velocity

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = .... = \Delta\theta_n;$$

$$\omega_w = \overline{\omega_w};$$

$$\omega_w = \left[\frac{\Delta\theta_1 \times n}{t_0 - (p \times \Delta t)}\right] \Big/ n;$$

$$\omega_w = \frac{2\pi}{(t_0 - (p \times \Delta t))n} \quad (1)$$

$$\left\{\Delta\theta_1 = \frac{2\pi}{n}\right\}.$$

T (wagon periodic time) can be measured by a stopwatch

$$\omega_w = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

According to expressions (1) and (2)

$$\frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{(t_0 - (p \times \Delta t))n};$$

$$T = (t_0 - (p \times \Delta t))n;$$

$$T = (t_0 - (p \times \Delta t)) \times \frac{t_0}{p \times \Delta t} \left\{n = \frac{t_0}{p \times \Delta t}\right\};$$

$$p = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{{t_0}^2}{T + t_0}\right).$$

Since we usually deal with the frequency:

$$p = \frac{1}{\Delta f}\left(\frac{f_0 + \Delta f}{Tf_0 + 1}\right)\left\{f = \frac{1}{t}\right\}.$$

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the same direction

$$p = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{t_0^{\,2}}{T - t_0}\right),\ p = \frac{1}{\Delta f}\left(\frac{f_0 + \Delta f}{Tf_0 - 1}\right).$$

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the opposite directions

$$p = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{t_0^{\,2}}{T - t_0}\right), p = \frac{1}{\Delta f}\left(\frac{f_0 + \Delta f}{Tf_0 - 1}\right).$$

A more convenient way to measure frequency using stroboscopic tachometer.

In most situations it is difficult to coincide frequencies of the object(plate) and the stroboscopic lamp. The method mentioned below makes such situations more convenient to measure frequency.

Advantages of this method:

– higher accuracy;
– capability of measuring higher frequencies;
– convenience to use.

Disadvantage of this method – demands to take an extra reading from stopwatch.

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the same direction

$$t_0 - \Delta t = t_{measure};$$

$$t_0 - \left(\frac{t_0^{\,2}}{T + t_0}\right) = t_{measure};$$

$$t_0 = \frac{T \times t_{measure}}{T - t_{measure}}.$$

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the opposite directions

$$t_0 + \Delta t = t_{measure};$$

$$t_0 + \left(\frac{t_0^{\,2}}{T - t_0}\right) = t_{measure};$$

$$t_0 = \frac{T \times t_{measure}}{T + t_{measure}}.$$

Results

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the same direction

$$p = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{t_0^{\,2}}{T - t_0}\right), p = \frac{1}{\Delta f}\left(\frac{f_0 + \Delta f}{Tf_0 - 1}\right), t_0 = \frac{T \times t_{measure}}{T - t_{measure}}.$$

When the wagon-angular velocity and real angular velocity lie in the opposite directions

$$p = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{t_0^{\,2}}{T - t_0}\right), p = \frac{1}{\Delta f}\left(\frac{f_0 + \Delta f}{Tf_0 - 1}\right), t_0 = \frac{T \times t_{measure}}{T + t_{measure}}.$$

Discussion

– The value of p must be rounded to the nearest natural number.
– Since using this method the frequency can be measured in the situation where $p = n$, frequency of aharmonic motion of $h*n$ can be measured by a strobe tachometer with the maximum frequency of $h$, harmonic frequency can be measured economically.
– There only needs to freeze the object approximately, so that it becomes more convenient to use.

**УДК 004.51**

***И. С. Саушкин***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***М. Д. Поляк***
научный руководитель

# ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА РАБОТЫ С ДАННЫМИ ПО ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИМ ПИГМЕНТАМ

**Введение**

Финский залив – бесценное достояние Санкт-Петербурга. Именно благодаря ему Санкт-Петербург превратился в процветающий европейский город. Мелководное Балтийское море сообщается с акваторией Атлантического океана очень узкими проливами, что существенно затрудняет развитие приливно-отливных течений, которые способствуют обновлению и очищению водных масс.

На фоне колоссального речного стока, характерного для влажного климата Санкт-Петербурга, эти особенности водного режима ставят морские ворота Петербурга в крайне уязвимое положение, создавая исключительно высокий потенциал загрязнения вод. Особенно печально положение Невской губы, которая зажата Петербургской дамбой и постепенно превращается в заболоченный водоем со стоячей водой.

Можно оставить все как есть, сославшись на обреченность Финского залива и невозможность улучшения его состояния в условиях прогрессирующего развития прибрежных территорий. Однако мировой опыт говорит о другом. Отличный пример – Великие озера Северной Америки, которые в результате принятия разнообразных мер по спасению акваторий из отстойников многочисленных предприятий крайне индустриализованного севера США превратились в водоемы с очень чистой водой. Оптимизм внушает и то, что на это понадобилось всего нескольких десятилетий, и именно технический прогресс, который, казалось бы, обещает природе лишь разрушения, дал человеку возможность восстановить нарушенный им же баланс в природе.

Для предотвращения дальнейшего загрязнения заливав первую очередь необходимо решить задачу гидробиологического мониторинга водной среды [1]. Мониторинг водной среды – это комплексная работа, направленная на изучение состояния водных ресурсов. В данной работе рассматривается именно гидробиологический мониторинг. Основная проблема исследователя состоит в сложности переработки больших объемов многомерных и разнородных данных. Поэтому возникает проблема выбора необходимого доступного средства, способного максимизировать простоту этого процесса. Или по большей части его автоматизировать.

Представленные в данный момент на рынке инструменты для обработки данных зачастую не справляются с поставленными задачами и обладают крайне высоким порогом вхождения – это высокая цена и повышенные требования к квалификации пользователя. Кроме низкого порога вхождения, к выбору технологического решения предъявляются требования, позволяющие сильно экономить время конечного пользователя, носить диалоговый характер, упрощать выполнение сложных расчетов, обладать удобным интерфейсом взаимодействия с известными программными продуктами, обладать возможностью мгновенного пересчета результатов при вводе или изменении данных, а также обладать гибкостью настройки.

Целью данной работы является создание модуля веб-геоинформационной системы для работы с пробами фотосинтетических пигментов.

Были поставлены следующие задачи:

- структурирование полученных данных гидробиологического мониторинга;
- разработка дружественного интерфейса для работы с данными о фотосинтетических пигментах;
- внедрение разграничения полномочий пользователей в системе;
- оптимизация интерфейса для улучшения человеко-машинного взаимодействия.

Структурирование полученных данных необходимо произвести для оптимизации работы созданных интерфейсов с данными в базе данных.

Введение разграничения прав пользователей обуславливается необходимостью ограничения несанкционированного доступа к средствам управления данными злоумышленниками или людьми, не обладающими достаточной квалификацией.

Оптимизация интерфейса требуется для минимизации объема требуемых знаний в компьютерной сфере конечного пользователя.

**Разработка системы для отображения и редактирования данных мониторинга**

В последние годы благодаря развитию технологий пользователи Сети могут использовать новые средства доставки информации, в том числе и пространственной.

К сожалению, все представленные на рынке веб-ГИС не обладают необходимым в контексте данной задачи функционалом [2]. Поэтому было принято решение о разработке собственной системы.

В данной работе был сделан выбор в пользу веб-ГИС, то есть ГИС, расположенной в сети Интернет. Достоинства такой ГИС:

- доступ к ГИС может быть осуществлен из любой точки мира и с любого устройства, имеющего доступ в Интернет;
- минимальные требования к квалификации конечного пользователя;
- централизация данных для удобства хранения и использования;
- сокращение расходов на покупку настольной версии ГИС.

Веб-ГИС практически ничем не уступает настольной версии. В рамках данной задачи возможностей Веб-ГИС хватает с избытком.

Так как в основе разрабатываемой системы лежит клиент-серверная архитектура, возникает потребность в выборе языка программирования серверной части системы. В качестве языка для серверной части разрабатываемой системы выбран PHP.

Для упрощения разработки веб-ГИС было принято решение использовать фреймворк *Laravel*. Это дает следующие преимущества:

- существенно сокращает сроки разработки;
- позволяет писать хорошо структурированный, хорошо документированный и повторно используемый код;
- позволяет создавать масштабируемые, легко расширяемые приложения;
- скрывает от разработчика необходимость заботиться о низкоуровневой безопасности сайта;
- стимулирует следовать шаблону проектирования MVC (Модель – Представление – Контроллер), позволяющему разделить логику приложения и представление данных;
- способствует применению современных методов программирования, в первую очередь объектно ориентированного подхода.

Несмотря на свою молодость (первый выпуск *Laravel* состоялся в 2011 г.), это уже совершенно зрелый продукт, и, согласно опросу, проведенному порталом *SitePoint* [3], он занимает первое место по популярности среди разработчиков на PHP.

Сейчас *Laravel* – это огромная система, включающая в себя хостинг и платформу для развертывания приложений. Она имеет собственный обработчик шаблонов *Blade*, элегантный синтаксис, упрощающий выполнение рутинных операций, таких как авторизация, управление сессиями, очередями, кешированием и маршрутизацией. Кроме того, *Laravel* содержит локальную среду разработки *Homestead*, являющуюся частью пакета *Vagrant*.

Когда сведений очень много, их нужно упорядочивать. Таблица – самый простой способ упорядочить данные. Таблицы облегчают поиск необходимых сведений, не заставляя изучать всю имеющуюся информацию.

Кроме того, можно не только показывать табличные данные, но и работать с ними. Табличные вычисления возможно производить с любыми данными, однако особенно удобно это делать с числовыми данными. Благодаря наглядности значительно упрощается проведение любых расчетов, использующих данные, содержащиеся в таблицах.

На рынке представлено множество готовых решений табличных представлений [4]. В результате сравнительного анализа множества программных решений был сделан выбор в пользу библиотеки *GijgoGrid*.

Для улучшения стабильности работы, снижения рисков несанкционированного доступа и добавления возможности разграничения прав пользователей была добавлена возможность регистрации и аутентификации пользователей.

*Laravel* обладает стандартными встроенными средствами реализации регистрации, аутентификации и авторизации. Также *Laravel* позволяет защитить систему от таких атак, как SQL-инъекции и кража или подмена *cookie*-файлов.

Разработка пользовательских интерфейсов является ключевой задачей данного проекта. Все дальнейшие решения исходят из этой задачи.

Так как структура базы данных достаточно сложна, для удобного получения и обработки данных о фотосинтетических пигментах в базе данных было создано представление. Для упрощения реализации работы интерфейса с базой данных для представления написаны соответствующие правила (триггеры).

Контроллер необходим для преобразования действий пользователя в команды, понятные модели, которая в свою очередь понимает, какое действие с данными ей необходимо произвести. В данной работе реализованы контроллеры для выполнения всех необходимых задач.

Пример разработанного в результате интерфейса с отображением данных обо всех фотосинтетических пигментах приведен на рисунке. Так как данные зачастую вносятся или обновляются в несколько позиций за один раз, была реализована возможность множественного редактирования. Был интегрирован алгоритм отмены внесенных изменений, что позволило существенно упростить работу конечного пользователя. Также были интегрированы алгоритмы разграничения прав пользователей.

Интерфейс отображения всех данных о фотосинтетических пигментах

Для оптимизации некоторые данные, такие как широта и долгота расположения станции, были вынесены в раскрывающееся поле. Это позволяет оптимизировать внешний вид интерфейса и сохранить полезное место на странице.

**Вывод**

Нами был полностью реализован универсальный интерфейс работы с банком данных о фотосинтетических пигментах, что облегчит последующую разработку системы.

В пользовательский интерфейс были интегрированы алгоритмы разграничения прав доступа к данным, а применение фреймворка *Laravel* позволило защитить данные, в том числе и пользовательские, от несанкционированного доступа.

Также была проведена оптимизация пользовательского интерфейса, что обеспечило простоту работы конечного пользователя с системой и снизило требования к квалификации работника.

**Библиографический список**

1. Гидробиологический мониторинг поверхностных вод в России. URL: https://vuzlit.ru/756017/gidrobiologicheskiy_monitoring_poverhnostnyh_rossii.

2. Каталог разработанных веб-ГИС. URL: http://gisgeo.org/catalogue/soft/web-gis.html.

3. Рейтинг PHP-фреймворков. URL: https://www.sitepoint.com/best-php-framework-2015-sitepoint-survey-result.

4. Популярные AJAX и PHP табличные представления. URL: http://www.webhostingreviewslist.com/development/top-10-ajax-php-powered-mysql-table-editor-viewer-data-grids.

**УДК 004.6**

***Я. Сейлис***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***А. В. Фомин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## *BIGDATA*: ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЛОЯЛЬНОСТИ КЛИЕНТОВ АВИАКОМПАНИИ

На сегодняшний день объемы информации растут в геометрической прогрессии за счет стремительного развития технологий и устройств в этой области. Однако обработка больших объемов информации ставит все новые задачи перед учеными, так как в большинстве случаев данные являются неструктурированными и хаотичными. Они меняются так быстро, что их обработка традиционными методами уже невозможна (рис. 1).

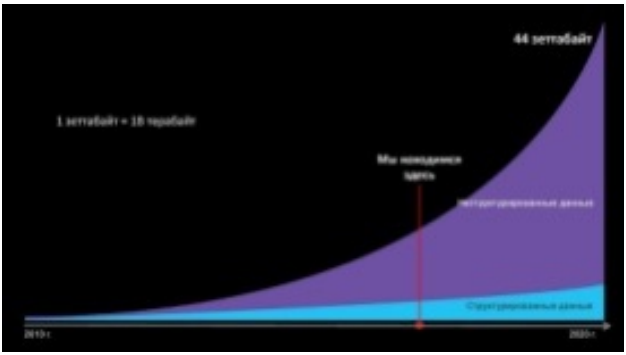



Рис. 1. Рост объема данных, накопленных человечеством. IBM 2017 г.

Это привело к появлению такого направления, как *BigData* (дословно «большие данные»), в рамках которого формируются подходы к исследованию больших объемов поступающей информации. Новые алгоритмы оперативно справляются с гигантскими объемами неструктурированных потоков данных. Их анализ позволяет оптимизировать различного рода бизнес-процессы внутри компании. Авиаперевозчики используют технологии *BigData* для разных целей, но наиболее успешным и перспективным направлением является применение данной технологии в рамках компаний по повышению клиентской лояльности, для извлечения большей прибыли и повышению эффективности работы авиакомпании в целом.

В основе системы *BigData* авиакомпании лежит ряд сложных алгоритмов и математических моделей, которые подстраиваются под конкретного клиента. Данная технология предоставляет информацию по каждому клиенту (например, какими направлениями клиенты пользуются чаще всего), что позволяет авиакомпании находить индивидуальный подход к пассажиру и устраивать таргетированные рекламные компании (рис. 2).

Анализируя статистику клиентских покупок, историю поиска по системе мультимедиа развлечений на борту и сведения от партнеров (предпочитаемая пассажирами сеть отелей, курортов, стран отдыха), авиакомпании узнают «клиентскую ДНК». *British Airways* собирает информацию о пассажирах при помощи собственного приложения, которое использует для персонализации сервиса.

Работает это следующим образом: если клиент сообщил о своей аллергии, то на всех следующих рейсах бортпроводники примут этот факт во внимание. Если пассажир повысил свой уровень в программе лояльности, об этом тоже будет известно – по такому поводу ему могут предложить, к примеру, бокал шампанского. А если клиент впервые летит бизнес-классом, персонал воздушного судна получит соответствующую информацию и сделает все для того, чтобы пассажир захотел повторить этот опыт.

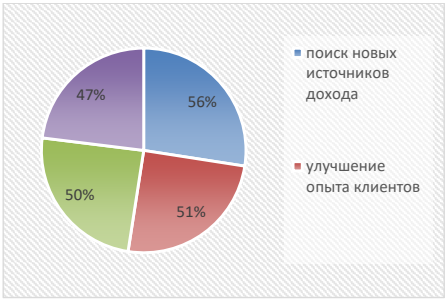



Рис. 2. Результаты опроса исследовательской компания *The Economist Intelligence Unit* и консалтинговой компании *Accenture* «Главные преимущества *BigData* для бизнеса»

Американская авиакомпания *Delta* создала для своих клиентов приложение, которое позволяет отслеживать багаж. А *Turkish Airlines* при помощи *BigData* поможет пассажирам ориентироваться в новом стамбульском аэропорту, который откроется в 2018 году. Кроме того, если пассажир перед вылетом припарковал свой автомобиль на стоянке, специальное приложение авиакомпании запоминает локацию.

На основе клиентских профилей система *BigData* «Аэрофлота» выводит обобщенный портрет узкой целевой клиентской группы, анализируя пол, возраст, семейное положение, интересы, предпочтения и историю полетов. Это позволяет определить, какие направления и какой класс обслуживания предпочитает конкретный тип клиента. Таким образом, на внешних ресурсах, таких как «Яндекс», Mail.ru и др., «Аэрофлот» дает рекламу целенаправленно, обращаясь к тем, кто с большей вероятностью на нее откликнется.

Система *BigData* также может прогнозировать вероятность полета на ближайшие 12 месяцев, используя данные о предыдущих рейсах, последних покупках и стоимости приобретенных билетов. Если вероятность велика, система прогнозирует самый подходящий момент, когда стоит обратиться к клиенту. Если же вероятность находится на достаточно низком уровне, «Аэрофлот» старается «вдохновить» человека на путешествие.

Оценка процента недозагрузки авиарейсов на основе статистики покупок авиабилетов помогает компании вовремя реагировать на «сезонные» предпочтения клиентов и эффективно переводить ресурсы авиакомпании между направления, тем самым уменьшая количество задержанных авиарейсов, что в свою очередь сводит к минимуму число недовольных клиентов. Также на основе процентного соотношения между запросами на поиск и совершенными покупками можно сделать вывод о том, является ли это направление востребованным для клиентов авиакомпании. Если нет, то почему и какие меры необходимо предпринять для повышения интереса клиентов к данному направлению.

Обработка и анализ больших массивов информации в первую очередь выгодны клиенту авиакомпании, который получает персонализированный сервис. Изучая его предпочтения, система *BigData* предугадывает пожелания и предотвращает возможные конфликтные ситуации. Коммуникация между авиакомпанией и пассажиром становится проще, а полет – удобнее.

Также важной задачей авиакомпаний для повышения клиентской лояльности является должный уровень обеспечения кибербезопасности клиентских данных. Авиаперевозчики должны сделать все возможное, чтобы личная информация о пассажирах и другой потоковый контент были сугубо конфиденциальны.

В наше время количество хакерских атак с целью кражи данных клиентов растет высокими темпами, по данным *Malwarebytes*, их количество в 2018 г. возросло на 4000%. Традиционных механизмов безопасности, таких как брандмауэры и антивирусное программное обеспечение, устанавливаемое на компьютерах, недостаточно для эффективной защиты больших данных. Дело в том, что эти механизмы создавались для защиты небольших объемов статической информации – файлов, сохраненных на жестких дисках, а не большого информационного потока, прибывающего из облака.

Меры безопасности должны быть достаточно гибкими и оперативными, что позволит обеспечить бесперебойность получения данных и безопасность многочисленных «точек входа». Компаниям необходимо разработать процессный подход к анализу и обработке данных, а также автоматизировать процессы, касающиеся обеспечения безопасности больших данных в рамках устоявшихся практик. Автоматизация может включать в себя в том числе элементы машинного обучения (искусственный интеллект – ИИ). С помощью ИИ возможно извлекать из добавляемых в кластер данных признаки «конфиденциальности», выявлять паттерны, не характерные для нормальной работы с данными, составлять профили пользователей и фиксировать отклонения в работе пользователей от их нормального профиля поведения, то есть выявлять мотивы пользователей при работе с данными.

Говинда Раммурти, занимающий пост исполнительного директора компании *eScanMicroWorld*, дал несколько рекомендаций, которые помогут обеспечить безопасность данных. Он посоветовал сфокусироваться на безопасности ресурсов и приложений, а не устройств, изолировать критически важные устройства и серверы, внедрять SIEM (средства управления информацией и событиями информационной безопасности) в режиме реального времени, а также обеспечивать баланс реактивной и проактивной защиты.

**Библиографический список**

1. Effective Big Data Management and Opportunities for Implementation. Эффективное управление большими данными и возможности для реализации / [editors] Manoj Kumar Singh, Dileep Kumar G. Hershey, PA : Inform. science ref., cop. 2016.

2. Башина О. Э. Возможности применения глобальных технологий BigData для повышения эффективности логистических процессов / О. Э. Башина, Л. В. Матвеева // Знание. Понимание. Умение. 2017.

3. Силен Д. Основы Data Science и Big Data. Python и наука о данных / Дэви Силен, Арно Мейсман, Мохамед Али. СПб.: Питер, 2017.

**УДК 004.627**

***А. И. Синяев***
студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***А. А. Ключарев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЯДЕРНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ СЖАТИЯ ДАННЫХ

Сжатие данных является важной областью информационных технологий. Его цель – сокращение количества бит, используемых для хранения или передачи информации [1]. Это позволяет эффективно использовать память и передавать данные в условиях ограниченной пропускной способности.

Большинство процессов сжатия достигается путем удаления избыточности данных при сохранении информационного содержимого. Алгоритмы сжатия данных используют некоторые характеристики, чтобы сжатые данные были меньше исходных. Сжатие данных на графических процессорах (GPU) стало эффективным подходом для повышения производительности основной памяти.

CUDA – это параллельная вычислительная платформа и модель программирования, изобретенная NVIDIA [2]. Она позволяет значительно увеличивать производительность вычисления с помощью графического процессора. Алгоритмы сжатия данных на CUDA обеспечивают лучшее сжатие. В этой статье будет реализован алгоритм LZW на CUDA. Из-за параллельных характеристик графического процессора время сжатия должно быть значительно меньше, чем в среде центрального процессора (CPU).

Современные графические карты содержат аппаратное обеспечение, которое может быть использовано для параллельного программирования. Графические процессоры оптимизированы для векторной обработки графических данных и содержат сотни ядер, которые могут работать параллельно. Программный каркас CUDA от компании NVIDIA обеспечивает аппаратную и программную поддержку для параллельного программирования общего назначения. Параллельные алгоритмы сжатия на CUDA интересны тем, что графические процессоры распространены на многих персональных компьютерах и обеспечивают способ распараллеливания сотен вычислительных единиц. Интересно узнать, как эти архитектурные соображения влияют на ускорения различных алгоритмов сжатия.

Техники сжатия данных могут быть разделены на две основные группы: с потерей и без потери информации. Первые достигают наилучшего сжатия с потерей некоторой информации. Когда сжатые данные будут извлечены, они не будут такими же, какими были до сжатия. Сжатие без потерь состоит из тех методов, которые гарантируют получение точного дубликата потока входных данных после сжатия. Это тип сжатия, используемый при хранении записей базы данных или текстовых файлов.

Сжатие данных без потерь обычно осуществляется с использованием одного из двух различных типов моделирования: статистического или словарного. Статистическое моделирование считывает и кодирует один символ за раз, используя вероятность появления этого символа. Он считывает входные данные и ищет группы символов, которые появляются в словаре. Если найдено совпадение строк, вместо кода для символа можно вывести указатель или индекс в словарь. Чем длиннее совпадение, тем лучше коэффициент сжатия. Вместо этого они выбирают строки символов и кодируют каждую строку как токен, используя словарь. Словарь содержит строки символов и может быть статичным или динамическим (адаптивным). Первый является постоянным, иногда позволяющим добавлять строки, но не удалять, тогда как последний содержит строки, ранее найденные во входном потоке, что позволяет добавлять и удалять, когда читаются новые данные. Мы будем фокусироваться только на сжатии без потерь с применением словаря.

Рассмотрим алгоритм Лемпеля – Зива – Велча (*Lempel – Ziv – Welch*) – LZW [3]. Этот алгоритм является улучшенной версией алгоритма LZ78. Сжатие LZW заменяет строки символов одиночными кодами. Он не анализирует входящий текст. Вместо этого LZW строит таблицу перевода строк из сжатого текста. Таблица преобразования строк отображает коды фиксированной длины в строки. Строка-таблица инициализируется всеми односимвольными строками.

Алгоритм LZW-сжатия в простейшей форме приведен на рис. 1. Каждый раз, когда генерируется новый код, новая строка добавляется в таблицу строк. Алгоритм LZW постоянно проверяет, является ли строка уже известной, и, если это так, выводит существующий код без генерации нового.

```
Процедура LZW-сжатия:
СТРОКА = очередной символ из входного потока
WHILE входной поток не пуст DO
СИМВОЛ = очередной символ из входного потока
IF СТРОКА+СИМВОЛ в таблице строк THEN
СТРОКА = СТРОКА+СИМВОЛ
ELSE
вывести в выходной поток код для СТРОКА
добавить в таблицу строк СТРОКА+СИМВОЛ
СТРОКА = СИМВОЛ
END of IF
END of WHILE
вывести в выходной поток код для СТРОКА
```

Рис. 1. Алгоритм сжатия

Алгоритму сжатия соответствует свой алгоритм распаковки. Он получает выходной поток кодов от алгоритма сжатия и использует его для точного восстановления входного потока. Одной из причин эффективности LZW является то, что этот алгоритм не нуждается в хранении таблицы строк, полученной при сжатии. Таблица может быть точно восстановлена при распаковке на основе выходного потока алгоритма сжатия. Это возможно потому, что алгоритм сжатия выводит СТРОКОВУЮ и СИМВОЛЬНУЮ компоненты кода прежде, чем поместит этот код в выходной поток. Это означает, что сжатые данные не обременены необходимостью тянуть за собой большую таблицу перевода.

Алгоритм распаковки представлен на рис. 2. В соответствии с алгоритмом сжатия он добавляет новую строку в таблицу строк каждый раз, когда читает из входного потока новый код. Все, что ему необходимо еще сделать, – это перевести каждый входной код в строку и переслать ее в выходной поток.

```
Процедура LZW-распаковки:
читать СТАРЫЙ_КОД
вывести СТАРЫЙ_КОД
WHILE входной поток не пуст DO
читать НОВЫЙ_КОД
СТРОКА = перевести НОВЫЙ_КОД
вывести СТРОКУ
СИМВОЛ = первый символ СТРОКИ
добавить в таблицу перевода СТАРЫЙ_КОД+СИМВОЛ
СТАРЫЙ_КОД = НОВЫЙ_КОД
END of WHILE
```

Рис. 2. Алгоритм распаковки

Выходной поток идентичен входному потоку алгоритма сжатия. Отметим, что первые 256 кодов уже определены для перевода одиночных символов, также как и в алгоритме сжатия.

CUDA – вычислительная архитектура, разработанная компанией NVIDIA и предназначенная для разработчиков параллельных программ. В сочетании с развитой программной платформой архитектура CUDA позволяет программисту задействовать невероятную мощь графических процессоров для создания высокопроизводительных приложений, включая научные, инженерные и финансовые приложения.

Графический процессор состоит из множества многоядерных процессоров SIMD (*SingleInstruction*, *MultipleData*), которые совместно используют часть памяти устройства CUDA. Потоки

GPU одновременно используют один и тот же код функции ядра на разных данных. Внутри каждого многоядерного процессора перекосы далее сгруппированы в блоки потоков. Потоки в одном блоке потоков совместно используют ресурсы на одном мультипроцессоре, например регистры и локальную память (или разделяемая память в терминах NVIDIA).

На рис. 3 изображена многоядерная архитектура GPU.

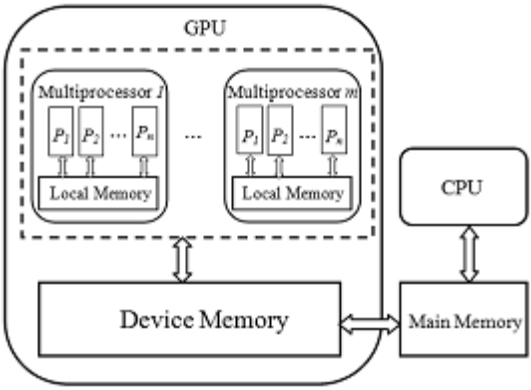



Рис. 3. Многоядерная архитектура GPU

Процесс сжатия текстового файла с алгоритмом LZW при использовании графического процессора NVIDIA GTX580 (512 ядер) оказался на 20% быстрее, чем с процессором *Intel Core* i7-2600.

**Библиографический список**

1. David Salomon. Data Compression The Complete Reference. 3rd edition. Department of Computer Science California State University, USA.

2. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture Programming Guide. URL: www.nvidia.com.

3. Wenbin Fang. Database Compression on Graphics Processors / Wenbin Fang, Bingsheng He, Qiong Luo. Hong Kong University of Science and Technology.

**УДК** 681.3.068

***Д. А. Чуев***
магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии
***В. Ю. Гамов***
кандидат военных наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМ ОТОБРАЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТЫ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА

Важнейшим элементом, обеспечивающим сбор, обработку, хранение, анализ и отображение технологической, измерительной и отчетной информации при проведении испытаний объектов ракетно-космической техники является система поддержки и принятия решений (СППР) ракетно-космической техники на стартовом комплексе [1].

Система поддержки и принятия решений предназначена для своевременного оперативного обеспечения органов управления и лиц, принимающих решения, объективной и достоверной информацией о техническом состоянии космических комплексов и их составных частей, необходимой для принятия оперативных и действенных решений по обеспечению заданного уровня надежности космических комплексов, поддержания их в установленной готовности к использованию по предназначению.

В процессе информационного обеспечения технологических процессов подготовки и пуска ракетно-космической техники в СППР циркулируют разнородные потоки данных, которые должны быть обработаны, систематизированы и сохранены для последующего предоставления потребителям. Без привлечения средств вычислительной техники, обладающей значительными мощностями (по производительности, объемам хранимой информации и т.д.), невозможно выполнение главной задачи СППР – оценки состояния изделия и стартового комплекса в целом, оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой и проведением пуска [2].

Для проектирования СППР была использована система автоматического проектирования исходных данных, предназначенная для занесения необходимых исходных данных и знаний о составе используемых технологических параметров и алгоритмах манипуляции данными в целях оценивания состояния объектов мониторинга и управления, формирования и выдачи управляющих воздействий на объект управления, визуализации в удобном для конечного пользователя виде результатов обработки технологической информации.

На сегодняшний день в большинстве СППР в области ракетно-космической техники не организована возможность получения удаленного доступа к информации. Поэтому возникла необходимость в разработке программы преобразования форм отображения системы автоматического проектирования исходных данных в элементы веб-интерфейса.

Целью работы является разработка программы автоматического преобразования форм отображения в элементы веб-интерфейса, которая предоставит возможность удаленного доступа к информации СППР с любого устройства, имеющего в наличии веб-браузер и выход в сеть Интернет, путем автоматического преобразования проектируемых системой автоматического проектирования исходных данных (АПИД) форм отображения в веб-страницы, которые в дальнейшем можно будет опубликовать на веб-сервере.

Система автоматического проектирования исходных данных является средством разработки прикладного программного обеспечения, включающего в себя экранные формы отображения и алгоритмы анализа состояния контролируемых объектов с учетом имеющихся в базе данных исходных данных и знаний об объекте анализа.

Для анализа и представления консолидированной информации СППР требуется создание динамичных и всеобъемлющих форм отображения с помощью системы автоматического проектирования исходных данных, которая, с одной стороны, интегрируется с системой мониторинга и сбора данных, с другой – обеспечивает гибкий интерфейс взаимодействия с базой данных СППР.

На схеме взаимодействия, изображенной на рис. 1, СППР предоставляет технологическую и измерительную информацию системе АПИД, которая проектирует формы отображения, предоставляю-

щие информацию пользователю непосредственно на автоматизированное рабочее место (АРМ). После передачи формы отображения на разрабатываемую программу выполнится генерация веб-страниц, которые в дальнейшем будут опубликованы на веб-сервере, где веб-сервер, получая информацию от СППР, будет удаленно предоставлять информацию пользователю с любого устройства, подключенного к сети Интернет, независимо от его расположения.

Программа, интерфейс которой представлен на рис. 2, разработана на языке *Java* с использованием *JavaFX* – платформы для создания приложений, которые могут запускаться на персональных компьютерах. Платформа *JavaFX* позволяет создавать приложения для работы с мультимедийным содержимым, графические интерфейсы пользователя для бизнес-приложений и т.д. Приложения на платформе *JavaFX* могут запускаться на компьютерах с установленной средой исполнения *Java* 1.5 и выше [3].

На рис. 2 в левом списке расположены файлы формата «.tuw», являющиеся формами отображения. В правом списке расположены файлы формата «.html», являющиеся веб-страницами, которые получены в результате преобразования выбранных из левого списка форм отображения. Реализована возможность обновления списка форм и веб-страниц, а также добавления новых форм отображения.

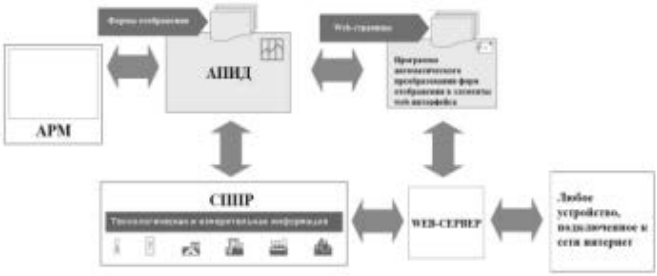



Рис. 1. Схема взаимодействия

Рис. 2. Интерфейс программы

Разработан алгоритм сбора и структурирования атрибутов модели формы отображения, изображенный на рис. 3. Форма отображения, спроектированная системой автоматического проектирования исходных данных, представляет собой файл формата «.tuw», который описан в соответствии с нотацией «.xml». Для обработки этого файла был использован DOM-парсер, который выполняет разбор всех элементов и свойств формы отображения и формирует структуру данных – дерево. Каждый узел дерева является элементом с определенными свойствами.

Разработан алгоритм создания и обработки веб-страницы (файл формата «.html») на основе обработанных данных модели формы отображения – дерева элементов и их свойств, изображенный на рис. 4. С использованием этих данных выполняется рекурсивный проход по элементам дерева сверху

вниз и последовательная генерация «.html»-файла, который строится на основе «.html»-тегов, соответствующих визуальному представлению элементов формы отображения, также с помощью свойств элемента каждый тег описывается каскадной таблицей стилей.

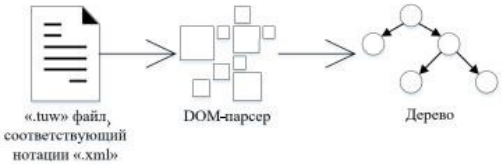



Рис. 3. Разработанный алгоритм сбора и структурирования атрибутов модели формы отображения

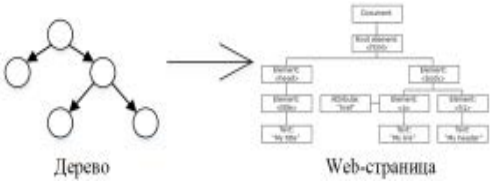



Рис. 4. Разработанный алгоритм создания и обработки веб-страницы

Пример преобразования формы отображения представлен на рис. 5. Сверху представлена спроектированная системой автоматического проектирования исходных данных форма отображения формата «.tuw». На рис. 5 представлена веб-страница формата «.html», полученная в результате преобразования формы отображения сверху.

Видно, что все элементы (таблица и ее ячейки, кнопка, текст, а также их свойства: цвет фона, цвет, размер и расположение таблицы и кнопки, цвет, тип и размер текста) соответствуют форме отображения.

Рис. 5. Пример преобразования формы отображения

В результате разработанная программа позволит предоставить возможность удаленного доступа к информации СППР с любого устройства, имеющего в наличии веб-браузер и выход в сеть Интернет, путем автоматического преобразования проектируемых системой АПИД форм отображения в веб-страницы, которые в дальнейшем можно будет опубликовать на веб-сервере.

**Библиографический список**

1. Гамов В. Ю. Автоматизированные системы научных исследований: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2015. 96 с.

2. Гамов В. Ю. Разработка методологических основ моделирования объектов и процессов в космической отрасли: учеб. пособие / В. Ю. Гамов, М. Ю. Охтилев. СПб.: ГУАП, 2018. 123 с.

3. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство / Пер. с англ. В. А. Коваленко. М.: Вильямс, 2012. 1377 с.

УДК 004.58

***А. А. Барышева***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАСПОРТ ЗДОРОВЬЯ

В современном мире здоровье людей все больше и больше вызывает беспокойство специалистов в связи с неправильным питанием, снижением двигательной активности, экологическими проблемами и возрастающей учебной нагрузкой. И главная задача – вовремя заметить эти отклонения. В поликлинике хранится наша амбулаторная карта, которая, чаще всего, включает всю информацию о наших заболеваниях, о вакцинациях, результаты диагностических исследований, назначение препаратов.

Паспорт здоровья – это тоже медицинский документ. Не стоит путать его с санитарной книжкой или амбулаторной картой больного. Он оформляется на работающих граждан, детей школьников и дошкольников в медицинском учреждении или частной клинике, по результатам прохождения медицинской комиссии. Паспорт выдается на руки.

На основании Федерального закона «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 N 323-ФЗ, все кто устраивается на производство, должны обязательно получить паспорт здоровья, т.е. пройти медицинский осмотр, обязательно учитывающий профессиональные особенности условий труда работника. В дальнейшем такой работник регулярно должен проходить медкомиссии, все результаты которых должны заноситься в паспорт здоровья. Электронный паспорт здоровья – это такой же паспорт здоровья, только в электронном виде, это инструмент для мониторинга своего здоровья на современном уровне. Он нужен для того, чтобы все информация о здоровье хранилась в одном уровне и была удобна в использовании; чтобы можно было предотвратить развитие заболеваний на начальном уровне и вовремя проводить профилактические мероприятия.

Структура паспорта здоровья представляется следующим образом.

Все вносимые параметры в паспорт будут делиться:

- на не требующие повторного внесения: пол, год рождения, генетические маркеры;
- переменные: антропометрия, симптомы, средовые факторы и т. д.

В модели необходимо предусмотреть возможность перманентного обновления факторов. Для примера: в модель «Ортопедия» будут вложены следующие группы факторов. Паспортные данные, например, помимо возрастных особенностей и статистики поражений в этой возрастной группе, будут давать для модели на основе места проживания информацию об экологической обстановке и наиболее частых по статистике заболеваниях по количеству обращений в этой местности. Генетические факторы дадут информацию и вероятности системных заболеваний с ортопедическими проявлениями. Антропометрические данные помогут вычислить риск осложнений, учитывая соотношения веса ростовых показателей или нарушения соотношения длин и окружностей сегментов тела. Вовлеченные органы опорно-двигательного аппарата будут учитывать типичные сочетания поражений. Симптомы автоматически будут объединятся в симптомокомплексы. Доказанные факторы влияния других систем будут учитывать вторичное поражение опорно-двигательного аппарата на фоне поражения других органов.

Сейчас все активно переходят на страховой полис, который выглядит как пластиковая карта. Можно сделать и паспорт здоровья в виде карточки. Небольшая, как банковская, чтобы поместилась в кошелек или в обложку паспорта или в любые другие документы. Эта карточка будет, как flash-накопитель.

В карточку будет встроен индивидуальный QR-code. Это двухмерная версия обычного штрихкода. QR обозначает *Quick Response*, что в переводе на русский язык означает «быстрый отклик» и символизирует мгновенный доступ к информации, которую мы храним в коде. Это достаточно удобно, потому что почти у каждого человека в современном мире есть смартфон; можно поднести QR-code к смартфону, он его считывает и видна информация, которая хранится в твоем паспорте здоровью. Врачи используют специальный планшет, к которому они подносят карточку пациента с QR-code и могут посмотреть нужную им информацию. Но чтобы посмотреть информацию, нужно еще идентифицироваться в системе, в которой доступ у пациентов будет только к своим карточкам, а у врачей ко всем. Для этого у них будет свой индивидуальный логин и пароль. Этот пароль личный для каждого врача. Врач входит в систему, прикладывает карточку пациента и видит о нем информацию; также у него есть возможность обновлять информацию о больном.

У человека будет свой логин и пароль, от своего личного кабинета и так же всю информацию они смогут посмотреть по QR-code. Они могут изменять, добавлять или удалять информацию, но смогут это сделать только на своем электронном паспорте здоровья.

Этот код устроен как черно-белый рисунок, состоящий из квадратов. Чтобы сканер его распознавал, рисунок должен состоять именно из квадратов. А множество дополнительных элементов обеспечивает правильное его считывание.

Электронный паспорт здоровья человека – это очень удобно, данные можно хранить в облаке и пользоваться ими можно в любое время, в том числе и в поездке.

Потерять такой паспорт будет сложно, потому что даже при потере карточки у пациента есть свой личный кабинет.

**Библиографический список**

1. Игнатьев М. Б. Кибернетическая картина мира. СПб.: ГУАП, 2010. С. 125.

**УДК 004.052.2**

***В. М. Василенко***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Сергеев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОДОВ РИДА – СОЛОМОНА

Недвоичные коды Рида – Соломона (РС) играют важную роль в теории и практическом использовании помехоустойчивого кодирования. Они заслужили широкую популярность в системах современной спутниковой связи и цифрового формата телевидения. РС коды также считаются неотъемлемым атрибутом универсальных систем беспроводных коммуникаций и мобильной связи [1].

Коды РС представляют собой алгебраические коды, так как все операции и возможные формы преобразования над ними осуществляются согласно арифметике полей Галуа. Наиболее востребованными кодами РС считаются коды над полем Галуа GF ($2^8$), в которых все существующие символы выражаются 8 битами или байтом. Одной из характерных особенностей РС кодов считается их своеобразная жесткая архитектура. При построении данных кодов указывается величина алфавита $m$ и общее число ошибок $t$, которые нуждаются в исправлении. Длина каждого кодового слова определяется прямым соотношением $n = 2^m - 1$. Число символов для проверки будет равняться $n - k = 2t$. Данная особенность РС кодов предоставляет возможность заранее подбирать требуемые показатели кода, а не выискивать коды, которые будут соответствовать определенным параметрам [2].

В этой работе рассматривается использование РС кода для осуществления проверки параметров качества функционирования РС кодов и их сравнительного анализа с двоичными кодами в программе математического моделирования MATLAB, создавая модель цифрового формата канала связи. В качестве основного критерия показателя качества кода применялась зависимость возможность возникновения ошибки от соотношения сигнала к шуму.

Коды РС классифицируются как циклические блоковые коды. Свойство существующей цикличности подразумевает, что циклический сдвиг основного кодового слова на один символ вызывает новое кодовое значение из этого же кода. Специфическое кодовое слово проходит обработку и передачу блоками из $n$ символов, среди которых $k$ символов считаются информационными, а все прочие $n$-$k$ – проверочными символами. Каждый символ кодового слова выражается $m$ битами. Как правило, в современных системах передачи информационных данных применяется систематическое кодирование, в ходе которого кодовое слово формируется из двух последовательных блоков различных информационных и проверочных символов (рис. 1). Данный подход дает возможность снизить потребление ресурсов на полноценное извлечение исходной информации, если кодовое слово не имеет ошибок.

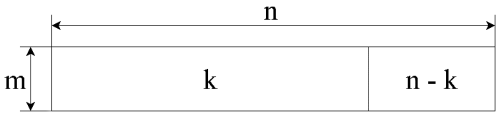



Рис. 1. Структура систематического кодового слова

Недвоичные РС коды считаются частным случаем двоичных кодов БЧХ (Боуза – Чоудхури – Хоквингема). Они принадлежат к классу специальных полиномиальных кодов, в которых кодовое слово назначается порождающим полиномом $g(x)$:

$$g(x) = \prod_{j=j_0}^{j_0+2t-1} (x - a^j),$$

где $a$ – примитивный элемент поля GF($2^m$), $j_0$ – определенное целое число (чаще всего принимаемое за 1, подбором которого можно существенно упростить схему кодера) [3].

Кодовое слово в ходе несистематического кодирования назначается в виде произведения определенного информационного многочлена *i(x)* на порождающий полином:

$$c(x) = i(x)g(x).$$

В ходе систематического кодирования все проверочные символы *t(x)* выражаются в виде остатка от разделения информационной последовательности на порождающий полином с последующим добавлением информационных символов:

$$c(x) = i(x) + t(x),$$
$$t(x) = -R_{g(x)}[i(x)].$$

Коды РС считаются оптимальными, исходя из пропорции длины кодового слова и способности к исправлению, применяя 2*t* проверочных символов. Они могут исправлять не меньше *t* ошибок. РС код обладает минимальным кодовым (Хемминговым) расстоянием $n - k + 1$ и считается кодом с максимально достижимым расстоянием (МДР). Данное заключение базируется на таком выражении: $d = 2t + 1$ – конструктивное расстояние кода, когда минимальное расстояние $d^*$ полностью удовлетворяет неравенство

$$d^* \geq d = 2t + 1 = n - k + 1.$$

Но для всякого линейного кода имеет значение граница Синглтона

$$d^* \leq n - k + 1.$$

Получается, $d^* = n - k + 1$ и $d^* = d$.

Следовательно, при фиксированных значениях *n* и *k* не может существовать код, у которого минимальное расстояние имеет большее значение, чем у кода РС. В таком случае он имеет наиболее высокие показатели исправительных параметров среди общего числа кодов с таким же значением избыточности [4].

Для оценивания помехоустойчивости (*n*, *k*) РС кода над GF(*q*) применяется вероятность возникновения ошибки на бит, $P_b$,

$$P_b \leq \frac{2^{m-1}}{2^m - 1} \sum_{i=t+1}^{n} \frac{i+t}{n} \binom{n}{i} P_s^i \left(1 - P_s\right)^{n-i},$$

где $P_s$ – вероятность возникновения ошибки на символ на входе декодера РС,

$$P_s = 1 - \left(1 - p\right)^m,$$

и *p* – вероятность возникновения ошибки на бит на входе декодера.

Для изучения характеристик недвоичных кодов РС и их сравнительного анализа с двоичными кодами была создана модель цифрового формата канала связи в программе математического моделирования MATLAB, наглядно продемонстрированная на примере рис. 2.

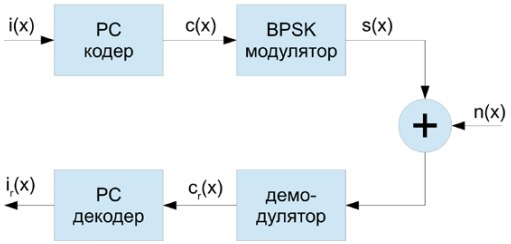



Рис. 2. Модель канала связи с аддитивным гауссовским шумом

В приведенной модели информационная последовательность *i(x)*, назначаемая случайным образом, кодировалась при помощи кодера РС. А для моделирования двоичных кодов используется кодер БЧХ. Далее, недвоичное кодовое слово *c(x)* преобразовывается в двоичную последовательность, см. рис. 3, и модулируется с помощью двоичной фазовой модуляции (BPSK), так как каждый отсчет исходящего сигнала выражается как 1 и -1. К сигналу *s(x)* прибавляется случайная величина *n(x)*, гауссовский шум.

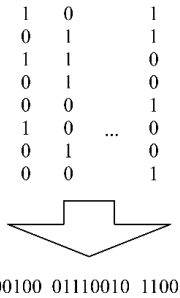



Рис. 3. Преобразование недвоичных символов в двоичную последовательность

Принятое сообщение демодулируется и декодируется. На базе сравнительного анализа декодированной информационной $i_r(x)$ и переданной $i(x)$ последовательностей сформирована статистика возникновения неисправленных ошибок.

Так как коды РС недвоичные, встал вопрос в подборе оптимального числа бит на символ. На рисунке указано исследование для кодов с одинаковой избыточностью над различными полями, количество бит на символ 6, 8 и 10 соответственно. Разница в величине возможной вероятности возникновения ошибки несущественна. Именно поэтому для цифровых систем самыми оптимальными считаются коды над полем GF ($2^8$), так как для них один символ выражается байтом.

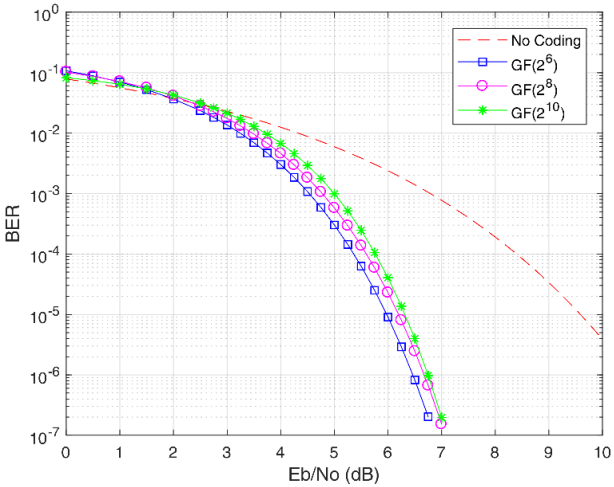



Рис. 4. Помехоустойчивость кодов с различной величиной алфавита

На рис. 5 приведено исследование, в котором показано, что при одинаковой избыточности коды с более длинными кодовыми словами остаются наименее подверженными воздействию ошибок за счет увеличенного кодового расстояния. В практическом применении, как правило, применяются коды с длиной кодового слова $n$=100…255. Наиболее выгодно в системах связи зарекомендовал себя код с длиной 255.

В ходе исследования, изображенном на рис. 6, было подтверждено, что коды с большей избыточностью имеют лучшую способность к исправлению, но есть при этом и недостаток того, что уменьшается количество передаваемой полезной информации. Поэтому наиболее оптимальными являются коды с небольшой избыточностью и относительно высокой исправляющей способностью. Таким требованиям, например, соответствует код РС (255, 239), для которого избыточность составляет всего 6%.

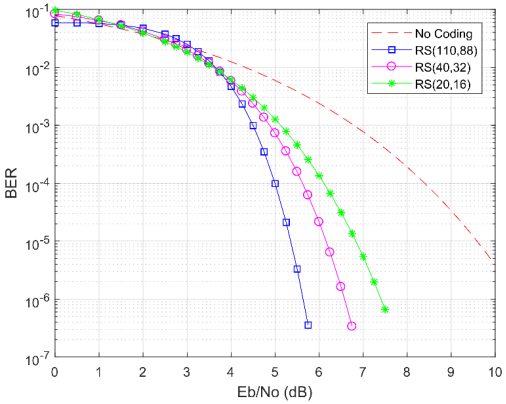



Рис. 5. Помехоустойчивость кодов с различной длиной кодового слова

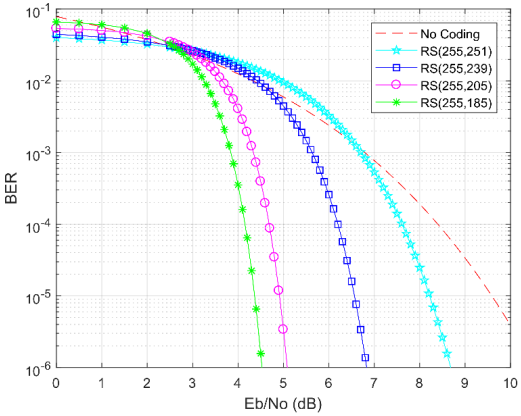



Рис. 6. Помехоустойчивость кодов с различной избыточностью

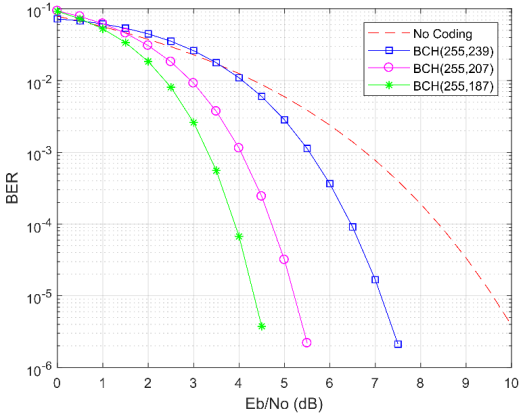



Рис. 7. Помехоустойчивость двоичных кодов

На рис. 7 представлено сравнение показателей двоичных и недвоичных кодов, для которых было проведено исследование работы канала связи с применением БЧХ кодов, с аналогичными характеристиками по избыточности, как и у кодов РС из предыдущего эксперимента.

Для небольших соотношений сигнал/шум (2–3 дБ) разницы в параметрах двоичных и недвоичных кодов мала, в указанном диапазоне тяжело обеспечить качественную работу цифрового канала связи. Начиная с соотношения 4–5 дБ, вероятность ошибки для кодов РС на ниже, чем для двоичных кодов. Это является важным качеством недвоичных кодов, т.к. они обеспечивают работу систем связи при более низких соотношениях сигнал/шум. Поэтому РС коды давно вытеснили двоичные коды в каналах связи с низкой энергетикой, таких как спутниковое телевидение и связь.

Таким образом, в данной работе была дана характеристика недвоичным кодам Рида – Соломона и проведено моделирование работы канала связи с их применением. В ходе исследования определены характеристики РС кодов для различных алфавитов, кодовой длины и избыточности. Показано преимущество недвоичных кодов по сравнению с двоичными кодами.

**Библиографический список**

1. Cipra Barry. The Ubiquitous Reed-Solomon Codes // SIAM News. 1993. Vol. 26. No 1. Pp. 77–78.

2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. М.: Вильямс, 2003. 460 с.

3. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986. 201 с.

4. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. М.: Техносфера, 2005. 111 с.

**УДК 004.92**

***М. Е. Ведерникова***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***Н. Н. Решетникова***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель
***А. В. Никитин***
кандидат технических наук, доцент – научный консультант

## АДАПТИВНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НАВЫКОВ РАБОТЫ В ПАКЕТЕ BLENDER 3D

К обучению студентов и подготовке будущих специалистов предъявляются высокие требования. Существующие учебно-методические комплексы для получения навыков работы в программе Blender 3D [1, 2] рассчитаны на группу пользователей с одним уровнем знаний, что не подойдет группе пользователей с иным уровнем знаний.

Как правило, электронные обучающие программы не учитывают разный уровень знаний и навыков обучающихся. Особенно это касается дистанционного обучения.

Применение в учебном процессе обучающих программ с адаптивным тестированием исключает возможность пропуска какого-либо раздела изучаемой дисциплины, и, одновременно с этим, обеспечивает возможность проверки качества усвоения знаний. Кроме того, адаптивные системы подстраиваются под уровень знаний пользователя.

Реальный процесс обучения учитывает и контроль знаний, и теоретический материал, но возникает проблема эффективности потраченного времени и большое количество бумажной документации, возникающей в ходе обучения.

Один из подходов к решению данной проблемы – оказание помощи обучаемому на основе адаптации. В общем случае, адаптивные системы «отражают некоторые характеристики пользователя в модели пользователя и применяют эту модель для адаптации различных визуальных аспектов системы к нуждам пользователя» [3, 4].

Различают две задачи адаптации:

1) адаптивное представление – адаптация содержания темы, к которой обращается пользователь, к его текущему уровню знаний, целям и другим характеристикам. Например, в зависимости от текущих знаний пользователь может получать подробную информацию и комментарии или менее детализированную;

2) адаптивная поддержку навигации – адаптация сценария изучения предмета к целям, уровню знаний и другим характеристикам пользователя.

Курс по изучению программы Blender 3D представляется в виде информационных, практических и тестовых подсистем.

Модель информационной части курса может быть представлена в виде графа, вершинами которого являются изучаемые темы и подтемы, а ребра – отношения типа «состоит из», «следует за» и др.

В общем случае, каждая информационная единица курса может быть представлена в виде мультимедийного материала – текста, рисунков, схем, видео, аудио и т.п., а сценарий обучения будет заключаться в обходе вершин графа.

Пример содержания информационной части курса по изучению программы Blender 3D приведен в табл. 1. На рис. 1 приведен фрагмент модели курса.

Для построения модели тестовой части курса предполагаем, что каждой теме соответствует некоторый набор вопросов или тестов, на которые должен ответить обучаемый. В этом случае тестовую часть курса можно также представить в виде графа, вершинами которого являются тесты, а ребра – отношения, отражающие различные способы их прохождения – последовательно и альтернативно (параллельно).

Теперь мы можем определить модель пользователя, являющуюся основным элементом адаптивного тестирования. Она будет представлять собой граф тестовой части курса, каждая из вершин которого в случае прохождения пользователем отмечается, например, временем ответа и оценкой по какой-либо шкале. Следуя заданным правилам и основываясь на параметрах модели пользователя, система, изменяет последовательность обучения и набор присутствующих в сцене медиа объектов.

*Таблица 1*

Структура информационных (теоретических) разделов курса
по изучению программы Blender 3D

| Теоретический материал |
|---|
| Интерфейс программы Blender 3D:<br>– элементы управления. Обзор горячих клавиш;<br>– концепция экранов и сцен. Иерархия сцены;<br>– ориентация в 3D-пространстве;<br>– объекты. Базовые манипуляции объектами;<br>– работа с файлами |
| Полигональное моделирование:<br>– работа с примитивами;<br>– булевы операции;<br>– описание режима высокополигонального моделирования |
| Материалы:<br>– создание материала;<br>– работа со стандартными фильтрами;<br>– модификация с помощью кистей |
| Текстуры:<br>– наложение текстуры;<br>– наложение с помощью кистей;<br>– UV-развертка |
| Визуализация:<br>– камеры;<br>– источники света;<br>– система рендеринга |
| 6 Анимация:<br>– точная настройка анимации с Graph Editor;<br>– анимация и деформация;<br>– основы анимации персонажа;<br>– импорт/экспорт |

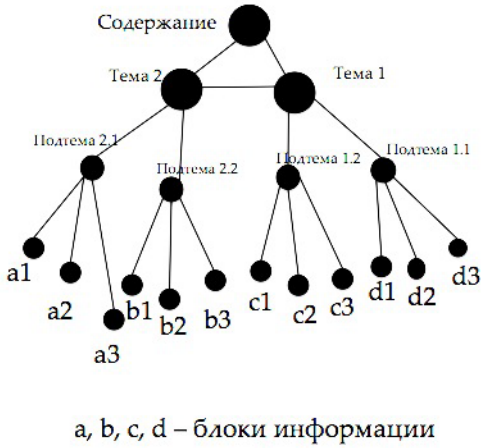



Рис. 1. Фрагмент модели курса

Предполагается, что адаптация предназначена для поддержки обучающегося только в случае, если он не справляется с тестами самостоятельно, и будет работать следующим образом.

1. В i-ый момент времени задается очередной тест, соответствующий некоторой вершине на графе, прохождение которого обучающимся характеризуется временем и оценкой.

2. В случае превышения заданного времени или неудовлетворительной оценки срабатывает механизм адаптации.

3. Далее рассматривается подграф, которому соответствуют вершины (тесты, включая текущий), пройденные обучающимся, и которые ранжируются по времени прохождения и оценкам, например, по времени увеличения и убыванию оценки. Выбирается вершина с худшими показателями, после чего предлагается повторить соответствующий теоретический раздел с большей детализацией материала (адаптация содержания), а затем формируется новый сценарий тестирования (адаптивная навигация) и повторяется или генерируется новый тест с другим уровнем детализации.

На рис. 2 приведен один из возможных примеров реализации модели адаптации по содержанию и навигации.

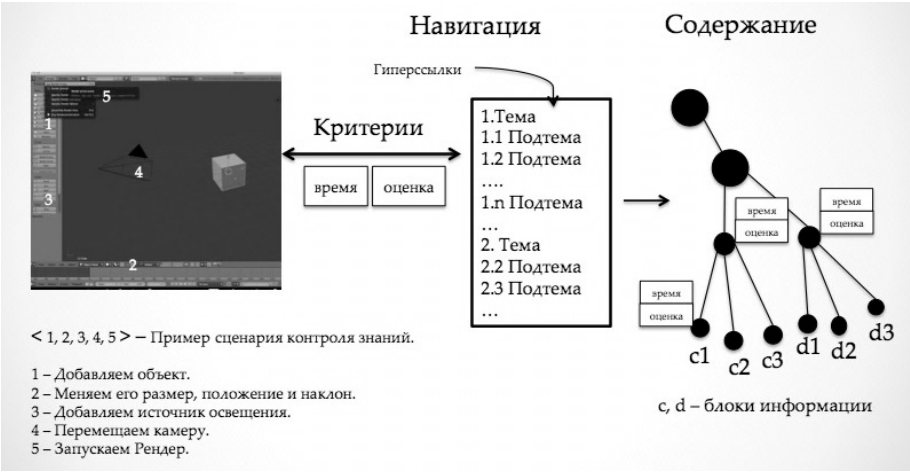



Рис. 2. Модель адаптации по навигации и содержанию

Разработка системы адаптивного тестирования по изучению программы Blender 3D обеспечит автоматизацию проведения контрольных и практических занятий, а также получение пользователями помощи в виде справочной информации по тематике тестирования и индивидуальной траектории прохождения тестирования в зависимости от его текущего уровня знаний, что позволит увеличить эффективность учебного процесса.

**Библиографический список**

1. Прахов А. Самоучитель Blender 2.6. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 384 с.
2. Blender 2.79. Официальный сайт. URL: https://www.blender.org/ (дата обращения: 01.05.2018).
3. Архитектура виртуальных миров. ГУАП. СПб., 2009. 238 с.
4. Brusilovsky P. Adapti ti ve Hypermedia // User Modeling and User- Adapted Interaction. 2001. URL: http://www.springerlink.com/content/ln3j16077v24k774/fullt llt llt ext.pdf (дата обращения: 01.05.2018).

**УДК 51**-76

***О. С. Глотова***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

В данной статье пойдет речь о математическом моделировании организма человека как об одном из способов сокращения врачебных ошибок, а также о примерах разработок данных моделей, которые существуют в настоящее время.

Медицина является наиболее сложной формой человеческой деятельности, требующей глубоких специальных знаний, практических навыков, высоких душевных качеств. На протяжении веков к представителям медицинской профессии предъявлялись требования о недопущении ошибок. Однако врач ошибается потому, что имеет дело с очень сложным человеческим организмом; ежедневно сталкивается с нетиповыми задачами; нетипичным течением патологических процессов, да и медицинская наука не безупречна.

Количество врачебных ошибок, к сожалению, огромно. Так, в США жертвами врачебных ошибок ежегодно становятся от 40 до 100 тыс. американцев.

Сегодня математики пытаются помочь медикам представить, как устроены внутренние процессы в организме, или предсказать реакцию конкретного пациента на лечение с помощью языков программирования и без проведения дорогих и опасных экспериментов. Математика помогает создать модели той или иной системы человеческого организма, чтобы потом «протестировать» на них лекарственные препараты.

Слово «модель» происходит от латинского слова *modulus* – образец, мера, мерило. Модель некоторого объекта или явления, называемого оригиналом, представляет собой такой объект, явление или математическое описание, функционирование которого оказывается в достаточной степени аналогичным функционированию оригинала. Исследование функционирования модели и приписывание оригиналу закономерностей, выявленных при исследовании модели, называется моделированием.

Существуют два основных метода моделирования, а соответственно, и два основных класса моделей.

1. Физическое моделирование.
2. Математическое моделирование.

При физическом моделировании используется модель одной с оригиналом физической природы. В этом случае свойства оригинала обычно воспроизводятся полнее, чем при математическом моделировании. Вместе с тем создание и перенастройка физических моделей часто бывают трудоемкими и дорогостоящими.

При математическом моделировании используются модели отличной от оригинала физической природы. Однако процессы или явления, проходящие в модели, должны описываться теми же зависимостями, что и основные процессы или явления в оригинале.

В настоящее время математическое моделирование практически всегда проводится на ЭВМ. В этом случае моделью является моделирующая программа, воспроизводящая исследуемый процесс или явление в соответствии с его математическим описанием. Такое моделирование имеет очень широкие возможности. В отличие от других видов моделирования трудно назвать какой-либо оригинал, который нельзя было бы промоделировать на ЭВМ. В ряде случаев математическое моделирование на ЭВМ является единственно возможным средством исследования систем. Параметры моделирующих программ легко могут быть изменены, а сами программы могут храниться неограниченно долго, практически не занимая места. Обычно математическое моделирование на ЭВМ обходится существенно дешевле других видов моделирования, отличается простотой изменения параметров модели и позволяет получать результаты с более высокой точностью. Ввиду указанных достоинств математического моделирования на ЭВМ именно оно почти всегда и применяется в последние годы для исследования соответствующих проблем в медицине и, в частности, в здравоохранении. При этом ежегодный при-

рост публикаций по этим проблемам имеет устойчивую тенденцию возрастания. Моделирование должно снизить риск, вероятность врачебной ошибки.

Представим, что перед командой ученых (биологов, математиков, физиков, программистов) стоит задача – помочь в постановке диагноза и поиске метода лечения пациентов со стенозом. Первым делом мы, ученые, должны понять, что такое стеноз, и расспрашиваем об этом врачей. Оказывается, стеноз – это возникновение бляшек на сосудах, которые создают разницу в давлении между участками сосуда. В результате сосуд может не выдержать такой нагрузки и порваться. Диагностируется заболевание двумя путями. Первый – качественный способ: нужно сделать снимок сосуда, найти бляшку и по ее виду сделать вывод. Второй – количественный: через бедренную артерию в нужные участки сосуда вводятся датчики, которые измеряют разницу давлений. Результаты количественного анализа – более точные. Это значит, что можно не оперировать пациента без надобности, и осложнения после лечения будут минимальными. Минусы этого способа – в цене и высоких рисках для пациента. Нужна дешевая и безопасная альтернатива, которая поможет поставить количественный диагноз и принять верное решение о лечении. Такой альтернативой и может стать математическая модель процессов, происходящих в организме, связанных с развитием болезни.

В нашем случае нужно понять, по каким законам возникает разница в давлениях внутри сосудов, и записать эти законы в виде уравнений. Модели создаются под каждую проблему, болезнь или задачу. Для начала в уравнения (например, гидродинамики) вписывают величины, примерно одинаковые для всех пациентов – константы. Помимо констант, существуют параметры – показатели, которые учитываются для каждого человека индивидуально: длина, ширина сосудов, частота пульса, вид шума в сосудах. После того как мы вписали в уравнения константы, снимаем данные с пациента и записываем их в уравнения. Так ученые связывают параметры и константы с помощью формул: теперь в готовое уравнение мы подставляем разные значения для разных пациентов, чтобы получить необходимый результат – показатель разницы давлений между участками сосуда. Лечение стеноза, в зависимости от степени тяжести заболевания, врачи проводят либо медикаментозно (когда разница в давлениях небольшая), либо с помощью хирургического вмешательства (для более серьезных случаев).

После того как модель запрограммирована, работа не заканчивается. Во-первых, измерить большую часть параметров, которые нужно внести в уравнения, скорее всего, не получится без огромных затрат и дорогостоящих операций.

Во-вторых, снятые параметры могут измениться через определенное время. Эластичность сосудов сильно меняется в зависимости от гормонов, которые на данный момент присутствуют в крови. А чтобы предсказать, сколько каких гормонов содержится в кровяном русле в интересующий нас период, нужно замоделировать в буквальном смысле весь организм человека, так как гормональный фон зависит от огромного количества факторов.

В-третьих, даже если мы сможем измерить все необходимые параметры, и они не станут сильно меняться со временем, измерения, скорее всего, будут неточными. И чем больше параметров мы снимаем, тем активнее будет расти эта неточность. А поскольку в организме от небольшого изменения каждого параметра существенно меняются все остальные величины, такая неточность часто становится критичной. Например, даже несущественное количество введенного лекарства, растворяющего тромбы, может привести к передозировке, которая вызовет серьезное кровотечение.

Решаются эти проблемы путем упрощения модели: ученые по максимуму сокращают количество параметров и уравнений, стараются сделать их проще, или, как говорят математики, оптимизируют систему. Несмотря на технологическое несовершенство, метод математического моделирования уже работает и помогает людям. Благодаря математическому моделированию была создана известная модель токов в клетке Ходжкина – Хаксли, которая помогла описать, как распространяются электрохимические импульсы, передающие информацию в организме по нервным клеткам. Эта разработка считается одним из самых важных открытий неврологии XX в. За нее ученые получили Нобелевскую премию.

Рассмотрим первый пример моделирования организма человека в наши дни[1]. Организм человека – очень сложная система, которую можно рассматривать на уровне молекул, клеток, органов.

[1] Ignatyev M.B. et al. Global model of organism for decision making support: Proc. of the High Performance Computing Symp. HPC 2000.

Для лечащего врача важно рассматривать организм прежде всего на уровне органов, и при построении лингвокомбинаторной модели мы будем исходить из общепринятого набора органов: органы движения (кости, мышцы, связки), органы пищеварения, органы дыхания, мочеполовые органы, кроветворная и лимфатическая системы, центральная нервная система, периферийная нервная система, железы внутренней секреции, кожа и сенсорные системы.

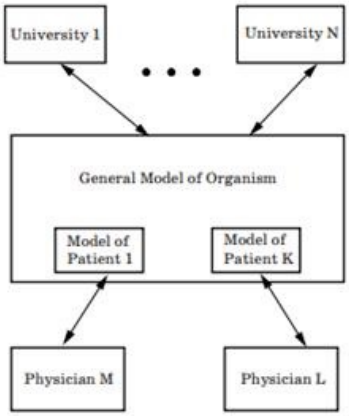
Уравнение организма будет содержать девять переменных:

$$A1*E1 + A2*E2 + \ldots + A9*E9 = 0, \quad (1)$$

а структура эквивалентных уравнений будет иметь вид

$$E1 = U1*A2 + U2*A3 + U3*A4 + U4*A5 + U5*A6 + U6*A7 + U7*A8 + U8*A9;$$
$$E2 = – U1*A1 + U9*A3 + U10*A4 + U11*A5 + U12*A6 + U13*A7 + U14*A8 + U15*A9;$$
$$E3 = – U2*A1 – U9*A2 + U16*A4 + U17*A5 + U18*A6 + U19*A7 + U20*A8 + U21*A9;$$
$$E4 = – U3*A1 – U10*A2 – U16*A3 + U22*A5 + U23*A6 + U24*A7 + U25*A8 + U26*A9;$$
$$E5 = – U4*A1 – U11*A2 – U17*A3 – U22*A4 + U27*A6 + U28*A7 + U29*A8 + U30*A9;$$
$$E6 = – U5*A1 – U12*A2 – U18*A3 – U23*A4 – U27*A5 + U31*A7 + U32*A8 + U33*A9;$$
$$E7 = – U6*A1 – U13*A2 – U19*A3 – U24*A4 – U28*A5 – U31*A6 + U34*A8 + U35*A9;$$
$$E8 = – U7*A1 – U14*A2 – U20*A3 – U25*A4 – U29*A5 – U32*A6 – U34*A7 + U36*A9;$$
$$E9 = – U8*A1 – U15*A2 – U21*A3 – U26*A4 – U30*A5 – U33*A6 – U35*A7 – U36*A8, \quad (2)$$

где U1, U2,..., U36 – произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для настройки модели; A1 – характеристика органов движения; E1 – изменение этой характеристики, и т. д. В модели может использоваться большее количество органов, но тогда она будет менее наглядна. Вопрос выбора главных органов для моделирования решают медики. Следует заметить, что характеристики каждого из органов меняются со временем – от характеристик ребенка через характеристики взрослого человека до характеристик пожилого, таким образом может моделироваться процесс старения. Эта модель используется в страховой медицине (см. рисунок).




Взаимодействие между блоками модели

Главная цель моделирования организма – уменьшить количество врачебных ошибок, из-за которых в настоящее время, например, в США, погибает свыше 100 тыс. человек, что является юридическим фактом.

Еще один пример: в наше время специалисты из лаборатории биоинформатики Института вычислительных технологий СО РАН разрабатывают программное обеспечение для создания моделей

организма человека и его частей, например, сердечно-сосудистой системы. Основной подход здесь – модульный: разные блоки, представляющие сердце, венозную либо артериальную системы и т.д., объединяются в единую структуру аналогично большим программным комплексам. Для этого специалисты используют описанные в литературе модели, которые затем перерабатывают и объединяют. Эти модели заболевания основываются на уравнениях и алгоритмах, выводимых на основе экспериментальных количественных данных.

Как рассказывает один из научных сотрудников ИВТ СО РАН, математическая модель каждой подсистемы в организме чаще всего представляет собой набор дифференциальных, реже – алгебраических уравнений. Значения параметров берутся из уже существующих моделей или модифицируются для соответствия особенностям реального организма. Например, если надо повысить давление в сосудах (чтобы оно было как у гипертоника), можно увеличить значение жесткости их стенок, либо сделать сосуд более узким, уменьшив определенный показатель. Однако очень редко, когда неясно направление работы, ученым приходится заниматься подбором параметров вручную.

Для этого используются различные постановки и методы решения обратных задач. Например, задаются наблюдаемые показатели человека (предположим, давление 140/100 с релаксацией к нормальному состоянию), а дальше специальные алгоритмы находят значения параметров, при которых модель продемонстрирует такое же поведение. Алгоритмы позволяют рассчитать значения, которые нельзя узнать непосредственно у человека – либо абстрактные, либо сложно измеряемые: общее периферическое сопротивление сосудов, их жесткость, ударный и минутный объем сердца. В результате реально предсказать параметры, которые влияют на степень воздействия лекарства, реакцию организма на физическую нагрузку или другие условия. Подобная модель, по сути, это гипотеза о том, как определенные механизмы в организме связаны с наблюдаемыми параметрами. Если модель близка к реальности, она позволяет не только изучить эти механизмы, но и отрегулировать их, «ввести лекарство» и увидеть, какие характеристики в системе влияют на его действие и эффективность.

По словам научного сотрудника по данному проекту: «для валидации математических моделей используется популяционный подход, когда моделируется сразу несколько организмов». Допустим, есть модель организма с какими-то параметрами: жесткость сосудов, объем желудочка сердца и другие индивидуальные ключевые характеристики человека. Ученые создают множество подобных персонифицированных моделей, где каждая представляет отдельного человека, а их совокупность является популяцией, после чего они исследуют влияние параметров на характеристики популяции в целом. Это позволяет оценить качество математических моделей на основе данных статистических медицинских наблюдений.

Сейчас ученые ИВТ СО РАН по проекту, поддержанному грантом РФФИ, исследуют воздействие на организм различных препаратов для лечения артериальной гипертонии, в частности «Алискирена». Специалисты уже научились генерировать популяции таким образом, чтобы они соответствовали реальным по таким наблюдаемым показателям, как давление, объем крови и т.д.

– Мы работаем совместно с Институтом математики им. С. Л. Соболева СО РАН и Научно-исследовательским институтом физиологии и фундаментальной медицины, – говорит один из сотрудников данного проекта.

– Медики предоставляют нам данные о пациентах, ИМ СО РАН разрабатывает модели сосудистого русла (сети), а мы объединяем ее с другими моделями – сердца, почки, вплоть до отдельных клеток. Организм описывается в разных масштабах: от целых органов до молекулярного уровня.

Сейчас ученые уже сгенерировали виртуальную популяцию на основе базы данных медицинских обследований и сопоставили модельные и реальные значения систолического и диастолического давления: как выяснилось, эти показатели хорошо предсказываются построенной учеными из ИВТ СО РАН моделью. Однако для пульсового давления таких результатов достичь не удалось, что парадоксально, так как оно характеризуется разницей между систолитическим и диастолитическим.

– Мы выбрали сердце и кровеносные сосуды, потому что это хорошо изученная система, для которой делают много моделей, но, несмотря на это, заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в мире продолжает оставаться на первом месте, – заключает ученый. Таким образом, нужны новые модели. Важность этого труда в том, что разрабатываемые нами модульные модели сердечно-сосудистой системы из нескольких частей могут открыть новые возможности по пер-

сонализации лечебных процессов. В мире есть похожие работы, но они появились буквально в последние несколько лет – сейчас в математическом моделировании это своего рода тренд.

Разработка математических моделей физиологических процессов в здоровом организме, а также тех медико-биологических проблем, которые сопровождают болезненное состояние пациента, является бурно развивающейся областью математического моделирования.

Идеал, к которому нужно стремиться, – индивидуальное лечение каждого пациента и автоматизированный подбор и синтез индивидуального лекарства. Скорее всего, это будет, и, может быть, даже быстрее, чем нам кажется, потому что технологии развиваются стремительно.

Главная трудность в развитии метода пока заключается в том, что значительное количество разработок так и остаются теорией. В повседневное клиническое использование вводится крайне малая часть таких проектов. Ученые видят будущее моделей в их адаптации под реальные условия. Теоретические расчеты нужны и важны для понимания процессов, которые происходят в организме, но не менее важно научиться использовать такие расчеты глобально.

Ученым из разных областей придется все чаще работать на стыке наук и сотрудничать с инженерами и врачами. Чтобы эти идеи не оставались на страницах научных журналов, а реально помогали людям, математики должны начать больше взаимодействовать с врачами, которые ставят перед ними конкретные медицинские задачи. Такое взаимодействие (из-за особенностей образования и способа мышления) часто дается обеим сторонам непросто: врачи иногда не знают элементы высшей математики, а математики – не знают на высшем уровне биологию, все они пользуются разной терминологией и методами. Однако без подобного диалога невозможна ни одна дисциплина на стыке наук.

**Библиографический список**

1. Игнатьев М. Б. Кибернетическая картина мира. СПб.: ГУАП, 2010. 416 с.

2. Ignatyev M. B. et al. Global model of organism for decision making support: Proc. of the High Performance Computing Symp. HPC 2000/Ed. A. Tentner. Washington D.C. USA. 2000. Pp. 66–71.

3. Литвиненко А. Организм, составленный из уравнений. URL: http://www.sbras.info/articles/science/organizm-sostavlennyi-iz-uravnenii (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК 004.92**

***А. А. Деменко***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***Н. Н. Решетникова***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОСОБЕННОСТИ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНЕРА

3D-сканер – это одно из последних изобретений человечества, с помощью которого мы можем создавать точные копии реальных предметов в цифровом виде, при этом полученные трехмерные модели отличаются высокой детализацией и информативностью.

Представьте, что есть деталь с большим количеством сложных поверхностей, которую обычным штангенциркулем не измерить, либо придется долго повозиться, чтобы получить результаты требуемой точности. А затем по этим данным необходимо получить математическую модель. Вот тут-то и приходит на помощь 3D-сканер. Он позволяет в разы сократить построение математической модели, пригодной для сравнения с эталонной моделью. Применение сканирования на этом не заканчивается. 3D-сканирование используется также для получения точных моделей сложнопрофильных объектов, которые в дальнейшем могут быть использованы для прототипов изделия, построения новых изделий на базе существующих.

3D-сканеры на рынке не первый год и на данный момент имеются только руководства пользователя по работе с ними. Но у каждого предмета свои особенности. Для того чтобы получить 3D-модель, похожую на реальный предмет, необходимо провести около десятка экспериментов. Рекомендации, о которых пойдет речь, помогут сделать цифровую модель качественно, с наименьшей погрешностью измерений.

Рассмотрим алгоритм получения 3D-модели корпуса печатной платы. Для более качественного результата будем применять 3D-сканер *Artec Spider*.

Перед тем как начать сканировать предмет, необходимо ознакомиться с самим устройством.

Вот некоторые рекомендации, которые смогут облегчить работу с ним.

- *Длина кабеля* – перед работой необходимо убедиться в том, что длины проводов хватит для того, чтобы можно было отсканировать предмет со всех сторон.
- *Обратная связь* – во время работы специалисту необходимо отслеживать процесс сканирования, поэтому монитор должен находиться в зоне видимости.
- *Разрешение* – чем выше разрешение сканера, тем более чувствительным к движениям он становится, поэтому выставляя высокое разрешение движения сканером должны быть медленными и плавными.
- *Коррекция и калибровка* – работу со сканером необходимо начать с проверки: направить сканер на однотонную ровную поверхность и в режиме предпросмотра программы *Artec Studio* оценить геометрию.
- *Фон* – для того чтобы сканер *Artec Spider* более точно распознал объект, необходимо создать узорчатый фон. Необходимо также избегать движущихся объектов.
- *Посторонние объекты* – перед началом работы необходимо убедиться в том, что на сканируемом объекте нет посторонних элементов. Процессу 3D-сканирования это не помешает, но могут возникнуть проблемы в процессе сборки модели.

Далее приведены некоторые рекомендации, которые необходимо применить к сканируемому предмету.

- *Мелкие детали и углы* – перед работой необходимо изучить сканируемый предмет, рассмотреть мелкие детали и заранее продумать траекторию движения сканера для более тщательного сканирования.
- *Опора* – в некоторых случаях, для того, чтобы более тщательно отсканировать предмет, необходимо приподнять его, обеспечив доступ ко всем его элементам.
- *Освещение* – *Artec Spider* способен сканировать не только геометрию объекта, но и цвет, и текстуру его поверхности. Если освещение будет неравномерным, то теневая сторона будет более тусклой по сравнению с освещенной.

– *Особенности предмета* – если вы собираетесь сканировать черные, прозрачные или зеркальные предметы, то рекомендуется обработать их пудрой или специальным антибликовым спреем [1]. Если на предмете имеются тонкие грани, мелкие детали, то их необходимо пометить ярким маркером.

Выполнив все рекомендации, предмет подготовлен к сканированию: под прозрачную и отражающую поверхность подложен тетрадный лист, а на мелкие и затемненные углы направлено дополнительное освещение (рис. 1).

Далее приступаем к процессу сканирования: запускаем программу *Artec Studio*, создаем проект и запускаем режим «Предпросмотр». С его помощью устанавливаем необходимое расстояние между предметом и сканером, и определяем также – удастся ли сделать сканирование за один обход или потребуется несколько сканов.

Далее начинается процесс сканирования, который следует начинать с более широких площадей предмета, плавно захватывая более узкие грани. Если слышен зуммер и отображается на экране сообщение об ошибке, следует плавно направить сканер на только что отсканированный участок.

Существует несколько причин появления ошибки «Отслеживание траектории прервано»:

а) сканируется объект простой геометрической формы;

б) сканируется слишком маленький участок объекта;

в) вы перемещаете сканер слишком быстро [1].

После сканирования предмета необходимо нажать кнопку «Стоп» в программе *Artec Studio*. Если остались неотсканированые детали, то следует сделать еще несколько сканов. После нажатия кнопки «Стоп» на Рабочей панели появится изображение отсканированного предмета [2].

В процессе сканирования помимо основного предмета могут быть захвачены второстепенные (стол, пол, опора и т.д.). Для удаления вспомогательных поверхностей используется режим «Редактор» (рис. 2).

Рис. 1. Предмет готовый к сканированию

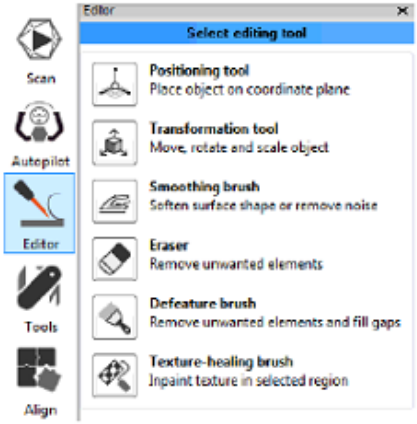



Рис. 2. Окно режима «Редактор» программы *Artec Studio*

После того как с отсканированного предмета удалены все лишние координаты из полученного облака точек, переходим к сборке 3D-модели, которую можно произвести двумя способами: «Автопилот» и «Ручная сборка».

«Автопилот» – специальный режим, позволяющий получить окончательную модель. Данный режим состоит из двух больших частей сборки модели: полуавтоматической и автоматической. С помощью полуавтоматического режима возможно отслеживать и редактировать каждый этап обработки и сборки 3D-модели. В автоматическом режиме функция поэтапного редактирования отсутствует.

В режиме «Ручная сборка» процесс сборки и редактирования 3D-модели возлагается на пользователя. Стоит отметить также, что предпочтительнее ручной режим сборки, если было сделано несколько сканов одного предмета. В этом случае установка точек связи сканов выполняется самостоятельно в программе *Artec Studio*.

В результате сканирования и обработки на выходе имеем готовую 3D-модель корпуса. На рис. 3 (*а*, *б*) приведены изображения корпуса печатной платы с лицевой и обратной стороны в рабочем окне *Artec Studio*.

Рис. 3. 3D-модель корпуса: *а* – лицевая сторона; *б* – обратная сторона

Полученную модель необходимо сохранить в одном из следующих форматов: *.ply; *.stl; *.obj; *.wrl; *.x; *.scan; *.plyVC; *.obc. Для дальнейшей обработки в пакете Blender 3D предпочтителен формат *.obj.

Готовая 3D-модель имеет большое количество полигонов, соответственно и большой объем (~100 Мб). Для уменьшения числа полигонов применяются 3D-редакторы.

3D-модель предмета в формате *.obj импортируется в Blender 3D для дальнейшего редактирования и оптимизации.

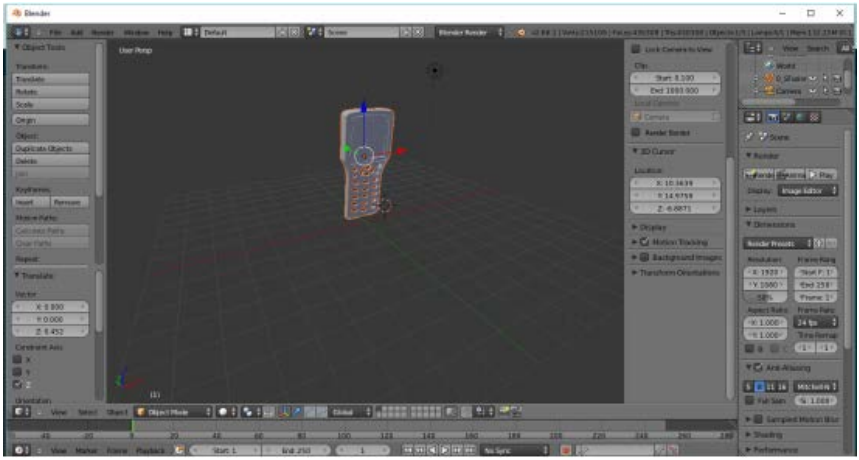


Рис. 4. Результат изменения центра и размера модели корпуса

При импорте центр локальной системы координат 3D-модели может оказаться смещенным относительно базовой системы координат 3D-сцены. Для этого при помощи горячей клавиши «N» в меню «Масштабирование» указываются координаты нового центра 3D-модели. Для того чтобы изменить масштаб модели предмета используется клавиша «S» [3]. На рис. 4 приведено рабочее окно с результатом изменения центра и размера модели корпуса.

В заключение следует отметить, что при помощи специальных инструментов и модификаторов пакета Blender 3D можно производить оптимизацию модели, сокращая количество полигонов с сохранением качества текстурной развертки.

**Библиографический список**

1. Руководство пользователя Artec Studio 11. URL: https://issuu.com/artec3d/docs/ug_ru (дата обращения: 18.04.2018).

2. Artec Spider (общие характеристики). URL: https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners/artec-spider (дата обращения: 18.04.2018).

3. Руководство по Blender. URL: https://docs.blender.org/manual/ru/dev/ (дата обращения: 18.04.2018).

**УДК 004.052.2**

***М. С. Исаков***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***Н. А. Балонин***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## УСКОРЕНИЕ ПОИСКА ОРТОГОНАЛЬНЫХ МАТРИЦ ФИЛЬТРАЦИЕЙ НАКАПЛИВАЕМЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ[1]

Проблему поиска ортогональных матриц [1] случайным перебором предлагается решать за счет ограничения числа перебираемых комбинаций элементов матриц [2], задавая структуру матрицы исходя из существующих закономерностей [3–6].

*Определение 1.* Матрица Адамара H – квадратная матрица порядка n с элементами {1, –1} и ортогональными столбцами $H^TH = HH^T = n\mathrm{I}$, где I – единичная матрица. Порядок матриц Адамара может быть равен только 1, 2 или $4t$, $t = 1, 2, 3, ...$ (целое число) [7]. Определитель этих матриц максимален по своей абсолютной величине на классе матриц с элементами, не превышающими 1 по абсолютному значению.

Согласно гипотезе Райзера циклические ортогональные матрицы с двумя значениями элементов выше порядка 4 не существуют. Они слишком просты, чтобы существовать на больших порядках [8].

На порядках больших 4 существует конструкция, называемая бициклической матрицей Адамара, в виде

$$H = \begin{pmatrix} A & B \\ B^T & -A^T \end{pmatrix}$$

из двух циклических блоков A и B, которые состоят из циклически смещаемых первых строк $a$ и $b$ каждого блока [9].

Существует два основных метода нахождения бициклических матриц случайным перебором – это таблица перекрестных ссылок и дерево последовательностей [10, 11]. Однако в обоих случаях изначально генерируются последовательности $a$ и $b$, а затем идет проверка на выполнение равенства $Aa = -Bb$ (с точностью до первого элемента произведений), которое следует из условия ортогональности.

В самом деле, условие ортогональности $H^TH = HH^T = n\mathrm{I}$ сводится к уравнению для блоков $AA^T + BB^T = n\mathrm{I}$ и возможно его упрощение до $Aa+Bb=ne$, где $e=(1, 0, 0, ... , 0)^T$, а правые множители $a$ и $b$ – транспонированные вектор-строки размера $v=n/2$.

Поскольку матрицы слагаемых симметричны, то достаточно фиксировать равенство $[Aa] = -[Bb]$, где скобками выделена половина элементов помимо первого, который равен $v$.

Табличный метод заметно более прост в реализации. Основной недостаток таблицы – полный перебор всех возможных вариантов. Будут проверяться даже те, которые по определению не могут быть верными. Это значит, что вычислительные мощности компьютеров тратятся впустую.

Для наглядной демонстрации преимущества метода сравнения с построением дерева необходимо привести пример расчета количества сравнений, который может иметь место быть и в реальном поиске.

Допустим, имеется 100 вариантов значения $[Aa]$ и 100 вариантов значений $-[Bb]$. В табличном методе необходимо провести сравнение перекрестно всех значений между собой. Таким образом, общее количество будет равно 10000. Это значение получается простым перемножением количества возможных вариантов, т. е. равно 100×100.

[1] Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ при проведении научно-исследовательской работы в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2.2200.2017/4.6.

Пусть имеется то же самое количество вариантов [A*a*] и –[B*b*], однако варианты будут разбиты на карманы. Карман – это ветвь дерева. В каждом кармане хранятся значения, которые обладают похожими значениями. Например, в первом кармане хранятся значения, которые начинаются с 1, во втором, начинающиеся с 2. Это значит, что в общей сложности требуется 10 карманов для размещения всех вариантов.

После заполнения карманов необходимо приступать непосредственно к сравнению. Если –[B*b*] начинается с 1, то и сравнение будет происходить с тем карманом, в котором лежат значения [A*a*], начинающиеся с 1. Для сравнения двух карманов по 10 значений необходимо провести 10×10 операций. Всего карманов 10. Отсюда следует, что общее количество операций 10×100, то есть 1000. Выигрыш в скорости очевиден.

Другой простой пример. Разбивая все сущее на одушевленное и неодушевленное, нам не потребуется искать животное среди камней и камни среди животных. Таким образом, перебор можно сократить предварительной классификацией сравниваемого материала на типы.

Эта классификация может рассматриваться как фильтрация, причем существует несколько тонких механизмов ее реализации. Всего лишь только укорачивая ветви (ограничивая объемы карманов), мы добиваемся исключения чрезмерно большого количества сравниваемых объектов на основании принадлежности их к одному узкому типу. Заметно ускоряет поиск фундаментальное ограничение длины ветвей, так как поиск на ветви размером с еще одно дерево будет очень долгим.

Наполнением ветвей занимается генератор, отсев неподходящих последовательностей происходит на его выходе. Кроме того, происходит освобождение переполненных ветвей из-за слишком долгого отсутствия «однофамильцев». Пример, демонстрирующий работу генератора и процесс обновления ветвей с очисткой памяти, представлен в сборнике докладов [10].

Можно предложить еще один метод эффективной косвенной фильтрации последовательностей, помогающий обрабатывать большие по размерам деревья. Он оперирует накоплением элементов дерева не в оперативной памяти, а на жестком диске (HDD).

Преимущества жесткого диска очевидны, как и недостатки. Большое количество свободного дискового пространства дает простор для сохраняемого дерева. Такое дерево может быть заметно больше, оно будет иметь больше ветвей, и сами ветви смогут хранить больше последовательностей. Недостаток жестких дисков – низкая скорость записи и чтения информации, в сравнении с ОЗУ, поэтому сохранение деревьев на жесткий диск является актуальным только при поиске матриц очень большого порядка, так как генерируемым последовательностям попросту может не хватить места в оперативной памяти.

Чем же привлекает к себе возможность формирования большого дерева вариантов при низкой скорости его обработки? Возможностью широкого ассортимента фильтров, позволяющих проецировать его в область оперативной памяти (сжатие). Скорость работы фильтров зависит линейно от размеров ветвей, тогда как перекрестное сравнение – квадратично, этот резерв и позволяет раскрыть HDD-технология поиска.

Использование дерева накапливаемых последовательностей ведет к заметному ускорению поиска бициклических матриц Адамара. Основные методы ускорения: фильтрация последовательностей, сохранение последовательностей или всего дерева на HDD, ограничение длин ветвей, отбрасывание проверенных ветвей и переполненных.

**Библиографический список**

1. Балонин Н. А., Сергеев М.Б. Матрицы локального максимума детерминанта // Информационно-управляющие системы. 2014. № 1(68). С. 2–15.

2. Балонин Ю. Н., Сергеев А.М. Алгоритм накопления последовательностей для таблицы перекрестных ссылок / Научная сессия ГУАП. 2018.

3. Balonin N. A., Seberry J. Remarks on extremal and maximum determinant matrices with moduli of real entries ≤ 1 // Informatsionno-upravliaiushchie sistemy. 2014. No. 5(71). P. 2–4.

4. Shalom E. La conjecture de Hadamard (I) – Images des Mathématiques, CNRS. 2012. URL: http://images.math.cnrs.fr/La-conjecture-de-Hadamard-I.html (accessed: 15.03.2017).

5. Balonin N. A., Djocovich D. Z. Negaperiodic Golay pairs and Hadamard matrices // Informatsionno-upravliaiushchie sistemy, 2015. No. 5. Pp. 2–17.

6. Балонин Ю.Н., Егорова И.С., Сергеев А.М. Негациклические матрицы и фильтры Мерсенна // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 11(149). С. 20–24.

7. Hadamard J. Resolution d'une question relative aux determinants. Bulletin des Sciences Mathematiques. 1893. Vol. 17. Pp. 240–246.

8. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Расширение гипотезы Райзера на двуциклические структуры и разрешимость матриц Адамара орнаментом в виде бицикла с двойной каймой // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1(86). С. 2-10.

9. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Матрицы Мерсенна и Адамара // Информационно-управляющие системы. 2016. № 1(80). С. 2–15.

10. Балонин Ю. Н., Клюковкин В. Р., Сергеев А.М. Численный алгоритм эффективного поиска бициклических матриц на основе таблицы перекрестных ссылок / Научная сессия ГУАП: сб. докл. В 3 ч. Ч. II. Технические науки. СПб.: ГУАП. 2017. С. 179-184.

11. Сергеев М.Б. Поиск и исследование экстремальных квазиортогональных матриц для задач обработки информации: отчет о НИР (промежуточ.). СПб.: ГУАП, 2017. 112 с.

**УДК 004.43**

***К. С. Левин, Р. А. Кузьменко***
студенты кафедры вычислительных систем и сетей
***А. В. Аксенов***
научный руководитель

## СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПОТОЧНОГО СЕРВИСА API С РАЗВЕРТЫВАНИЕМ НА СЕРВЕР В ДОКЕР-КОНТЕЙНЕРЕ

В современном мире существует огромное количество разных языков программирования для написания сложных и больших сервисов, готовых обслуживать ни одну тысячу человек одновременно. И зачастую очень трудно выбрать технологии, на которых будут держаться такие сервисы. Чтобы лучше разобраться в этой проблеме, необходимо изучить рынок, а затем сравнить, что больше подходит для выполнения конкретных критерий:

1. Большой размер проекта.
2. Отказоустойчивость при работе с данными.
3. Безопасность.
4. Скорость разработки и эксплуатации.
5. Большие нагрузки.

Комбинация технологий, таких как Go, Docker и PostgreSQL, выполняет поставленные критерии. Например, язык Go – это язык общего назначения с широкими возможностями и понятным синтаксисом, а также с надежной, хорошо документированной стандартной библиотекой, которая предоставляет удобные подходы к самой разработке. Поэтому он является идеальным языком для быстрого изучения и написания безопасных программ.

Docker – это открытая платформа для разработки, доставки и эксплуатации приложений. Он разработан для более быстрого выкладывания ваших приложений. С помощью docker вы можете отделить ваше приложение от вашей инфраструктуры и обращаться с ней, как управляемым приложением. Docker помогает выкладывать ваш код быстрее, быстрее тестировать, и уменьшить время между написанием и запуском кода. Все это делается с помощью легковесной платформы контейнерной виртуализации, используя процессы и утилиты, которые помогают управлять и выкладывать приложения.

Для того чтобы создать и запустить контейнер используется подход Dockerfile, который использует обычный DSL с инструкциями для построения образов Docker.

На примере реализуемого проекта Dockerfile выглядит так:

```
#имя базового образа
FROM golang:1.10
MAINTAINER orderfood
#установка стороннего пакета govendor
RUN go get -u github.com/kardianos/govendor
#идем в папку
WORKDIR /go/src/github.com/orderfood/api_of
ADD.
#скачиваем зависимые пакеты проекта благодаря govendor
RUN govendor sync
# идем в папку
WORKDIR /go/src/github.com/orderfood/api_of/cmd/api
#сборка проета
RUN go build
#установка прав доступа
RUN chmod +x /go/src/github.com/orderfood/api_of/cmd/api/api
#конфигурация
ENTRYPOINT ["/go/src/github.com/orderfood/api_of/cmd/api/api"]
```

PostgreSQL – это СУБД, которая использует реляционную модель для своих баз данных и поддерживает стандартный язык запросов SQL. Она предоставляет множество различных возможностей, достаточно надежна и имеет хорошие характеристики по производительности. Работает практически на всех UNIX-платформах, включая UNIX-подобные системы, такие как FreeBSD и Linux. Ее можно применять на Windows NT Server и Windows 2000 Server. Кроме того, PostgreSQL свободно распространяется и имеет открытый исходный код.

Язык Go выбран после сравнения его с конкурирующими языками по пятибалльной системе (таблица).

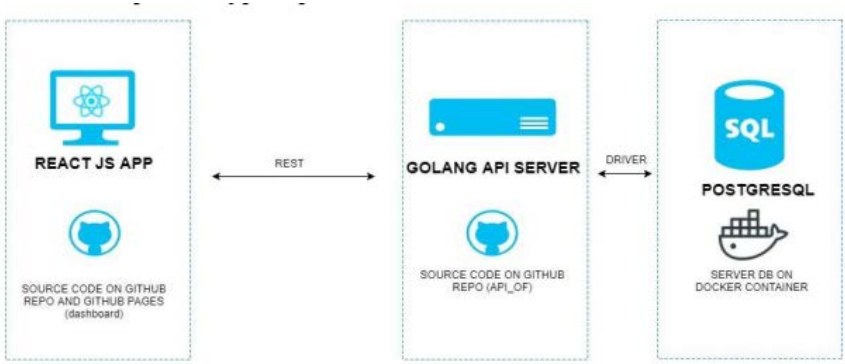



Рис. 1. Схема взаимодействия стека технологий

Таблица

Сравнение языков программирования

| Показатели | Go | NodeJs | Python |
|---|---|---|---|
| Производительность | 5 | 4 | 3 |
| Удобство | 5 | 5 | 5 |
| Масштабируемость | 5 | 4 | 4 |
| Популярность | 5 | 3 | 4 |
| Совместимость | 5 | 4 | 3 |

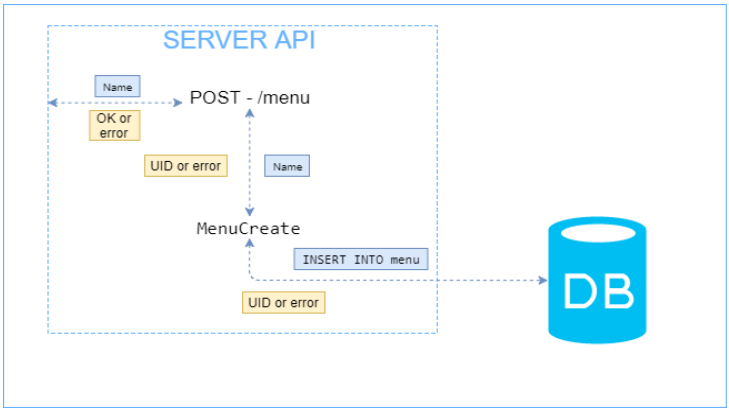



Рис. 2. Пример использования REST на серверной части проекта

Для большой производительности важно не только выбранная технология, но и способы, применяемые в передаче данных. Существует множество различных подходов к обмену данными между клиентом и сервером, обладающих различными свойствами, преимуществами и недостатками. Сегодня наиболее популярным является REST (Representational State Transfer).

REST был введен и определен в 2000 г. Roy Fielding в его докторской диссертации. REST – это архитектурный стиль для проектирования распределенных систем, обладающий несколькими принципами:

1. Ресурсы позволяют легко понять структуру каталогов URI.
2. Представления передают JSON или XML в качестве представления данных объекта и атрибутов.
3. Сообщения используют HTTP методы явно (например, GET, POST, PUT и DELETE).
4. Отсутствие состояния взаимодействий не сохраняет контекст клиента на сервере между запросами.

В результате выбор такого стека технологий позволяет легко и быстро создать требуемый проект, удовлетворяющий всем критериям.

**Библиографический список**

1. Webber J., Parastatidis S., Robinson I. REST in Practice. Hypermedia and Systems Architecture. O'Reilly Media, 2010.

2. Как и для чего использовать Docker. URL: https://guides.hexlet.io/docker/ (дата обращения: 12.04.2018).

3. An Introduction to Programming in Go. URL: https://www.golang-book.com/books/intro (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК 681.617.24**

***О. Г. Левченко***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПРАКТИЧЕСКИМ ПРИМЕРОМ

В настоящее время происходит удивительный прорыв в развитии современных технологий. Одним из проявлений такого прорыва является создание 3D-принтеров, с помощью которых можно создать много полезных и разнообразных предметов, это ограничивается только конкретной моделью. Созданы даже такие 3D-принтеры, которые могут построить, напечатать целые здания! Сейчас 3D-принтеры пока еще не получили широкого распространения, но уже начинают появляться пользователи, которые хотят освоить искусство 3D-моделирования и создания готовых изделий. Рынок 3D-принтеров весьма широк, ассортимент разнообразен, можно выбрать по своему вкусу и финансовым возможностям. Однако среди специалистов по 3D-печати возникает спор о том, на каком оборудовании печатать лучше. Главные предметы спора – это принтер и фрезерный станок с числовым программным управлением (ЧПУ). Предпосылкой создания печатающих 3D-принтеров, 3D-граверов, лазерных граверов, фрезерных станков является обычный графопостроитель, который применяется в инженерной графике для рисования больших чертежей.

Технология 3D-печати была разработана в 1984 г. благодаря Чарльзу Халлу, который изобрел стереолитографию, первую, изготовленную по коммерческой технологии быстрого прототипирования, а также формата файлов STL. В 1986 г. он получил патент на свое изобретение и назвал данную технологию стереолитография. Затем Чарльз Халл основал компанию 3D-Systems и разработал первый промышленный станок для 3D-печати, он назывался «аппарат для стереолитографии».

*3D-печать* представляет собой послойное создание физического объекта на базе виртуальной трёхмерной модели, спроектированной в программе визуального моделирования, а также, с помощью CAD/CAM систем.

Принтеры используют в разных отраслях деятельности. Это строительство, ювелирное дело, архитектура, медицина и даже киноиндустрия. Такое оборудование позволяет создавать трехмерные объекты любой сложности из разных расходных материалов, от полимеров и керамики до бумаги и металла.

*Главные преимущества использования 3D-принтера*:

- возможность выбрать цвет изделия за счет характеристик применяемого материала;
- возможность печати изделий сложных форм и размеров;
- воссоздание мелких деталей на объектах – трещины на поверхности, узоры и т.д.;
- доступность – приобрести принтер можно и для частного пользования;
- отсутствие жидких отходов во время работы и после работы (но нужна вентиляция);
- минимизация отходов производства;
- простота эксплуатации – работать с 3D-принтером может научиться каждый.

*Недостатки 3D-принтера:*

- ограниченное разрешение – размер полученного объекта строго соответствует размеру сопла, т. е. для характерных размеров изделия нужен соответствующий размер сопла;
- высокая зависимость итогового результата от температурных настроек и работы системы охлаждения;
- относительный дефицит и разнообразие применяемых материалов, а также важны условия хранения (температура, влажность, срок хранения);
- потребность в доработке поверхностей созданного объекта.

Именно необходимость в доработке многие называют главным минусом технологии 3D-печати. Кроме того, принтер создает слоистые объекты, плотность которых незначительная, а значит, прочность также оставляет желать лучшего. Однако есть 3D-принтеры, создание объектов на которых достигается путем плазменного спекания металлов. Прочность получаемых изделий соизмерима с литыми заготовками (примерами таких заготовок являются фурнитура, литые ножницы, дверные ручки).

Рассмотрим возможности фрезерного станка. Основной принцип его работы – изготовление нужного объекта путем срезания с заготовки лишнего материала и придание ей нужных геометрических форм.

Фрезерный 3D-станок с ЧПУ позволяет:

- создавать практически детали различной сложности, такие как оснастка для машиностроительного производства;
- гарантировать высокую точность линий и форм, которые определяются применяемым режущим инструментом;
- обеспечивать меньшие размеры создаваемого объекта по сравнению с толщиной 1 слоя исходной заготовки;
- получать объекты с идеально гладкой поверхностью;
- материал заготовки для фрезерного станка более доступен, чем для 3D-принтера.

Таким образом, для изготовления изделий, к которым предъявляются высокие требования по прочности, точности линий и форм, а также качеству поверхности, то здесь себя полностью оправдывает фрезеровка с ЧПУ. Что касается сложности изделий, то на первом месте 3D-принтер. Тем не менее изделие может иметь сложную структуру, но при этом прочность его может быть недостаточной, это значит невозможность применить его в механизмах с повышенными требованиями к прочности (промышленные редуктора). Поэтому необходимо учитывать сферу деятельности, в которой будет применяться изготовленное изделие. По скорости обработки и производительности также лидируют фрезерные станки. Если в принтере масса наносится послойно и требует времени для затвердевания, то на станке необходимость в этом отпадает. Как показывает опыт работы на фрезерном станке производительность выше, особенно, если дело касается машиностроения, где фрезеры широко применяются для деревянной, а также металлической оснастки.

Вышесказанное дало основание в пользу выбора фрезерного станка (фрезера), в силу большей доступности. Из него также можно сделать и 3D-принтер, установив на станок экструдер с устройством подачи материала (пластика) вместо фрезы, а на компьютер – соответствующее программное обеспечение.

Рабочее поле станка – 300 × 400 × 90 мм (по координатам x, y и z). Для работы со станком необходимо также приобрести набор черновых и чистовых фрез разных форм и диаметров – от 1 до 6 мм.

Черновая фреза используется для грубой обработки изделия, максимального приближения к рельефу готового изделия в целях экономии времени. Далее используется фреза меньшего диаметра нужной формы для чистовой обработки.

В начале пути освоения 3D-технологий нам удалось освоить моделирование несложных предметов и их изготовление. В качестве первых изделий, которые были смоделированы с помощью программы ArtCam Pro 2011, выбраны монета номиналом «1 деревянный рубль» и медаль с изображением Николая I как строителя здания Лейб-гвардии конного полка, в котором находится главный корпус ГУАП на ул. Большая Морская, д. 67.

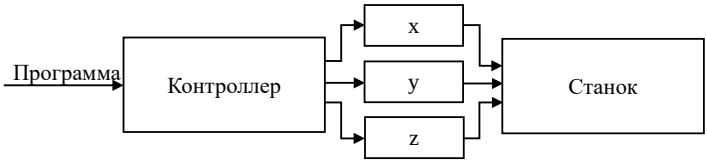



Рис. 1. Блок-схема загрузки программы в станок

Одним из способов создания на фрезерном станке предмета с изображением чего-либо является 3D-моделирование объекта, в основе которого лежит фотография, затем проектирование траекторий движения фрезы (также необходимо выбрать параметры фрезы и свойства обработки рельефа, затем сохранить их в tap-файл), предварительная имитация действий, записанных в tap-файл, далее происходит загрузка программы в контроллер, в которой записан алгоритм движения фрезы по координатам x, y и z.

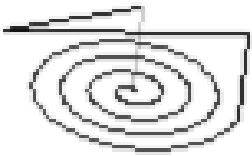


Рис. 2. Стратегия обработки рельефа

Общий вид траектории обработки рельефа зависит от формы конечного изделия. Так как медаль имеет форму окружности, я выбрала обработку по спирали.

В процессе воспроизведения медали я столкнулась с рядом проблем, таких как:

– оси станка инвертированы, т.е. после задания траектории движения фрезы по определенному направлению, она движется в противоположном;
– модель масштабируется (в данном случае уменьшается) по всем осям;
– имеется программное обеспечение, предназначенное для загрузки tap-файла с координатами движения фрезы в контроллер (Mach3), которое позволяет загрузить только 1000 строк кода, что является недостаточным для детальной проработки рельефа (проверено, что для модели размерами 9 на 11 см и высотой 8 мм необходимо 14000 строк.) Количество строк сильно зависит от размеров изделия, диаметра фрезы, шага по оси z.

В конечном итоге нами изготовлена форма из пенопласта, в которую была залита эпоксидная смола с отвердителем. Далее было произведено извлечение изделия из пенопласта (после затвердевания, которое завершилось по прошествии двух суток). Результат представлен на конференции 16 апреля 2018 г.

**Библиографический список**

1. Игнатьев М. Б. Кибернетическая картина мира. СПб.: ГУАП, 2010. С. 125.

2. Колесников П. Г., Пешков А. А. Прототипирование при проектировании новых изделий машиностроения. URL: http://www.science-bsea.bgita.ru/2016/mashin_2016_23/kolesnikov_proto.htm (дата обращения: 22.03.2018).

3. Губин Н. Н. История появления 3D-печати. URL: https://3dcorp.ru/story.html (дата обращения: 22.03.2018).

4. Малахов Р. Н. 3D-фрезер и 3D-принтер – что лучше? URL: http://irmeh.ru/3d-frezer-i-3d-printer-chto-luchshe.php (дата обращения: 22.03.2018).

**УДК 004.925.2**

***А. С. Логинов, Е. М. Лунин***
магистранты кафедры вычислительных систем и сетей
***А. В. Никитин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МЕТОДЫ УСКОРЕНИЯ 3D-РЕНДЕРИНГА ДЛЯ СИМУЛЯТОРОВ ДВИЖЕНИЯ

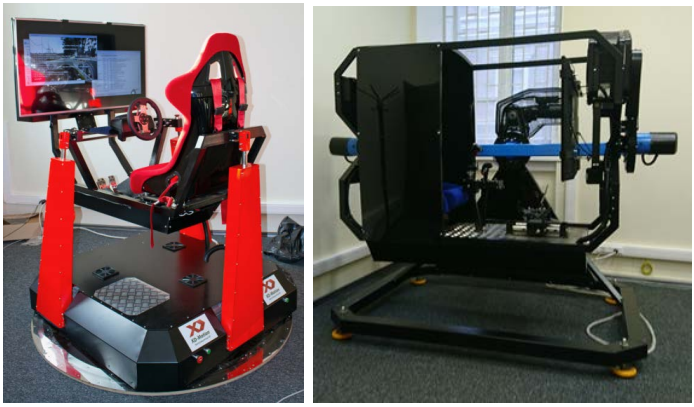
В современном мире компьютерной графики все чаще и чаще поднимается вопрос оптимизации рендера изображения, в связи с тем, что сцены усложняются, эффекты становятся все сложнее для обработки графическим оборудованием. Накопленный опыт и знания в данной области позволяют нам добиться значительных результатов, но и этого вскоре станет недостаточно. Для достижения наилучшего показателя оптимизации необходимо продолжать исследовать доступные средства оптимизации, Level of Detail, Occlusion, и т.д., пытаться найти другие более эффективные способы.

*Симуляторы движения*

Так как на симуляторы устанавливается оборудование средней производительности, не способное обрабатывать 3D-сцену в полном объёме (без оптимизации) в реальном времени, появляется необходимость использовать методы по ускорению 3D-рендера. Что позволит повысить частоту кадров и улучшить синхронизацию между управлением, движением симулятора и изображением на экране.

При написании данной статьи использовались следующие симуляторы движения:

- Xd-motion – автосимулятор (Рис. 1, *а*)
- Fly-motion – авиасимулятор (Рис. 1, *б*)



а) б)

Рис. 1. Симуляторы движения

*Методы ускорения*

Существует множество различных методов по ускорению рендеринга. В данной работе рассматриваются два наиболее перспективных метода: Level of Detail, Occlusion Culling.

*Level of Detail*

«Level of Detail» – метод ускорения рендера, заключающийся в создании нескольких вариантов одного и того же объекта с различными степеням детализации, в зависимости от расстояния до виртуальной камеры [1].

Существуют два подхода к управлению детализацией: статический и динамический.

Статический LOD – уровни создаются на этапе препроцессинга и имеют фиксированное разрешение, смена уровней происходит при приближении или отдалении внутри игровой камеры (рис. 2).

Рис. 2. Пример статического LOD

*Плюсы статического LOD*:

- Простая реализация, заранее созданные варианты объекта просто сменяют друг друга по мере приближения камеры.
- Малая нагрузка на центральный процессор при визуализации.

*Недостатки статического LOD*:

- Возможное появление эффекта «скачка», «перехода» объектов, т.е. становится виден момент смены объектов.
- Сложность приготовления множества моделей одного объекта, т.к. для более низкого уровня LOD необходима более детализированная модель.

Динамический LOD – создание структуры данных, из которой геометрия с нужной детализацией может быть извлечена в реальном времени во время визуализации (рис. 3) [2]. Данный метод изменяет только тогда, модель когда камера начинает движение, скорость изменения полигональной сетки обеспечивает необходимую «плавность», что избавляет игрока от эффекта скачка т.е. резкой смены 1 уровня модели на другой.

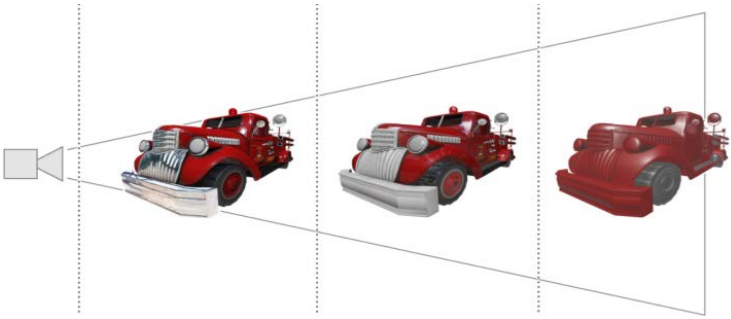


Рис. 3. Пример применения динамического LOD

*Плюсы динамического LOD*:

- Более плавный переход от уровня к уровню.
- Эффективное использование вычислительных ресурсов. Детализация происходит там, куда смотрит камера, где это необходимо.
- Возможность управлять детализацией.

*Недостатки динамического LOD*:

- Сложная реализация.
- Высокая нагрузка на вычислительные ресурсы.

*Occlusion Culling*

*Occlusion Culling* – метод ускорения рендеринга сцены с большим количеством сложных объектов, заключающийся в поиске объектов, скрытых от камеры и исключение их из процесса построения изображения (рис. 4).

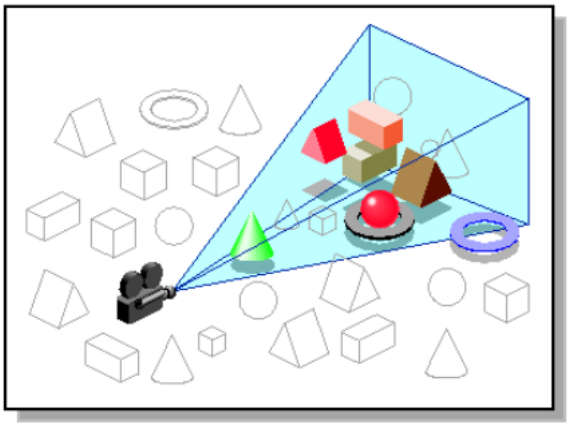


Рис. 4. Исключение из рендеринга скрытых объектов

Данный метод используется в сочетании с другими методами ускорения, например, самый распространенный и применяющийся по умолчанию в игровых движках набор:

- *Frustum Culling* – данный метод необходим для отсечения тех деталей сцены, которые не попадают в область пирамиды видимости камеры. Он работает очень быстро и позволяет значительно сократить время расчётов. Обычно стандартно реализован в самом игровом движке и не требует изменений.
- *Occlusion Culling* – данный метод использует метод затенения для скрытия заслоненных объектов.

Метод *Occlusion Culling* реализует выборку и скрытие объектов, которые не видимы из-за других объектов. Метод использует механизм Z-буфера (буфера глубины) для определения положения объектов. Пример его работы приведен на рис. 5.

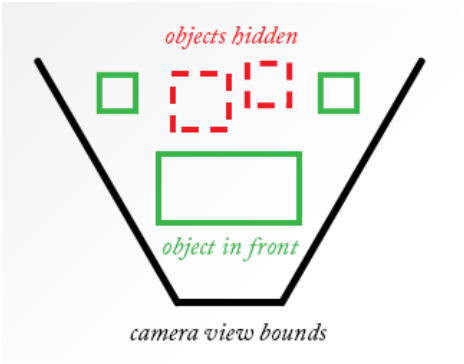



Рис. 5. Работа Occlusion Culling

Данный метод может быть представлен различными алгоритмами, например occlusion query, z-буфера, PVS и др. [3,4].

На рис. 6 представлен общий вид алгоритма на псевдокоде [5], где:

- G-набор геометрических объектов.
- OR-окклюзионное представление.
- функция Occluded – анализ видимости.

```
1: OcclusionCullingAlgorithm (G)
2: OR=empty
3: for each object g in G
4: if(isOccluded(g,OR))
5: Skip(g)
6: else
7: Render(g)
8: Update(OR,g)
9: end
10: end
```

Рис. 6. Простейший алгоритм [5]

На основе данной работы будет разработано игровое приложение для симуляторов движения с применением данных методов оптимизации. Уже разработана и протестирована тестовая сцена, в которую в дальнейшем будут интегрированы разработанные алгоритмы.

**Библиографический список**

1. Akenine-Moller T., Eric Haines E., Hoffman N. Real-Time Rendering, 2008.
2. Luebke D. Level of Detail Management for Games. View-Dependent LOD, University of Virginia.
3. Гнездилова Н. Обзор некоторых алгоритмов удаления перекрываемых поверхностей. // Графика и мультимедиа. Вып. 4. 2003.
4. Elmqvist N., Tsigas P., A Taxonomy of 3D Occlusion Management for Visualization. 2008. No. 1.
5. AK Peters Excerpted from Real-Time Rendering, 1999.

**УДК** 004.9

***К. В. Мальцев, И. А. Ситников, Е. Е. Майн***
студенты кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## АНАЛИТИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДНЕВЕКОВОГО ГОРОДА

С развитием научно-технического прогресса, такие задачи как «анализ компромиссов» и «управление требованиями» были выведены на передний край. Корректное решение данных вопросов на сегодня является задачей, значительно увеличивающей свою актуальность с течением короткого времени.

Стоит отметить, что неправильные решения могут оказывать негативное влияние как на всю область либо сферу действия, так и выходить за ее пределы. Исходя из этого – любые действия, принимаемые при планировании целей и задач работ, должны основываться на глубокой аналитической оценке.

Способы получения аналитики могут разниться в деталях, однако можно выделить 2 основных подхода:

1) задействование группы квалифицированных специалистов-аналитиков в данной области;

2) использование специализированной экспертной системы.

В некоторых случаях экспертная система может выступать как дополнительный инструмент оценки аналитики, полученной от задействованной в работе группы.

Каждый из подходов обладает своим набором достоинств и недостатков, рассмотренных ниже:

а) группа специалистов-аналитиков:

– достоинства: качественный результат – результатом работы группы аналитиков является результат, основанный на глубоком комплексном анализе исходя из знаний и навыков в изученной области вопроса;

– недостатки:

а) наличие привлекаемых кадров – во многих случаях и областях могут отсутствовать свободные либо квалифицированные кадры для их включения в группу анализа вопроса;

б) низкая скорость работы;

б) экспертная система:

– достоинства: скорость получения результата – скорость получения результата при работе ЭС может на порядки превосходить скорость работы группы аналитиков;

– недостатки:

а) недостаточный уровень подготовки ЭС (по сравнению с группой аналитиков);

б) ограниченность использования – для многих отраслей и областей работ и выставляемых рабочих вопросов в данный момент отсутствуют соответствующие экспертные системы.

Приведенные выше особенности наиболее остро ощущаются в такой сфере работ, как градостроительство, раскрывая недостатки как первого (недостаток либо полное отсутствие необходимых кадров), так и второго (отсутствие необходимых экспертных систем) подходов.

С учетом данной ситуации особенно актуальной является задача моделирования города, представленная в рамках курса дисциплины «Теории вычислительных систем» [1], где студентам предлагается самостоятельно выбрать, провести моделирование и дальнейший анализ определенного модуля, либо системы средневекового города. Освоение и закрепление данных навыков и подходов при построении кибернетических моделей городских систем, без использования подходов, основанных либо использующих принцип «бритвы Оккама», вне всякого сомнения является необходимой задачей для будущих специалистов, однако интересно здесь другое. Модульный принцип моделирования, предлагаемый большинству студентов, «уводит» их от понимания и осознания всей картины взаимодействий компонентов в столь сложных системах, при которых сами границы компонентов начинают размываться.

В таких ситуациях использование эвристических структур при построении моделей перестает быть возможным, именно в этот момент открывая перед человеком (либо группой людей), занимающегося разработкой модели, некоторые детали, при модульном принципе работы скрытые от глаз.

Анализ совокупности данных деталей вкупе с изучением принципов организации и работы экспертных систем позволяет укрепиться в мысли, что задача по разработке города как единой сложной системы является по принципам своей реализации и специфике дальнейшего использования также экспертной системой [1, 2].

Экспертные системы (ЭС) – это сложные программные комплексы, аккумулирующие знания специалистов в конкретных предметных областях и тиражирующие этот эмпирический опыт для консультаций менее квалифицированных пользователей [2].

Обобщенная минимальная структура экспертной системы представлена на рис. 1 [2].

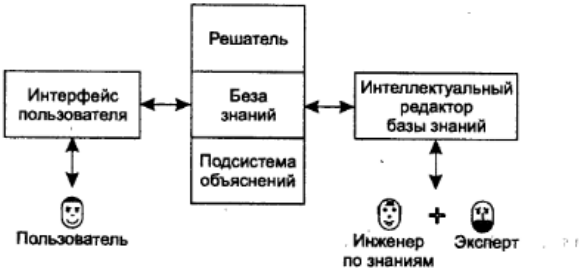



Рис. 1. Структура экспертной системы

Т. А. Гаврилова и В. Ф. Хорошевский дают следующие определения представленным выше компонентам системы:

- пользователь – специалист предметной области, для которого предназначена система. Обычно его квалификация недостаточно высока, и потому он нуждается в помощи и поддержке своей деятельности со стороны ЭС (здесь стоит добавить, что в некоторых случаях экспертные системы выступают в качестве инструментов проверки и контроля корректности принимаемого решения);
- эксперт – эксперт в предметной области. В процессе представления различных моделей и структур ЭС авторы книги обосновывают выделение на данную роль отдельного человека следующим аргументом – эксперт может быть не в состоянии (по причинам недостаточной подготовленности в вопросе) корректно структурировать данные и создавать между ними связи, упуская различные детали (кажущиеся ему малозначительными) в виду длительной работы в предметной области;
- инженер по знаниям – специалист в области искусственного интеллекта, выступающий в роли промежуточного буфера между экспертом и базой знаний. Иными словами, можно заключить, что инженер по знаниям является квалифицированным специалистом по корректному структурированию и организации данных, получаемых от эксперта»;
- интерфейс пользователя – комплекс программ, реализующих диалог пользователя с ЭС, как на стадии ввода информации, так и при получении результатов;
- база знаний – ядро ЭС, совокупность знаний предметной области, записанная на машинный носитель в форме, понятной эксперту и пользователю;
- решатель – программа, моделирующая ход рассуждений эксперта на основании знаний, имеющихся в БЗ;
- подсистема объяснений – программа, позволяющая пользователю получить ответы на возможные возникающие, касательно принятого системой решения, вопросы из заранее разработанного списка;
- интеллектуальный редактор базы знаний – программа, предоставляющая инженеру по знаниям возможность создавать БЗ в диалоговом режиме [1, 2].

Из опыта, полученного в процессе моделирования сложной системы средневекового города, стоит отметить, что методы и принципы, используемые при построении системы и организации хранения данных в виде объектных языковых моделей «Ячел», описанных М. Б. Игнатьевым [1], схожи с подхо-

дами, реализуемыми при структурировании языковых данных, получаемых от эксперта на естественных языках, приведенных Т.А. Гавриловой и В.Ф. Хорошевским, что позволяет, конкретизируя ранее приведенное утверждение, считать моделирование городов как сложных систем созданием базы знаний [2]. База знаний, в свою очередь, является ядром экспертной системы. Здесь, однако, важно указать, что под моделированием городов как сложных систем подразумевается постановка исходной задачи, не основанная на модульном принципе и, соответственно, не выделяющая отдельный компонент системы в ущерб комплексному восприятию.

Помимо этого, важно отметить, что сама аналитика выполненной модели средневекового города, несмотря на определенный интерес, имеет мало общего с реальными задачами и вопросами, представляемыми перед современными специалистами в виду того, что не включает в себе такие важные отрасли и понятия как промышленность, системы передачи информации и цифровые пространства и подпространства, а также значительные усложнения таких систем, как, например, транспортная система, при классификации данных, ко всему прочему, оперируя пространством суждений современников моделируемого города.

Вместе с этим подобный (не основанный на модульном принципе) подход к моделированию можно считать качественной эволюцией способов получения и совершенствования навыков и знаний, необходимых для работы в области задач аналитики принятия решений, в рамках курса изучаемой дисциплины.

Следует заключить, что с учетом совокупности представленных фактов, при разработке полной модели города, не основанной на модульном принципе, помимо использования современных подходов, не включающих, либо основанных на принципе «бритвы Оккама», должны также применяться методики, стандартные для разработки экспертных систем различной сложности.

Подобный подход к решению выставляемой задачи, хотя и является более трудоемким и дорогостоящим, позволяет произвести более комплексную и цельную итоговую модель и избежать возможных ошибок и сложностей, неизбежно возникающих при использовании эвристических подходов.

**Библиографический список**

1. Игнатьев М.Б. Кибернетическая картина мира. СПб.: ГУАП, 2010.
2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000.

**УДК 629.02**

***Н. В. Николаев***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРКОВКИ

В условиях современной жизни многие монотонные, повторяющиеся огромное количество раз процессы автоматизируются. Один из этих процессов – парковка транспортного средства. Для этих целей разрабатываются новые и с успехом применяются уже существующие технологии.

Парковочные системы можно условно разделить на две большие группы – пассивные и активные. Пассивные парковочные системы представляют только необходимую для парковки информацию, при этом управление автомобилем осуществляется водителем. Активные парковочные системы обеспечивают парковку автомобиля в автоматическом или автоматизированном (автоматически выполняются отдельные функции) режиме.

Задача состоит в описании и разработке алгоритма САП.

*Элементы системы автоматической парковки*

Система автомобильной парковки автомобиля состоит из нескольких основных компонентов. Их слаженная работа гарантирует успешную и быструю парковку автомобиля.

*Описание элементов системы автоматической парковки*

В состав системы автоматической парковки входят:

- *Ультразвуковые датчики* – обеспечивают ориентацию автомобиля в пространстве. Они его «глаза» и «уши». Определяют расстояние до движимых и недвижимых объектов. Их количество может быть различным в зависимости от модели системы (рис. 1).

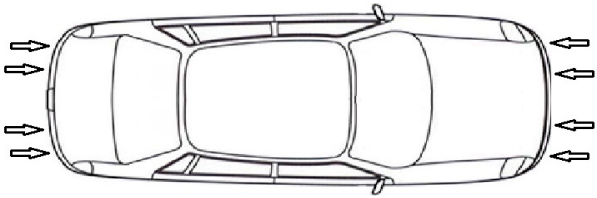


Рис. 1. Схема расположения восьми ультразвуковых датчиков

- *Блок управления автопарковки* – является «головным мозгом» системы. Ему поступают сигналы от ультразвуковых датчиков. Он их обрабатывает и задействует прочие системы управления автомобилем для успешной парковки.
- *Блок управления автомобилем* – является «спинным мозгом» системы. Он передает все сигналы от блока управления парковкой к остальным элементам системы и обратно.
- *Система курсовой устойчивости машины* – в режиме автопарковки контролируется блоком управления автомобилем. Отвечает за удерживание машины в заданной траектории движения.
- *Двигатель* – переходит под полный контроль системы автомобильной парковки. Регулируется число оборотов и контролируется интенсивность подачи топлива.
- *Рулевое управление* – вращение рулевого колеса осуществляется на основании сигналов, переданных ультразвуковыми датчиками. Его интенсивность определяется системой парковки автомобиля в режиме реального времени. Участия водителя не требуется.
- *Автоматическая коробка передач* – переходит под контроль автопарковки. Переключение между режимами «парковка» и «драйв» ведется под управлением электроники.

Взаимодействие элементов системы автоматической парковки (рис. 2).

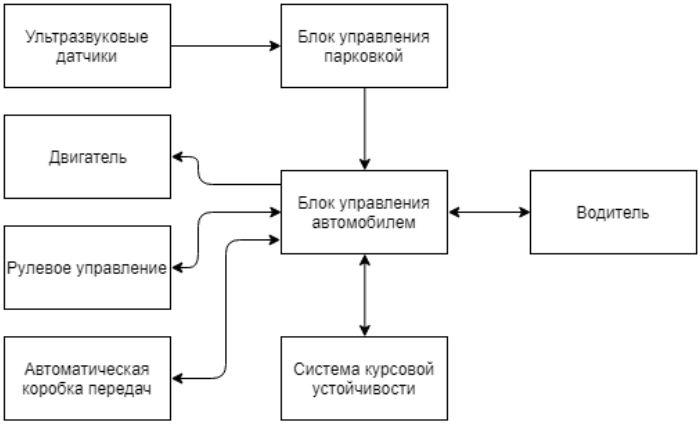
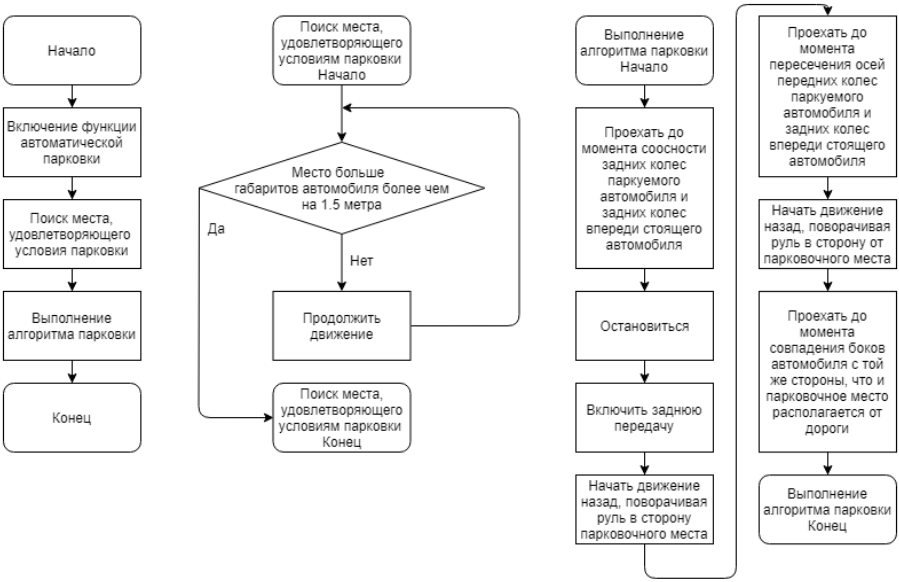



Рис. 2. Схема взаимодействия элементов САП

В САП есть два сценария парковки: для выполнения параллельной и перпендикулярной парковки. Для выполнения параллельной парковки автомобиль должен проехать мимо парковочного места (ПМ) до момента совпадения задней линии кузова и впередистоящего ПМ объекта, включить заднюю передачу и заехать на ПМ по траектории. Траектория должна быть максимально похожа на функцию $f(x) = \sqrt[3]{x}$.




Для выполнения перпендикулярной парковки автомобиль должен доехать до момента совпадения передней линии кузова и позади стоящего ПМ объекта и заехать на ПМ по траектории. Траектория должна быть максимально похожа на функцию $f(x) = \ln(x)$.

Во время выполнения сценария блок управления парковкой непрерывно проверяет расстояние от автомобиля до чего-либо, если оно становится меньше 35 см, ТС останавливается. В целях безопасности и исключения аварийных ситуаций водитель, как и летчик, в любой момент способен взять управление на себя.

*Помехи*

- Многочисленные тесты показали высокую надежность последних автоматических систем парковки. Они удобны и безопасны в использовании, однако парковочный радар может выдавать ложные сигналы в следующих случаях.
- Наличие льда, снега или других загрязнений на датчике.
- Нахождение на дороге с неровной поверхностью, грунтовым покрытием, с уклоном.
- Движение по пересеченной местности.
- Наличие источников повышенного шума в пределах радиуса действия датчика.
- Работа в условиях сильного дождя или снегопада.
- Работа радиопередающих устройств в пределах радиуса действия датчика.
- Буксирование прицепа.
- Парковка в стесненных условиях (эффект эха).

Система может не среагировать на следующие предметы:

- Острые или тонкие предметы, например, цепи, тросы, тонкие столбики.
- Предметы, поглощающие ультразвуковое излучение (одежда, пористые материалы, снег).
- Объекты, отражающие звук в сторону от датчиков.
- Провалы в асфальте, открытые колодцы, разбросанные мелкие острые предметы.

Таким образом, был составлен и описан алгоритм выполнения для системы автоматической парковки, который позволяет выполнять параллельную парковку в автоматическом режиме. В дальнейшем планируется разработка алгоритма перпендикулярной парковки и реализация этих алгоритмов на макете.

**Библиографический список**

1. Сайт дистрибьютера Volkswagen. URL: https://vw.avto-city.ru/models/preimushchestva/obzor/sistema-park-assist-avtoparkovka (дата обращения: 12.04.2018).

2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 3 изд. 2013.

3. Описание системы автоматической парковки. URL:http://znanieavto.ru/komfort/sistema-avtomaticheskoj-parkovki-park-assist.html (дата обращения: 12.04.2018).

4. Руководство по эксплуатации автомобиля Volkswagen Teramont. URL: https://www.autopapyrus.ru/catalog/s/volkswagen/ (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК** 621.396.2

***А.Н. Сергеев***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***А. А. Востриков***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР СПОСОБА БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В современном мире широко распространены беспроводные способы передачи информации. Создано огромное количество различных технологий, которые позволяют практически из любой части земного шара оставаться на связи.

Если в пределах города оставаться на связи и передавать информацию на большие расстояния не составляет труда, то за его пределами данная задача может усложниться. Так, например, в Ленинградской области периодически проходят соревнования по стрельбе из лука. Соревнования проходят в полевых условиях и не всегда проходят в одних и тех же местах. Вся статистика на данный момент фиксируется вручную, на бумаге, что влечет за собой некоторые проблемы: данные могу быть утеряны в случае, если погода резко испортиться, данные могут быть некорректно восприняты судейским составом. В качестве решения было предложено разработать мобильную систему, которая позволит собирать статистику, сохранять ее и динамически, без участия пользователя, отправлять ее на обработку.

Так как мобильную систему предполагается использовать в лесной местности, возникают требования к питанию, радиусу действия, способу развертки сети. Для этого попытаемся разобраться, возможно ли создать мобильную систему, которая будет требовать минимальных аппаратных затрат с минимальными материальными затратами (< 3000 р.), но при этом обеспечит достаточно большое расстояние (~ 2 км.)

Ниже рассмотрим существующие варианты построения беспроводных систем, а также рассмотрим преимущества и недостатки.

1. GSM сеть/GPRS/LTE.

Данная сеть является наиболее распространенной и покрывает обширные территории. Но даже на сегодняшний момент абоненты могут столкнуться с тем, что не везде у них будет связь. Можно развернуть собственную GSM сеть, но чем больше площадь необходимо покрыть, тем более мощное, а соответственно и дорогостоящее будет оборудование. Кроме того, при использовании такого варианта сеть будет сложно назвать мобильной, потому что для работы данной сети необходимо организовать взаимную работу достаточно большого количества модулей: центр коммутации, базовые станции, контроллер базовых станции и т.д. [1].

2. Wi-Fi сеть.

Данный вид сетей широко распространен, как и GSM. На открытой местности Wi-Fi сеть позволяет устанавливать связь на несколько сотен метров или даже может превысить 1 км. Но в полевых условиях данные цифры существенно меняются. Так, например, если на открытом пространстве радиус действия сети составляет 600 м, то, если между ними установить деревянную стену, радиус действия снизится на 70% и будет составлять 180 м [2].

Да, конечно, существуют более мощные Wi-Fi сети с радиусом покрытия в несколько километров, но оборудование для организации таких сетей достаточно дорогостоящее (3000–5000 р.) и ресурсоемкое по питанию, что помешает организовать мобильную сеть [3].

3. Радиостанции.

На современном рынке существует множество различных вариантов радиостанции, которые различаются частотным диапазоном, количеством каналов, мощностью, радиусом действия; радиостанции способны удовлетворить практически любым требованиям, предъявляемым при покупке.

Но в данном случае такой способ решения не подойдет, так как радиостанции предназначены для передачи голосовой информации, а в нашем случае необходимо передавать данные. Можно, ко-

нечно, посредством голоса передавать статистику, но это может вызвать некоторые проблемы. Так как в турнире может участвовать несколько групп, то, соответственно, эти несколько групп могут одновременно начать передавать информацию, из-за чего могут возникнуть ошибки и неточности.

В результате можно сделать вывод, что использование существующих моделей беспроводной связи не представляется возможным. Поэтому будет рассматриваться способ создания собственной сети с применением радиомодулей.

Спектр характеристик для радиомодулей достаточно большой. Поэтому необходимо провести исследование того, как будет меняться интенсивность передачи данных, при различных настройках.

Для проведения испытаний был выбран набор разработчика CC1200DK фирмы Texas Instrument. Данный набор позволяет настраивать частоту (169–955 МГц), выходную мощность (14…–16 dBm), скорость передачи пакетов (0,3; 1,2; 50 Кбит/с) и т.д. [4]. Благодаря такой гибкости настройки параметров можно достаточно точно и качественно провести исследования. Радиомодуль, который используется в данном наборе, работает по протоколу IEEE 802.15.4, что позволяет использовать данный модуль для разработки мобильной системы [5, 6].

Для достижения максимального качества результатов испытания проводились в местах, наиболее приближенных к лестной местности: парк Сосновка, Удельный парк, Ферменский пруд.

Ниже приведены результаты проведенных исследований в виде таблиц и графиков, где:

– del – процент потери пакетов. 0% – все пакеты доходят до приемника, а 100% – полный разрыв связи;
– L – расстояние между устройствами.

Первой исследуемой характеристикой является частота. Устройства позволяют выбрать одну из следующих частоту: 169 MHz, 434 MHz, 868 MHz, 915 MHz, 955 MHz.

Опытным путем было установлено, что при всех частотах, кроме 868 MHz, расстояние между устройствами при котором передача пакетов обрывалась, не превышает 100 м. При частоте 868 MHz данное расстояние может колебаться от 350–1500 м, в зависимости от окружающей обстановки. На рис. 1 показаны результаты измерений.

Далее были произведены измерения при максимальной выходной мощности (25 мВт) и частоте 868 МГц. В табл. 1 и 2 приведены численные результаты измерений, а на рис. 2 и 3 показаны графики изменения интенсивности передачи данных.

После этого выходная мощность была снижена (3,2 мВт), чтобы понять, как и насколько измениться рабочее расстояние. В табл. 3 и 4 представлены численные результаты, а на графиках 4 и 5 – изменение интенсивности передачи данных.

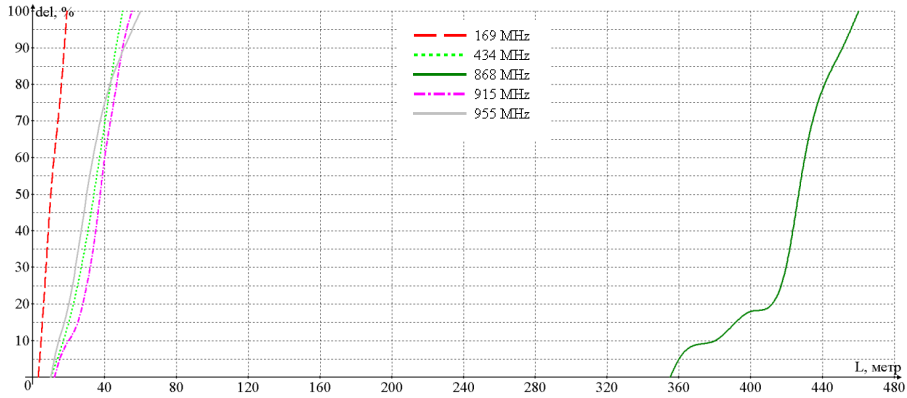



Рис. 1. Результаты замеров при различных частотах

*Таблица 1*

Результаты измерений при выходной мощности 25 мВт

| Длина пакета, Байты | Скорость передачи, Кбит/с | Первые потери пакетов, м | Потеря связи, м |
|---|---|---|---|
| 3 | 0,3 | 330 | 420 |
| | 1,2 | 300 | 420 |
| | 50 | 160 | 260 |

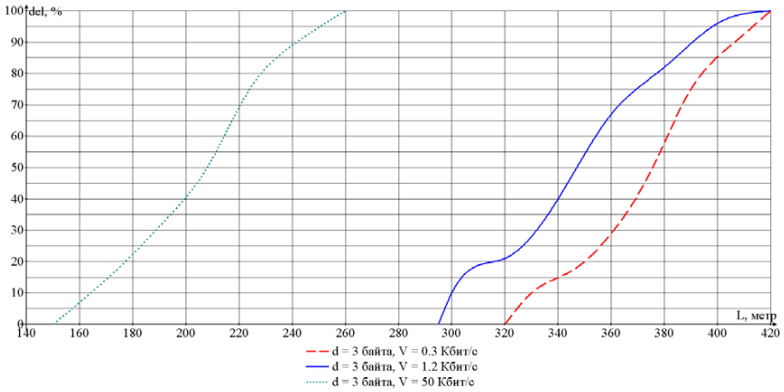



Рис. 2. Результаты измерений при выходной мощности 25 мВт

*Таблица 2*

Результаты измерений при выходной мощности 25 мВт

| Длина пакета, байты | Скорость передачи, Кбит/с | Первые потери пакетов, м | Потеря связи, м |
|---|---|---|---|
| 10 | 0,3 | 300 | 410 |
| | 1,2 | 320 | 420 |
| | 50 | 180 | 340 |

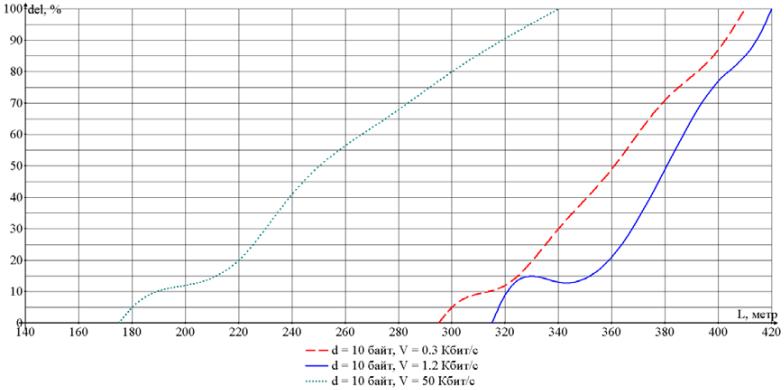



Рис. 3. Результаты измерений при выходной мощности 25 мВт

*Таблица 3*

Результаты измерений при выходной мощности 3,2 мВт

| Длина пакета, байты | Скорость передачи, Кбит/с | Первые потери пакетов, м | Потеря связи, м |
|---|---|---|---|
| 3 | 0,3 | 310 | 380 |
| | 1,2 | 260 | 370 |
| | 50 | 100 | 240 |

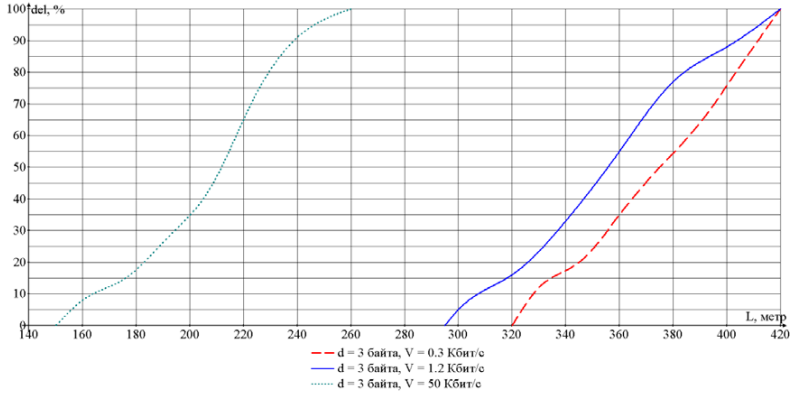



Рис. 4. Результаты измерений при выходной мощности 3,2 мВт

*Таблица 4*

Результаты измерений при выходной мощности 3,2 мВт

| Длина пакета, Байты | Скорость передачи, Кбит/с | Первые потери пакетов, м | Потеря связи, м |
|---|---|---|---|
| 10 | 0,3 | 270 | 370 |
| | 1,2 | 280 | 370 |
| | 50 | 90 | 240 |

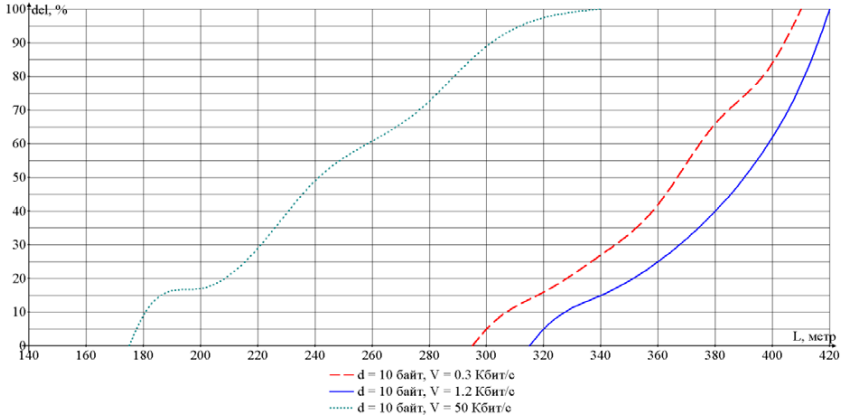



Рис. 5. Результаты измерений при выходной мощности 3,2 мВт

Так как мобильную систему предполагается использовать в турнире, где будет находиться не одно устройство, можно сделать вывод, что реализовать такую систему можно, но в такую систему обязательно должен быть включен ретранслятор.

Наиболее приемлемыми характеристиками радиомодуля можно считать:

— частота: 868 МГц;

— скорость передачи: 1,2 Кбит/с;

— выходная мощность: 25 мВт.

**Библиографический список**

1. Стандарт GSM. URL: http://celnet.ru/2G.php (дата обращения: 26.02.2018).

2. Коэффициент затухания сигнала Wi–Fi. URL: https://kb.zyxel.ru/hc/ru/articles/ 115002572093-Коэффициенты-затухания-сигнала-Wi-Fi-при-прохождении-через-различные-среды (дата обращения: 1.03.2018).

3. Опыт организации Wi-Fi на конференции. URL: https://habrahabr.ru/post/149858/ (дата обращения: 21.03.2018).

4. CC1200DK DataSheet. URL: http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?base LiteratureNumber=swru296&fileType=pdf (дата обращения: 13.03.2018).

5. CC1200 DataSheet. URL: http://www.ti.com/product/CC1200/datasheet (дата обращения: 13.03.2018).

6. IEEE 802.15.4. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4 (дата обращения: 13.03.2018).

**УДК 004.514**

***С. И. Собашников***
магистрант кафедры вычислительных систем и сетей
***А. В. Никитин***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ GEAR VR

В последние годы индустрия виртуальной реальности активно развивается. Получает распространение все большее количество различных устройств виртуальной реальности.

При этом у разработчиков приложений возникают сложности, связанные с реализацией пользовательского интерфейса, ведь в отличии от обычных приложений, в которых реализован двухмерный пользовательский интерфейс, в виртуальной реальности используются различные пространственные интерфейсы.

Ниже рассмотрим существующие варианты пространственных интерфейсов, а также рассмотрим преимущества и недостатки.

*1. The visor HUD (англ. Head – Up – Display)*

Является неким плавающим элементом в поле зрения (как пример плоскость), который накладывается на игровую сцену или же область камеры.

Плюсы: постоянно присутствуют необходимые индикаторы и происходит отображение информации.

Минусы: если у персонажа, которым мы управляем, сложная геометрия головы, допустим, есть некий головной убор или очки, то возникнут сложности с отображением и наложением данного примера. Нет ощущения полного погружения.

*2. The reticle cursor*

Один из вариантов HUD, используется в шутерах от первого лица, так как там необходим прицел или перекрестие.

Положительные стороны: есть курсор, вследствие этого проще ориентироваться и управлять некоторыми элементами.

Минусы: аналогичное неполное погружение в процесс из-за отображения элемента курсора перед глазами.

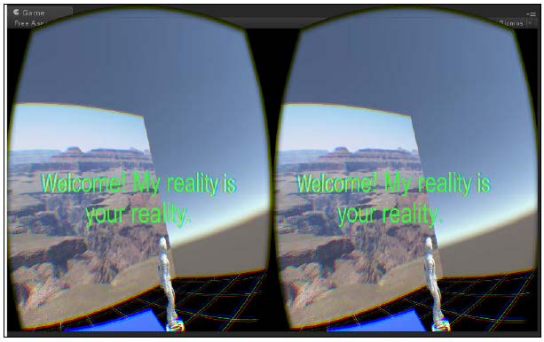



Рис. 1. Интерфейс The visor HUD

Рис. 2. Интерфейс The reticle cursor

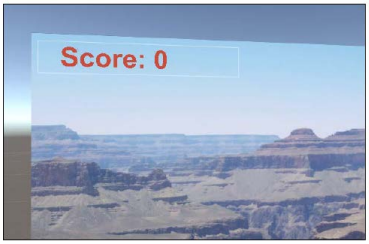



Рис. 3. The game element UI

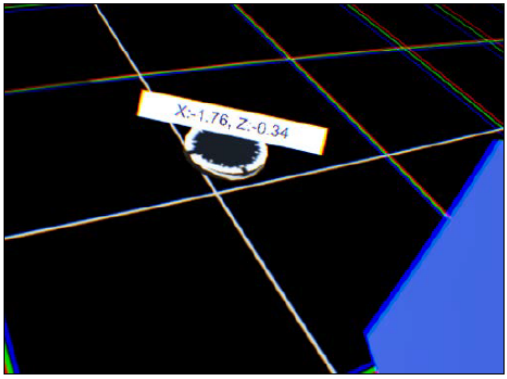



Рис. 4. The info bubble

*3. The game element UI (англ. User Interface)*

Пользовательский интерфейс игрового элемента необходим для изменения и показа некоторой измененной информации.

Game element UI является частью сцены, как и любой другой размещенный в ней объект.

*4. The info bubble*

Пользовательский интерфейс элемента, необходимый для считывания и отображения координат и вывода для ознакомления.

*5. An in-game dashboard with input events*

Пользовательский интерфейс, основывается на создании некой панели с датчиками, информационными показателями (шкалы с цифрами или стрелками, индикаторы) с различными кнопками.

Как правило, такой интерфейс разрабатывается для тренингов или некого обучения, в последнее время перспективен. Его плюс: данный интерфейс очень хорош для тренингов и обучения.

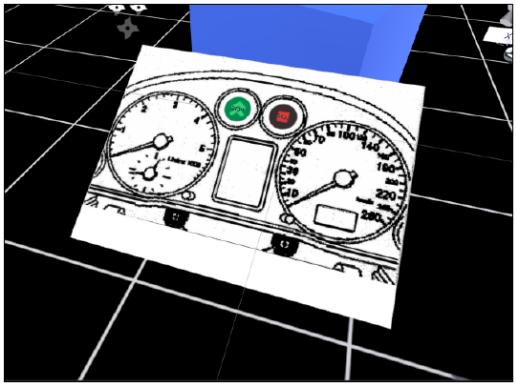


Рис. 5. An in-game dashboard with input events

*6. A responsive object UI with head gestures*

Интеллектуальные пользовательские интерфейсы с использованием жестов и считывания положения головы.

Данные элементы пользовательского интерфейса не обязательно видимы все время, как правило, они могут быть вызваны в определенный момент игрового процесса, как некий элемент.

Ниже приведены результаты проведенного исследования (см. таблицу).

*Таблица*

Сравнение пространственных интерфейсов

| Название / Характеристика | The visor HUD | The reticle cursor | The game element UI | The info bubble | An in-game dashboard with input events | A responsive object UI with head gestures |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Возможность отображения информации | + | - | ± | ± | + | - |
| Возможность создания взаимодействия | + | + | - | - | + | + |
| Сложности в реализации | + | ± | - | - | + | - |
| Погружение в VR | - | ± | - | ± | ± | + |
| Функционал | + | + | - | - | + | + |

**Библиографический список**

1. Линовес Д. Виртуальная реальность в Unity. М.: ДМК-Пресс, 2016. 316 с.
2. Unity 3d, Getting Started with VR. URL: https://unity3d.com/ru/learn/tutorials/s/xr (дата обращения: 18.03.2018).

**УДК 004.353.254**

***А. И. Соловьев, Е. А. Токмакова***
студенты кафедры вычислительных систем и сетей
***Н. Н. Решетникова***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПИКСЕЛЕЙ

Существует несколько теорий зрения. Самой популярной и общепринятой теорией зрения является трехкомпонентная теория. Она опирается на то, что в глазу человека существуют палочки, отвечающие за сумеречное (черно-белое) зрение, и три вида колбочек, отвечающих за дневное (цветное) зрение: длинноволновые (красные), средневолновые (зеленые) и коротковолновые (синие). На данную теорию опирается цветовая модель RGB (красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue)), на которую в свою очередь опирается наиболее популярный красно-зелено-синий пиксель.

Одна из альтернативных теорий зрения – нелинейная теория. Она утверждает, что существует единственный вид колбочек, состоящий из двух частей: красно-желтой и желто-зеленой, а синий цвет человек воспринимает с помощью палочек. В этой теории говорится о том, что противоположным зеленому в восприятии человека выступает пурпурный цвет. Также на основе физиологии восприятия цветов человеком была создана цветовая модель L.a.b. Она является трехканальной. При этом изменение цветов происходит по следующим параметрам: a) от зеленого к красному; b) от синего к желтому. Яркость цвета в данной цветовой модели отделена от параметров a и b и обозначается как L. В отличие от других цветовых моделей, цветовая модель L.a.b. способна поддерживать все видимые человеком цвета (рис. 1), однако аппаратной реализации данной модели пока не существует.

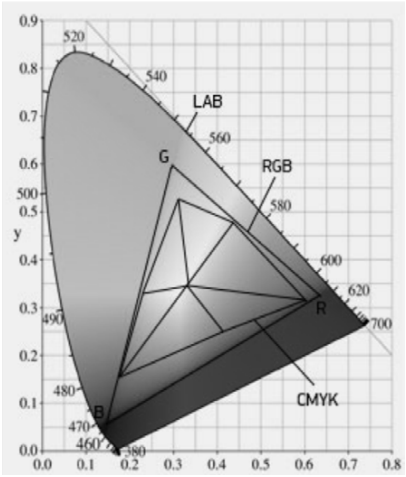
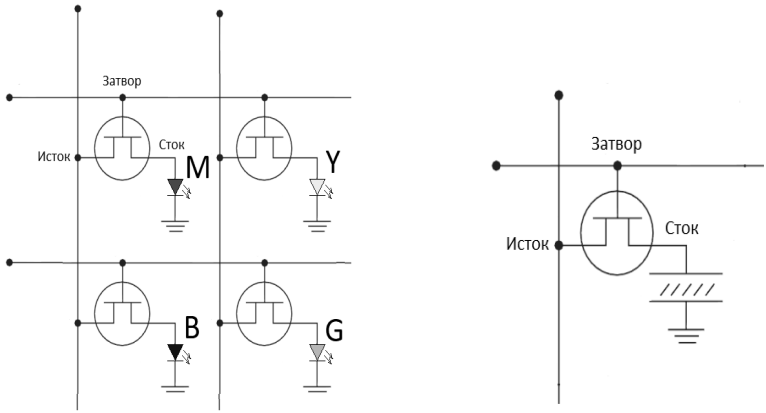



Рис. 1. Сравнение цветового охвата L.a.b., RGB и CMYK
(цветовая модель, использующаяся при печати)

*Примечание к рис. 1.* На графике изображены все воспринимаемые человеком цвета.

Задача состояла в том, чтобы создать пиксель, способный отображать все видимые человеку цвета, с чем не справляется существующий красно-зелено-синий пиксель. На основании нелинейной теории зрения и цветовой модели L.a.b. была разработана модель четырехцветного BYMG-пикселя (синий-желтый-пурпурный-зеленый). На рис. 2 представлен BYMG-пиксель, являющийся частью светодиодно-жидкокристаллической матрицы.




а) б)

Рис. 2. Двухслойная матрица из BYMG-пикселей (частично): а) первый слой (светодиодный); б) второй слой (жидкокристаллический)

*Примечание к рис. 2.* На этом и следующих рисунках: M – Margenta (пурпурный); Y – Yellow (желтый); B – Blue (синий); G – Green (зеленый).

Первый слой (рис. 2, *а*) состоит из светодиодов (либо жидких кристаллов, либо плазмы) с синими, желтыми, пурпурными и зелеными светофильтрами, управляющихся TFT-транзисторами; второй слой (рис. 2, *б*) – это монохромная (черно-белая) ЖК-матрица, ячейки которой также управляются TFT-транзисторами. Причем одна ячейка ЖК второго слоя светодиодно-жидкокристаллической матрицы соответствует четырем светодиодам первого слоя этой матрицы. Первый слой отвечает за параметры a и b, второй за параметр L.

Принцип работы матрицы из BYMG-пикселей упрощенно показан на рис. 3.

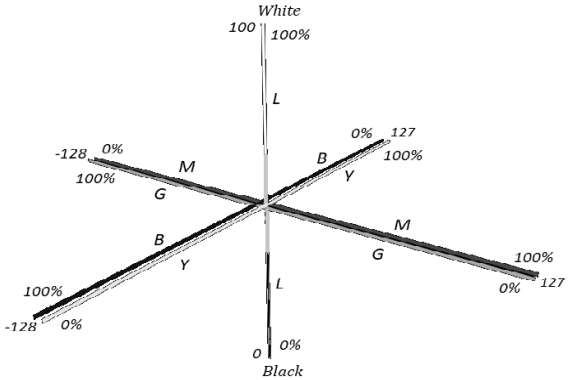



Рис. 3. Модель работы матрицы из BYMG-пикселей (за основу взято цветовое пространство L.a.b.)

*Примечание к рис. 3.* На данном рисунке в процентах выражена доля от максимального сигнала, которую нужно подать на светодиод со светофильтром соответствующего цвета (синего, желтого, пурпурного или зеленого) для отображения необходимого цвета.

Уравнения для расчета сигналов для вывода изображения в модели L.a.b. на матрицу светодиодов/ЖК:

$$M = \frac{127 + a}{255} * 100\%; \quad (1)$$

$$G = \left(1 - \frac{127 + a}{255}\right) * 100\%; \quad (2)$$

$$Y = \frac{127 + b}{255} * 100\%; \quad (3)$$

$$B = \left(1 - \frac{127 + b}{255}\right) * 100\%; \quad (4)$$

$$L \to \%. \quad (5)$$

В формулах (1), (2), (3), (4), (5): a, b, L – параметры, задающие цвет в модели L.a.b.; M, G, Y, B – доля от максимального сигнала каждого из цветов (в процентах).

Матрица из BYMG-пикселей обладает рядом преимуществ:

1. Отображение всех воспринимаемых человеком цветов;

2. Отображение большинства существующих цветовых моделей напрямую, что предотвращает цветопотери.

3. Возможность производства по уже существующим технологиям (TFT, AMOLED и др.).

К недостаткам можно отнести дороговизну и усложненность конструкции по сравнению с RGB-матрицами.

Матрицы из BYMG-пикселей можно применять в производстве дисплеев для медицины, дизайна и других областей, где необходима хорошая цветопередача.

На основе BYMG-пикселя была разработана модель светочувствительной матрицы BYMG (рис. 4).

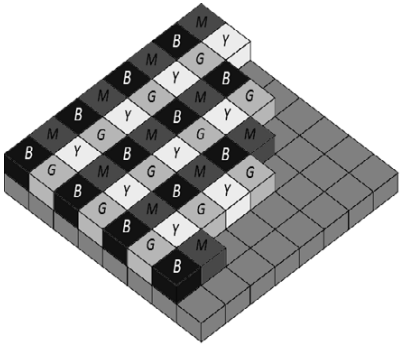


Рис. 4. Светочувствительная матрица BYMG

Принцип работы светочувствительной матрицы BYMG состоит в том, что с помощью синего, желтого, пурпурного и зеленого светофильтров фотодиодами воспринимаются соответствующие цвета, которые парами – пурпурный+зеленый и желтый+синий – формируют параметры a и b. Светлота L формируется суммарным сигналом со всех фотодиодов.

Уравнения для перевода сигнала со светочувствительной матрицы в L.a.b.:

$$a = \frac{M}{(G + M) * 255} - 127; \quad (6)$$

$$b = \frac{Y}{(B + Y) * 255} - 127; \quad (7)$$

$$L = G + M + B + Y. \quad (8)$$

В формулах (6), (7), (8): a, b, L – параметры, задающие цвет в модели L.a.b.; M, G, Y, B – доля от максимального сигнала каждого из цветов (в долях).

Светочувствительная матрица BYMG обладает следующими преимуществами.

1. Расширяет цветовой охват до максимума, воспринимаемого человеком, что повышает цветопередачу фотографий.

2. Нет необходимости конвертировать изображение со светочувствительной матрицы в другую цветовую модель, потому что и фотографирование, и отображение происходят внутри одной цветовой модели, если использовать дисплей с матрицей из BYMG-пикселей. Это позволяет избежать любых потерь цвета.

Светочувствительные матрицы BYMG можно применять в медицине, фотографии, спутниковой съемке, кино и т.д.

**Библиографический список**

1. Marks, W.B., Dobelle, W.H. &MacNichol, E.F. Visual pigments of single primate cones. Science (1964) 143: 1181–1183.

2. Ременко С. Д. Цвет и зрение. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1982. 159 с.

3. Цветовые модели в компьютерной графике. URL: https://vuzlit.ru/452520/ tsvetovye_modeli_kompyuternoy_grafike (дата обращения: 12.05.2018).

4. Устройство ЖК-панелей. URL: http://monitor.net.ru/forum/-info-375749.html (дата обращения: 12.05.2018).

**УДК 004.8**

***А. С. Уразов***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ИГРА В ШАХМАТЫ КАК ТЕСТОВАЯ ЗАДАЧА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В данной статье проанализирована история создания шахматных программ и использование компьютера для их реализации. Приводятся выдержки из статьи Клода Шеннона, который был одним из тех, кто первым стал рассматривать шахматные программы. Приводятся материалы о шахматной программе Каисса, которая стала первым чемпионом мира по шахматам среди компьютерных программ 1974 г. Рассматривается Deep Blue и его матч с чемпионом мира Гарри Каспаровым, в котором он проиграл машине, что послужило поводом к написанию книги «Человек и компьютер», где анализируются вопросы взаимодействия человека и компьютера, как в плане соперничества, так и в плане сотрудничества в решении трудных задач.

Шахматы – древнейшая игра. Считается, что шахматы появились в Индии, в V-VI вв. Следуя одной из версий, прародителем шахмат являлась игра чатуранга, появившаяся не позже VI в. нашей эры в Индии. После этого название «чатуранга» сократилось до «чатранг», и после завоевания Персии арабами изменилось, и стало «шатрандж». Благодаря контактам Европы с арабским миром, шахматы стали известны и в Европе. Видоизменение правил игры до современного облика датированы 1475 г. Тем не менее в то время не было единого стандарта правил в шахматах, и в разных регионах Европы шахматам были присущи свои особенности. В 1737 г. во Франции Филипп Стамма опубликовал книгу «Опыт шахматной игры», в которой впервые применил алгебраическую, а не описательную шахматную нотацию, до настоящего времени с небольшими изменениями являющуюся международным стандартом.

С начала XIX в. игра в шахматы превращается в международный вид спорта. Начинают проводиться матчи по переписке, и в 1830 г. происходит крупнейшее шахматное событие – матч между ведущими шахматистами того временем, Англии Лабурдонне и Александром Макдоннеллом. С этого времени эта игра приобретает большую популярность. В 1924 г. была учреждена Международная шахматная федерация (ФИДЕ). В 1920 г. в Советском Союзе была выстроена вертикальная организация шахматных кружков, клубов и соревнований. В конце 1920-х гг. была введена в действие единая квалификационная система. Это дало большие возможности советским шахматистам, которые долгое время являлись лучшими. Во второй половине XX в. начались продвижения в создании искусственного игрока в шахматы, т.е. шахматных программ. В 1951 г. Алан Тьюринг написал алгоритм, с помощью которого машина могла бы играть в шахматы, только в роли машины выступал сам изобретатель. До него, в 1950 г., математик Клод Шеннон написал свою первую статью о шахматном программировании, которая является основой в понимании работы шахматных программ. С этого времени начинается новая ступень истории в шахматах. Идет развитие шахматных программ и в 1996 г. произошло одно из самых выдающихся событий: Гарри Каспаров, на тот момент чемпион мира по шахматам, проиграл шахматному суперкомпьютеру Deep Blue. Этот момент был переломным, теперь стало ясно, что компьютеры могут быть умнее.

В марте 1950 г. в «Философском журнале», издаваемым в Великобритании, вышла статья Клода Шеннона под названием «Программирование компьютера для игры в шахматы». В данной статье Шеннон описывает проблему построения шахматной программы для компьютера. В то время Клод Шеннон даже взял название «программа» в кавычки, как жаргонизм.

Как и многие другие исследователи, Шеннон, рассуждая об играющем в шахматы устройстве, делал оговорку, что «возможно, оно не имеет никакого практического значения». Но также он разглядел в нем большую теоретическую ценность для самых разных областей, от проектирования фильтров и коммутационных схем, до создания мелодий.

Шеннон ясно объяснил, почему считает шахматы хорошей тестовой площадкой:

- проблема четко определена как с точки зрения допустимых операций (ходы), так и в плане конечной цели (мат);

- шахматная машина не настолько проста, чтобы считаться примитивной, но и не слишком сложна для отыскания удовлетворительных решений;
- так как для искусной игры в шахматы необходимо «мышление», тогда решение этой задачи либо вынудит нас признать возможность механизированного мышления, либо заставит уточнить нашу концепцию «мышления»;
- дискретная природа шахмат хорошо вписывается в цифровую природу современных компьютеров.

Шеннон описал различные факторы, требуемые для создания шахматной программы, такие как правила, определение ценности фигур, функцию оценки и возможные методы поиска.

За единицу оценки была взята пешка, и все остальные фигуры сравнивались с ней. Так, к примеру, цена ферзя была равна 9 пешкам, а ладьи 5. Ценность короля же была взята намного больше ферзя, Шеннон взял ценность равной 200, но можно взять любое число. Суть ценности заключается в том, как часто программа будет жертвовать фигурой, если взять ценность ферзя равной 2, он без проблем променяет его на слона.

Ниже приведен пример функции оценки, представленной в статье [1]:

$$f(P) = 200(K-K') + 9(Q-Q') + 5(R-R') + 3(B-B'+N-N') + (P-P') - 0.5(D-D'+S-S'+I-I') + 0.1(M - M') + ...$$

в котором:K, Q, R, B, B, P – количество белых королей, ферзей, ладьи, слонов, коней и пешек на доске; D, S, I – удвоены, задние и изолированные белые пешки; M = белая мобильность (измеряется, скажем, как количество разрешенных ходов, доступных для белых).

Буквы с апострофом – это аналогичные количества для черных.

Для алгоритма поиска был использован так называемый принцип «минмакса». Данный принцип оценивает все возможные варианты и сортирует от варианта с минимальной оценкой, до варианта с наибольшей оценкой.

Таким образом, варианты с наименьшей оценкой отбрасываются, что позволяет потратить это процессорное время на проверку наиболее перспективных ходов. Проверка происходит до тех пор, пока позволяет время.

Одним из важных вкладов Шеннона было то, что он предложил две ключевые стратегии поиска – тип А и тип Б.

Тип А – это метод «грубой силы», предполагающий, что все возможные в рамках правил ходы и варианты исследуются все глубже и глубже с каждым ходом, проверяя все возможные комбинации от использования каждого хода, до победного конца.

Тип Б – метод «интеллектуального поиска» – опирается на относительно эффективный алгоритм, работающий во многом так же, как мозг шахматиста: он фокусируется только на нескольких хороших ходах и тщательно анализирует их вместо того, чтобы рассматривать все.

Также он предложил свои варианты программ для стратегии А, в принципе, в то время, придумывая существующий уже язык Ассемблер.

Полная программа для стратегии типа А состоит из девяти подпрограмм, которые были обозначены T0, T1, ..., T8 и мастер-программы T9. Основные функции этих программ заключаются в следующем:

- T0 – делает движение (a, b, c) в положение P для получения результирующей позиции.
- T1 – создает список возможных ходов пешки в квадрате (x, y) в позиции P. T2, ...,
- T6 – аналогично для других типов фигур: конь, слон, ладья, ферзь и король.
- T7 – создает список всех возможных ходов в заданной позиции.
- T8 – вычисляет оценочную функцию f(P) для заданной позиции P.
- T9 – мастер-программа; выполняет максимизацию и минимизацию расчета для определения правильного перемещения.

Этих 9 подпрограмм, по мнению Шеннона, было достаточно для написания шахматной программы.

Deep Blue [2] – шахматный суперкомпьютер, разработанный компанией IBM, который 11 мая 1997 г. выиграл матч из 6 партий у чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова.

Разработка для Deep Blue началась в 1985 в Университете Карнеги – Меллона. Первое название проекта было «ChipTest», которое эволюционировало в Deep Thought. После того как команду разработчиков наняла IBM, название сменилось на Deep Blue, по созвучию с Big Blue. В команде разработчиков так же был гроссмейстер Джоэл Бенджамин.

В 1995 г. была закончена разработка шахматного микропроцессора и был получен прототип Deep Blue II – Deep Blue I. В этом же году прототип играл в 8-м чемпионат мира по шахматам среди компьютерных программ. Сыграл вничью с программу Wchess, которая работала на персональном компьютере. В конце чемпионата прототипу Deep Blue было присвоено второе место вместе с компьютерной программой Junior, которая, так же как и Wchess, работала на персональном компьютере.

Deep Blue II дважды играл с гроссмейстером Гарри Каспаровым. Первый раз матч состоялся 10 февраля 1996 г. В нем Deep Blue II стал первой машиной, которая выиграла шахматную игру против действующего чемпиона мира под обычным контролем времени. Но этот матч закончился победой человека, Гарри Каспаров выиграл со счетом 4:2. Матч закончился 17 февраля 1996 г.

После первой неудачи Deep Blue II был серьезно обновлен на основе нового, более производительного сервера IBM, и получил название Deep Blue II. Неофициально название новой сборки Deeper Blue.

Второй матч состоялся в мае 1997 г. На этот раз все было иначе. Deep Blue II обыграл Гарри Каспарова со счетом 3,5:2,5. Это был первый случай, когда компьютерная программа победила гроссмейстера.

«Каисса» [3] – шахматная программа, разработанная в СССР в 1960-х гг. Свое имя она получила в честь богини шахмат Каиссы. В августе 1974 г. «Каисса» стала первым чемпионом мира по шахматам среди компьютерных программ.

«Каисса» была разработана в 1971 г. в Институте проблем управления АН СССР. В разработке принимали участие Г. Адельсон-Вельский, В. Арлазаров, и М. Донской. Непосредственно над программой работали А. Битман, А. Бараев, А. Усков, А. Леман, М. Розенфельд.

В 1972 г. программа выступила в матче по переписке с читателями газеты «Комсомольская правда». Матч состоял из двух партий и был выигран читателями со счетом 1,5:0,5.

В августе 1974 г. на первом чемпионате мира по шахматам среди компьютерных программ в Стокгольме «Каисса» выиграла все четыре партии. Она стала первым чемпионом мира среди шахматных программ. В первенстве приняли участие 13 машин из 8 стран мира, передававшие свои ходы в зал проведения первенства оператору по телефону.

«Каисса» победила благодаря заложенным в нее новшествам. Среди них были: дебютная книга на 10 000 ходов, использовался новый алгоритм отсечения позиций, а также было принято побитовое представление шахматной доски, что, несомненно, ускорило работу программы. Также программа производила анализ во время хода противника, используя эвристику нулевого хода и сложные алгоритмы для управления временем. Программа была написана на ассемблере и работала на британской ЭВМ ICL System 4/70. После победы «Каиссы» ее новшества перекочевали во многие другие программы.

В настоящее время множество программ разрабатываются стандартным способом, как писал Шеннон, только с некоторыми улучшениями. Но уже сейчас появляются шахматные программы, построенные на основе нейронных сетей. Они не программируются в привычном смысле, они обучаются. Имея доступ к огромной базе данных по шахматным партиям, шахматные программы обучаются на этих партиях. Обучение занимает разное время, но уже сегодня создана шахматная программа, которая за 24 часа овладела шахматами на сверхчеловеческом уровне [4]. Тем образом, такие программы ходят «человеческими» ходами.

В заключение нужно сказать, что большинство действий современного человека не обходится без использования технологий. Машины, роботы, гаджеты учатся имитировать человеческую деятельность. Они могут выполнять как физическую, так и умственную деятельность. Поднимать тяжести и производить анализ больших объемов данных. Для разработки дальнейших технологий требуется фундамент. Таким фундаментом могут выступать шахматы. Понимая, как программы играют в шахматы, можно лучше понять, как думаем мы, и как следствие, создать технологии, совершенствующие человеческую природу.

**Библиографический список**

1. Shannon C.E. Programming a Computer for Playing Chess // Philosophical Magazine. Ser. 7. Vol. 41. No. 314. March 1950.

2. Deep Blue. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue (дата обращения: 12.04.2018).

3. «Каисса» (программа). URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Каисса_(программа) (дата обращения: 12.04.2018).

4. Искусственный интеллект самостоятельно за сутки научился играть в шахматы на сверхчеловеческом уровне. URL: https://www.spb.kp.ru/daily/26767/3799323/ (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК 004.42**

***А. С. Уразов***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***А. В. Аксенов***
научный руководитель

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИНИМИЗАЦИИ ДИАГРАММ ВЕЙЧА

В настоящее время минимизация логических функций является одной из типовых задач в схемотехнике. Сложность логической функции, и, следовательно, сложность и стоимость реализующей ее схемы (цепи), пропорциональны числу логических операций и числу вхождений переменных. Поэтому нужны эффективные методы и программное обеспечение для минимизации логических выражений.

Текущие методы минимизации были разработаны еще в XX в.

*Диаграмма Вейча (Карта Карно, Куб Карно)* [1] – графический способ минимизации булевых функций, обеспечивающий относительную простоту и наглядность работы с логическими выражениями. Был разработан Э. В. Вейчем в 1952 г. и усовершенствован Морисом Карно в 1953 г. Представляет собой операции попарного неполного склеивания и элементарного поглощения.

*Метод Куайна – Мак-Класки* – табличный метод минимизации булевых функций, разработан Уиллард Ван Орман Куайном и усовершенствован Эдвардом Мак-Класки [2]. Данный метод основывается на двух операциях склеивания и поглощения.

*Метод непосредственных логических преобразований* – самый простой метод, основан на использовании теорем алгебры логики. Этот метод не очень эффективен при использовании вручную.

*Эвристический алгоритм минимизации «Эспрессо»* – дает оптимальное решение минимизации логической функции, но не минимальное решение. Разработан в IBM Робертом Брайтонном.

По причине хорошей наглядности минимизации был выбран метод диаграмм Вейча. В связи с чем потребовалось разработать эффективный алгоритм для минимизации диаграмм Вейча. Перед разработкой ставились следующие требования: число переменных до 25; время выполнения минимизации, не более 2-3 с; возможность минимизации в КНФ и ДНФ; различные форматы вывода; перевод итоговой минимизации в базис (стрелка Пирса и штрих Шеффера).

В настоящее время для минимизации диаграмм Вейча, используется следующее программное обеспечение.

*Karnaugh Map Minimizer (2005 г.)* – бесплатное программное обеспечение, максимальное количество переменных 8.

*Logic Minimizer (2006 г.)* – платное программное обеспечение, способное минимизировать выражения, состоящие максимум из24 переменных. Бесплатная версия позволяет минимизировать выражения, состоящие максимум из 4 переменных.

*Carno Minimizer (2006 г.)* – бесплатное программное обеспечение, разработанное студентами Донецкого государственного технического университета, максимальное количество переменных 8.

*Karnaugh Minimizer (2010 г.)* – платное программное обеспечение, способное минимизировать, с графическим вводом данных, выражения с 2-8 переменными и с помощью Метода Куайна – Мак-Класки позволяет обрабатывать 9-23 переменных. Бесплатная версия позволяет минимизировать выражения, состоящие максимум из 4 переменных.

Теперь рассмотрим предлагаемый алгоритм работы. Он заключается в следующем. Идет прием введенной или загруженной диаграммы. В данной диаграмме могут максимум находиться только три типа значения – «0», «1», «–». После этого происходит проверка диаграммы на равенство истине или лжи, т.е. равны ли все ячейки «1» и «–» или «0» и «–».

В любой диаграмме Вейча, номера ячеек расположены в порядке возрастания слева направо у нечетных строк, и справа налево у четных. Номера переменных расположены в порядке возрастания снизу-вверх, и справа налево. Пример нумерации представлен на рис. 1.

Для более удобного индексирования ячеек, в диаграмму Вейча булевы переменные передаются из таблицы истинности и упорядочиваются с помощью кода Грея, в котором две «соседние» (в упорядоченном наборе) кодовые комбинации различаются только цифрой в одном двоичном разряде.

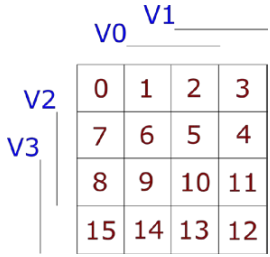



Рис. 1. Нумерация ячеек и переменных в диаграмме Вейча

Перевод индекса в код Грея осуществляется путем побитовой операции «Исключающее ИЛИ» (XOR) с тем же числом, сдвинутым вправо на один бит.

После этого новый индекс представляет собой комбинацию переменных, входящих в диаграмму (0 означает, что переменная с этим номером бита берется с инверсией, 1 – без инверсии).

Данные минимизации хранятся в структурах, которые содержит следующие поля: комбинация переменных, маска комбинации переменных, уровень минимизации, количество минимизированных переменных.

*Комбинация переменных* – двоичное значение с итоговой комбинацией переменных. Данная комбинация обозначает один дизъюнктивный или конъюнктивный одночлен. На месте минимизированных переменных всегда биты равны 0, на месте не минимизированных переменных биты могут принимать любые значения.

*Маска комбинации переменных* – двоичное значение, обозначающее переменные входящие в итоговый одночлен. На месте минимизированных переменных будут 0, на месте переменных, которых не удалось минимизировать, будут 1.

*Уровень минимизации* – количество минимизированных, сокращенных переменных.

*Количество минимизированных переменных* – число минимизированных ячеек, которые входят в итоговый одночлен, и не равных нейтральному значению (т.е. если был ДНФ, то количество единиц; если был КНФ, то количество нулей).

После переиндексирования диаграммы начинается поиск путем проверки всей диаграммы, ячеек равных, в зависимости от типа минимизации, 0 или 1. Как только нужная ячейка найдена, создается натальная структура одночлена и начинается рекурсивный поиск минимального варианта минимизации.

По окончании работы рекурсивной функции полученный вариант становится итоговым вариантом одночлена минимизации для найденной ячейки. Итоговый вариант включается в список вариантов одночленов логической функции.

Все ячейки, входящие в этот одночлен, в диаграмме, меняют свое значение на «X», обозначающее минимизированную ячейку, после чего поиск продолжается. По окончании поиска можно констатировать, что диаграмма Вейча минимизирована.

Теперь перейдем к алгоритму работы рекурсивной функции. Рекурсивная функция принимает в себя следующие аргументы: ссылка на диаграмму; ссылка на структуру минимизации; тип минимизации; уровень минимизации; максимальный уровень минимизации; переменная для минимизации; начальная маска комбинации переменных; количество оставшихся для проверки переменных.

*Ссылка на диаграмму* – диаграмма Вейча, по которой идет минимизация.

*Ссылка на структуру минимизации* – вариант одночлена, который минимизируется.

*Тип минимизации* – ДНФ или КНФ, т.е. минимизация идет по 0 или по 1.

*Переменная для минимизации* – двоичное значение, состоящее из одной единицы. Представляет собой маску переменной, которая минимизируется.

*Уровень минимизации* – уровень минимизации, до которого удалось дойти.

*Максимальный уровень минимизации* – равен количеству переменных, необходим для выхода из рекурсии.

*Начальная маска комбинации переменных* – переменная для условия выхода из проверки ячеек на возможности минимизации.

*Количество оставшихся для проверки переменных* – количество оставшихся переменных для проверки данного одночлена.

Работа функции заключается в следующем. В цикле идет проверка по всем следующим переменным, начиная с той, которая пришла аргументом. Идет проверка ячеек диаграммы, в которых переменная для минимизации, инвертирована, на возможность вхождения в итоговое выражение, в зависимости от типа минимизации. Если хотя бы одна ячейка не подходит под условие минимизации, происходит изменение переменной минимизации. Изменение переменной для минимизации происходит сдвигом на 1 бит влево.

Если же переменная может быть минимизирована, то происходит вызов рекурсии на новый уровень минимизации.

Рекурсивная функции со следующим уровнем минимизации продолжается до тех пор, пока не будет достигнут максимальный уровень минимизации, или не будут проверены все переменные для минимизации.

После окончания работы рекурсивной функции и возврата варианта минимизации одночлена, он запоминается как «кандидат» и проверка продолжается. Следующий принятый из рекурсивной функции вариант минимизации одночлена, сравнивается с «кандидатом». Если у принятого варианта больше минимизированных ячеек или количество минимизированных ячеек такое же, но больше уровень минимизации, тогда «кандидат» заменяется на принятый вариант, и проверка продолжается.

Как только рекурсия дошла до максимального уровня или не будет найдена минимизация, тогда происходит возврат из рекурсии. Возвращаемое значение – минимальный вариант минимизации одночлена.

Пример работы алгоритма представлен на рис. 2.

Тестирование выполнения минимизации проводилась на двух ПК с операционной системой Windows 10. Технические характеристики ПК представлены в табл. 1.

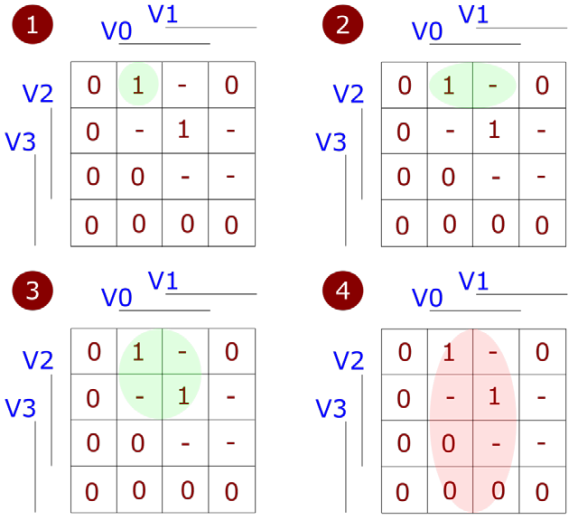



Рис. 2. Пример работы алгоритма

*Таблица 1*

Технические характеристики

| Характеристики | ПК №1 | ПК №2 |
|---|---|---|
| ЦП | Intel Core i7-3770, 3,4. ГГц | AMD A10-5757M, 2,5 ГГц |
| Оперативная память | 16 ГБ, DDR3,1652 ГГц | 8 Гб, DDR3,1333 МГц |
| Видеокарта | Nvidia GeForce GTX 760 | AMD Radeon HD 8750M |

Были разработаны разные варианты диаграмм: элементы расположены в порядке шахматной доски; псевдослучайные значения в каждой ячейке; первая половина диаграммы 1, вторая 0; только в первой ячейке 0, остальные 1; только в последней ячейке 0, остальные 1; только в угловых ячейках 0, остальные 1.

Результаты тестирования представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

Результаты тестирования*

| Варианты диаграмм | ПК №1 | | ПК №2 | |
|---|---|---|---|---|
| | Максимум, который был протестирован | Время по требованиям | Максимум, который был протестирован | Время по требованиям |
| «Шахматная доска» | 29 п. / 47,3 с. | 24 п. / 1,5 с. | 28 п. / 134,1 с. | 23 п. / 2,4 с. |
| Псевдослучайные | 27 п. / 138,2 с. | 22 п. / 2,1 с. | 24 п. / 30,1 с. | 21 п. / 2,2 с. |
| Половина | 25 п. / 273,3 с. | 21 п. / 2,0 с. | 22 п. / 41,9 с. | 20 п. / 1,9 с. |
| В первой ячейки 0 | 22 п. / 206,8 с. | 18 п. / 2,0 с. | 20 п. / 61,0 с. | 17 п. / 2,1 с. |
| В последней ячейке 0 | 22 п. / 196,0 с. | 18 п. / 1,9 с. | 20 п. / 61,6 с. | 17 п. / 2,1 с. |
| В угловых ячейках 0 | 22 п. / 203,6 с. | 18 п. / 1,9 с. | 20 п. / 55,1 с. | 17 п. / 1,9 с. |

*п (переменные); с (секунды).

Из результатов явно видна экспоненциальная сложность. Максимальная память для ответа примерно равняется 2 в степени «количество переменных – 1» * 13 байт. Для 29 переменных это будет около 3,25 Гб.

Для оптимизации производительности алгоритма были приняты следующие действия:

- данные переменных представлены битами, для их обработки используются битовые операции, что ускоряет работу алгоритма;
- в рекурсию передают ссылки на значения, а не их копии;
- цикл перебора ячеек для минимизации переменных полностью построен на битовых операциях.

Дополнительные возможности программного обеспечения:

- сохранение и загрузка диаграммы и переменных из файлов;
- возможность заполнения диаграммы вручную при количестве переменных 9 на 9 (слева и сверху);
- вывод в формате формул MSWord, а также в формате LaTex;
- перевод в базис (стрелка Пирса или штрих Шеффера);
- выбор минимизации (КНФ или ДНФ).

В данной статье был представлен алгоритм минимизации логических функции и описание программного обеспечения, с достаточно хорошими характеристиками:

- количество переменных до 29;
- приемлемое время выполнения изменяется в зависимости от вида диаграммы,
- существует выбор типа минимизации и перевод в заданный базис.

Учитывая, что результат минимизации представлен списком структур одночленов, можно разработать перевод результата в любую, удобную для использования, форму.

В заключение необходимо отметить, что разработанный алгоритм может выполнять и текущие учебные потребности, и небольшие задачи в проектах.

**Библиографический список**

1. Карта Карно. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Карта_Карно (дата обращения: 12.04.2018).

2. Метод Куайна – Мак-Класки, URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Куайна_—_Мак-Класки (дата обращения: 12.04.2018).

**УДК** 519.876.2

***А. А. Успанов***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***М. Б. Игнатьев***
доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ «ВАКУУМНЫЙ ПОЕЗД»

Транспортировка – это отрасль, которая должна идти в ногу со временем и с постоянно растущим населением обеспечивать более быстрые и дешевые методы передвижения.

Транспорт сегодня включает:

- автомобили (дешево, затраты по времени, неэкологично);
- авиатранспорт (недешево, экономия времени, неэкологично);
- железные дороги (недешево; затрата времени; относительно экологически чистый вид транспорта).

По этим причинам необходим альтернативный способ транспортировки, который смог бы удовлетворить три вышеуказанных пункта: стоимость, время, экологичность.

В качестве такого нового способа рассмотрим технологию вакуумного поезда.

Вакуумный поезд теоретически является наиболее безопасным, экологически чистым, относительно дешевым и является будущим лицом транспорта.

Впервые идея вакуумного поезда была высказана Робертом Годдардом в 1909 г. в журнале Scientific American. Он предложил организовать движение автомобилей в вакуумной трубе на основе магнитной левитации. Практически одновременно с Годдардом, опыты с перемещением тел в вакуумной трубе при помощи электромагнитного подвеса успешно проводил в 1911–1913 гг. профессор физики Томского технологического института Борис Вейнберг, прочитавший 31 марта 1914 г. в Санкт-Петербурге лекцию под заглавием «Движение без трения».

За прошедшее с тех пор время продолжали появляться проекты, в основе которых содержались идеи Годдарда и Вейнберга, но не были реализованы и всеобщего интереса к ним привлечено не было. Пока в 2012–2013 гг. известный инженер-изобретатель Илон Маск не представил свою концепцию вакуумного поезда «Hyperloop».

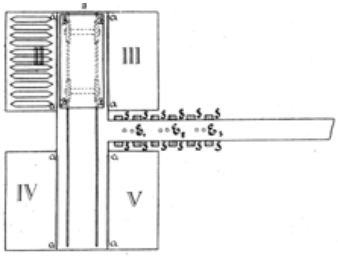



Рис. 15. Станція отправленія.

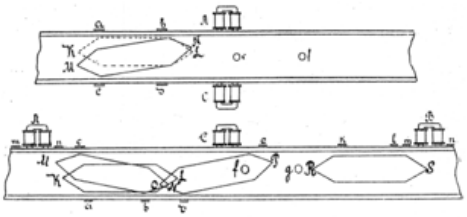


Рис. 8 и 9. Регулирующіе боковые и верхніе электромагниты.

Рис. 1. Иллюстрации из работы «Движение без трения» Б. П. Вейнберг

*Концепция «Hyperloop»*

Hyperloop представляет собой закрытую надземную магистраль в форме двух параллельных труб, соединяющихся в конечных точках маршрута. Снаружи поверхность которых оснащена солнечными батареями для энегетической самодостаточности системы.

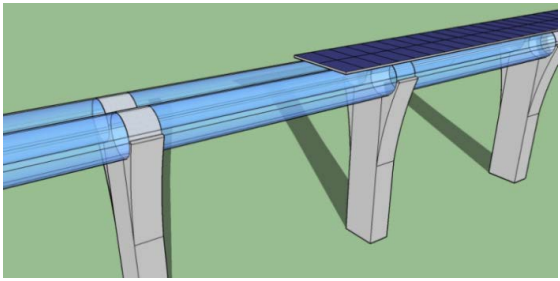


Рис. 2. Магистраль

Внутри будут перемещаться одиночные капсулы длиной 25–30 м, со скоростью от 480 до 1220 км/ч. Интервалы движения между капсулами, согласно проекту, составят всего 30 сек. Инженерами разработано два варианта системы – пассажирский и пассажирско-грузовой. В первом варианте диаметр трубы составит 2,2 м, а капсула будет вмещать 28 человек. Во втором – предлагается использовать трубопровод диаметром 3,3 м, а в капсулах помимо людей размещать до трех автомобилей.

Рис. 3. Пассажирская капсула

Стоит отметить, что на самом деле Hyperloop не является полностью вакуумным поездом. Вполне достаточно форваккума (с давлением в 100 Паскаль), который поддерживается насосами умеренной мощности и стенками трубы из обычной стали толщиной 20–25 мм.

При этом согласно расчетам капсулы на высоких скоростях все же будут сталкиваться с набегающими воздушными массами. Их было решено использовать для создания воздушной подушки: расположенные в носовой части капсулы сопла будут перенаправлять встречный поток воздуха под днище. Таким образом нет необходимости использовать более дорогую магнитную подушку.

Капсула будет приводиться в движение линейным электродвигателем. Статором послужит алюминиевый рельс длиной 15 метров на днище трубы, который будет повторяться через каждые 110 км пути. Ротор будет находиться в каждой капсуле, при этом требуемая постоянная мощность составляет всего 100 кВт·ч. Поскольку статор выполняет не только ускорение, но и торможение, в последнем случае кинетическая энергия капсулы будет преобразовываться в электрическую.

На случай разгерметизации в носовой части капсулы будет предусмотрен электрический компрессор, накапливающий сжатый воздух на борту. Кроме того в капсулах разместят 1,5 тонны аккумуляторов, заряда которых хватит на 45 мин., чтобы при перебоях с электричеством добраться до ближайшей станции.

После презентации проекта Илоном Маском реализовать идею взялись две компании Virgin Hyperloop One и Hyperloop Transportation Technologies. Также свои проекты вакуумного поезда имеют:

американская компания Evacuated Tube Transport Technologies, китайская корпорация CASIC (China Aerospace Science and Industry Corp), финская компания Astronomic, которая предоставила свой вариант строительства подводного тоннеля между Хельсинки и Таллином, в котором курсировал бы вакуумный поезд «Sonicloop». В марте 2016 г. Объединенный ученый совет ОАО «РЖД» рекомендовал рассмотреть целесообразность использования накопленного ОАО «НИИВТ им.С.А. Векшинского» опыта в конструировании больших вакуумных систем, при решении локальных задач в рамках создания вакуумной среды для движения транспортных средств.

*Преимущества*

- Сокращение времени на перевозки грузов и пассажиров (за счет увеличения скорости движения).
- Отсутствие износа труб и вагонов по причине отсутствия контакта с ними.
- Потенциально низкая стоимость поездки.
- Полностью автоматическая система транспортировки.
- Экологически чистый вид транспорта.

*Недостатки*

- Высокая стоимость инфраструктуры
- Помехи от сильного магнитного поля на чувствительные устройства( кардиостимуляторы и магнитные диски)
- Безопасность и комфорт пассажиров

По последним новостям компания Hyperloop Transportation Technologies объявила о начале строительства первой из двух линий тестовой установки для грузопассажирских перевозок и планирует запустить ее в этом году. Но уже имеет договоренности о стоительстве веток магистралей в ряде стран. Virgin Hypeloop One в 2017 г. объявила о том, что разогнала свою капсулу на тестовом треке до 387 км в час. Глава совета директоров стартапа Virgin Hyperloop One Ричард Брэнсон обсудил с индийскими властями перспективы новой транспортной системы и заключил предварительное соглашение о строительстве тестового участка в ближайшие два-три года, а полноценная ветка Hyperloop будет построена уже к 2025 г.

В итоге, даже учитывая все недостатки проекта, в него инвестируются огромные средства и возлагаются надежды. Новый транспорт в скором времени будет отвечать всем запросам современного общества. А пока вакуумный поезд – это вызов для новых технологических открытий и решений.

**Библиографический список**

1. Край И. Подземный космос: вакуумные поезда. Труба // Популярная механика. 2012. № 6.

2. Вейнберг Б.П. Движение без трения, 1914 URL: http://veinberg.o7.ru/pdf/no_friction_motion.pdf (дата обращения: 12.05.2018).

3. Портал Hi-News. URL: https://hi-news.ru/technology (дата обращения: 12.05.2018).

4. International Journal of Scientific & Engineering Research. URL: https://www.ijser.org/researchpaper/Hyperloop-Train-of-Future.pdf (дата обращения: 12.05.2018).

**УДК 004.93**

***М. Б. Фомин***
студент кафедры вычислительных систем и сетей
***Н. В. Соловьев***
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ ПО ВИДЕОДАННЫМ

Автоматизация технологических процессов обработки изображений является одной из центральных и важных задач в разных отраслях промышленности. Она включает ряд основных этапов (восприятие поля зрения, сегментацию, нормализацию выделенных объектов, распознавание, визуализацию и поиск изображений) и в совокупности определяет необходимость создания эффективных методов и систем автоматизации технологических процессов обработки, визуализации и поиска изображений.

Необходимость автоматизации процедуры классификации облачности является следствием того, что классификация облачности специалистами – метеорологами требует значительных временных и финансовых затрат. Для осуществления такой процедуры необходимы характерные признаки для каждого типа облачности, которые можно выразить количественно и сформировать критерий для классификации.

Процедура автоматической классификации облаков по типам используется для решения таких актуальных задач, как прогнозирование погоды и моделирование климата. Прогнозирование погодных условий необходимо для сельского хозяйства, где от погоды зависит урожай.

Классификация облачности широко применяется в авиации, где для безопасного полета воздушных судов необходимы актуальные сведения о типах облачности согласно международной классификации. Погодные условия важны и для судоходства, где прогнозирование шторма может снизить риск задержки рейса и сохранности людей [1].

Решение задачи классификации облачности предоставляет специалистам возможность отслеживать пространственно-временную изменчивость облачных образований, что является мощным инструментом исследования процессов, протекающих в атмосфере. Фотоснимки облачности, получаемые со спутников, дают целостную картину распределения облаков над обширными территориями. Это позволяет по характеру рисунка изображения на снимках изучать неоднородности облачного покрова различного масштаба.

Для чего нужна автоматическая классификация облачности?

В последние годы принимались попытки распознавания типов облачности с помощью различных программно-аппаратных подходов. Они связаны в первую очередь с разработкой программного обеспечения для автоматического распознавания типов облачности на основе анализа видеоизображения.

Актуальность задачи определяется наличием приборов, позволяющих производить точечные измерения (типа облакомеров различных производителей), но не способных оценить облачную обстановку по всему небосводу. Для этого требуются принципиально новые подходы к решению проблемы. Одним из способов автоматически классифицировать облачность является разработка эффективного метода комбинирования измерений облакомера и данных, получаемых из потока видеоинформации.

Для реализации данного метода необходимо объединить данные о высотах облачного слоя, полученные с облакомера и поток изображений с видеокамеры, как показано на рисунке. Вышеизложенное подчеркивает необходимость обстоятельного рассмотрения вопроса описания выходных данных приборов и комбинирования количества информации, получаемой с каждого прибора, а также синхронизацию показаний этих приборов.

Облакомер предназначен для измерения высоты нижнего края облачного покрова в точке [2]. На выходе из прибора получаются измерения высот нижнего края облачности. Результаты измерения представляются на графике зависимости интенсивности излучения от высоты, что позволяет также определить примерную ширину слоя облачности. Измерения проводятся с частотой от 2 до 40 с. Таким образом, интервал накопления данных из одной точки может содержать измерения с накоплением данных от 2 до 40 сек., что определяет отношение сигнал/шум получаемого сигнала.

Схема метода комбинирования измерений

Видеокамера непрерывно получает поток видеоинформации со скоростью до 25 кадров в сек. с небосвода. Таким образом, возникает задача синхронизации показаний двух приборов с целью получения наиболее объективной информации об облачном покрове. Для дальнейшей работы с изображениями необходимо выделить облачность при помощи программных средств обработки.

Анализ типов облачности чаще всего выполняется на основе применения корреляционных методов или с использованием нейронной сети. В результате становится возможным классифицировать тип облачности, исходя из анализа обработанного изображения и количественных данных, полученных с облакомера.

Анализ литературы показывает, что проблема рассматривалась достаточно широко. В то же время целый ряд конкретных вопросов, связанных с распознаванием образов остается мало разработанным, что позволяет выделить данный метод как перспективное направление разработки. Дальнейшие исследования логичнее всего проводить в области создания алгоритма распознавания типов облачности, на основе заранее заданных классификаторов и данных, получаемых с видеокамеры и облакомера.

**Библиографический список**

1. Андреев А. О., Дукальская М. В., Головина Е. Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание. СПб.: РГГМУ, 2007. 28 с.

2. Руководство по автоматическим системам метеорологического наблюдения на аэродромах ИКАО. URL: https://www.twirpx.com/file/820409/ (дата обращения: 12.04.2018).

**СОДЕРЖАНИЕ**

**РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ**


**Радиотехнические и оптоэлектронные комплексы** ..... 3

*Ашмарин А. А.* РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ ТРАССЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА ОСНОВЕ БУЯ РГБ-48 ..... 3

*Безвытный С. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ..... 7

*Ефимов С. Е.* МНОГОСЛОЙНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ЧЕБЫШЕВА ..... 10

*Иванина А. И.* УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ ..... 12

*Коренблюм Е. А.* ОТРАЖАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ..... 16

*Морозов В.Е.* ГЕОМАГНИТНЫЕ БУРИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА ..... 18

*Самарзанова Е. С.* РАЗРАБОТКА МИКРООПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЫ ..... 21

*Сухарев Ю. В.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ ..... 24

*Тимофеев А. Л.* ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛА НА ПРОЦЕССЫ ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ В ЛЮМИНОФОРАХ ..... 28

*Филиппов Н.Ю.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕР ДТП В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ ..... 30

*Хомутов А. С.* БОЛОМЕТР НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДНИК-ИЗОЛЯТОР-НОРМАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛ-ИЗОЛЯТОР-СВЕРХПРОВОДНИК ..... 32

*Чепурных Р. В.* РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА В КРЕМНИЕВЫХ АНСАМБЛЯХ ..... 34

*Шершнёв С. И.* МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ – ПЕРО ..... 36

*Шилов Д. И.* РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ, ИХ ВИДЫ И НЕОБХОДИМОСТЬ ..... 38

*Шмелев Ю. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ..... 42

*Чащин В. О.* АНАЛИЗ СОВМЕЩЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВЫСОТЫ И СКОРОСТИ ..... 45

**Конструирование и технологии электронных и лазерных средств** ..... 49

*Афанасьева К. Р.* КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНЫХ МИКРОМОДУЛЕЙ ..... 49

*Беликов Л. Н.* ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХОДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ ..... 51

*Бигей А. А.* АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ..... 54

*Бондарец Е. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНУЮ ОЧИСТКУ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ ..... 58

*Верясов С. А.* ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОРПУСНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СВЧ-УСТРОЙСТВ ..... 60

*Воронина С. В.* КЛАССИФИКАЦИЯ ОСОБЫХ СИТУАЦИЙ ПОЛЕТА И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖА ЛА ..... 64

*Гоголев О. А.* КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ПЛАСТМАССОВЫХ КОРПУСОВ ..... 68

*Грамзин Н. А.* МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ ИЗ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 72

*Дорофеева Е. М.* ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКИ 76

*Драчев А. Е.* МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛООТВОДОМ НА ОСНОВАНИЕ 80

*Жданов Д. А.* ТЕРМОИНТЕРФЕЙСЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ ..... 83

*Кривалова А. И.* АНАЛИЗ ВИДОВ И СОСТОЯНИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОДЛОЖЕК, ПОДЛЕЖАЩИХ ОЧИСТКЕ, В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ..... 85

*Кучерова Е. В.* ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКСЕЛЕРОМЕТРА ..... 88

*Лебедев К. А.* ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ИТЕРАЦИЙ ..... 91

*Макаренко Н. С.* РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБКО-ЖЕСТКОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ СО ВСТРОЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ..... 94

*Морозов В. А.* ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООТВОДА..... 97

*Никандров Н. В.* ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИИС В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ ..... 102

*Нургалиев С. Р.* МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАТЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ..... 105

*Орлов В. Ю.* ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ..... 108

*Поликарпова А. Ю.* ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В ВОСХОДЯЩЕМ ТЕПЛОВОМ КОНВЕКТИВНОМ ПОТОКЕ ..... 112

*Пыжова С. А.* КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ..... 115

*Роща И. А.* ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПУ С ПОВЫШЕННОЙ ВИБРОПРОЧНОСТЬЮ..... 119

*Рябов А. В.* МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ РЭС ..... 121

*Солдатенкова В. В.* АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТОДИК ТЕХНОЛОГИЙ МОНТАЖА ПМК ОП И БЕССВИНЦОВЫХ ПМК ИП ТИПА BGA..... 124

*Стойкова В. Р.* ВЫБОР ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА ПО СХЕМЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА – ЦЕНДЕРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ..... 127

*Тарала М. И.* ВЫБОР РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ ..... 130

*Цигас А. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЫШЕЧНОЙ ПОДВИЖНОСТИ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ МЫШЦЫ ..... 134

*Чуркин П. А.* МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ РЕЗОНАТОРОВ ..... 137

*Чугунов А. А., Петров А. Д.* КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА FSK-СИГНАЛОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ МЕТОК НА ПАВ..... 140

*Швыров Н. А.* ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ СВЯЗИ ..... 144

**Медицинская радиоэлектроника** ..... 147

*Арзуманян Э. Г., Логачёв Е. П.* ПРИБОР ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА И ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОСИГНАЛА ..... 147

*Голубкова А. М., Наумова Е. А.* ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЛИГВИСТИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИЗНАКОВ МГНОВЕННОГО СПЕКТРА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (ЭКГ СВР) ..... 151

*Данилова А. С.* ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ЭКГ СВР ..... 153

*Жиганова А. В.* РЕГИСТРАЦИЯ ПОЗДНИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЖЕЛУДОЧКОВ С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛ-УСРЕДНЕННОЙ ЭКГ ..... 157

*Колюка Г.А., Мошкова М. Н.* ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКУСТООПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ..... 159

*Кузнецова А. С.* ВВЕДЕНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА ..... 161

*Михеев К. И.* МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕРДЕЧНУЮ МЫШЦУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ..... 164

*Мороз А. А.* БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ..... 166

*Париевский И. А.* ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОПРИЕМНИКА В АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ..... 168

*Подольских Д. В.* СИСТЕМА ДЛЯ СНЯТИЯ ЭКГ- И ЭМГ-СИГНАЛОВ С ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ СВР ..... 171

*Читайкина О. А.* ПОРТАТИВНОЕ УСТРОЙСТВО WONDER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НЕЙРОМАРКЕТИНГА ..... 174

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

**Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы** ..... 177

*Акопян Б. К.* РАЗРАБОТКА МУЛЬТИКАНАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ С ПЕРЕДАЧЕЙ ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ ..... 177

*Батунов В. С.* АЛГОРИТМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ K-МЕРОВ ..... 181

*Боженко В. В., Игошин А. Н.* АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ..... 184

*Виноградов А. Ф., Клеченов А. С.* ЦИФРОВАЯ ИМИТАЦИЯ ЗВУКА МАГНИТНОЙ ФОНОГРАММЫ 186

*Герасимов С. М.* МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ *ARDUINO* ..... 191

*Городецкая А. В.* РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСЛОВИЙ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ..... 194

*Жук К. Д.* РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ФРАЗ 196

*Ким С. Р.* ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ..... 198

*Крупенин Э. О., Злобин П. В.* РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСАХ ..... 201

*Милов А. А.* МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ И СЛОЖНОСТИ ИХ ПОСТРОЕНИЯ .... 204

*Салынский А. С.* РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО УВЕДОМЛЕНИЯ ..... 206

*Фролов Н. Г.* ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА 1С ..... 208

*Фундовой В. Ю.* АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ. ..... 212

*Шемякин А. А.* РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПОЛЕТОВ ПОЧТОВОГО ДРОНА 215

*Юдин И. А., Григорьев Е. К.* МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРАЦИИ КАЛМАНА ..... 218

*Яковлев М. А.* ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ БРАУЗЕРА ..... 221

*Ярославцева Е. А.* АЛГОРИТМЫ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ..... 224

**Компьютерные технологии и программная инженерия** ..... 227

*Архипов А. М.* ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА РАБОТЫ С ДАННЫМИ ПО ФИТОПЛАНКТОНУ ..... 227

*Воробьев А. М.* ПОДСИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ КАРТ НА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ ДЛЯ ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ..... 231

*Горчаков И. Ю.* МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ КАРТ ПО ДАННЫМ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ..... 235

*Гурьянов Е. Ю.* РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИСКАЛЬНЫМ АППАРАТОМ ..... 238

*Егоров М. М.* ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ ОБЩЕЙ МОДЕЛИ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ..... 241

*Еремченко А. Ю.* ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СО СМЕШАННОЙ ЛОГИКОЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ..... 244

*Иванов М. С.* ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ..... 247

*Караванова С. А.* РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ALFRESCO С ГАРАНТИРОВАННЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ..... 250

*Каратаев А. С.* СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ..... 253

*Кириллова А. А.* ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ ХОПФИЛДА В ЗАДАЧАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБРАЗОВ ... 255

*Лелекова Н. А.* АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ГИБКИХ ПРОГРАММ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ .... 259

*Мещанинов В. Е.* ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА ОТОБРАЖЕНИЯ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ДАННЫХ О ПРОБАХ .... 263

*Панова И. С.* ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И ЗАПУСКЕ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ..... 266

*Пастор Е. А.* МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОДОСТУПНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ С МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ..... 270

*Плешанов И. Н.* О КЛАССЕ ЗАДАЧ ИГР ПАТРУЛИРОВАНИЯ ..... 272

*Савин А. В.* МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В СРЕДЕ OMEDIT ..... 277

*Самады Лаксахан В. Х.* ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ОШИБКИ СТРОБОСКОПА-ТАХОМЕТРА ..... 280

*Саушкин И. С.* ВЕБ-ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА. ПОДСИСТЕМА РАБОТЫ С ДАННЫМИ ПО ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИМ ПИГМЕНТАМ ..... 283

*Сейлис Я. BIGDATA*: ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЛОЯЛЬНОСТИ КЛИЕНТОВ АВИАКОМПАНИИ ..... 286

*Синяев А. И.* ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЯДЕРНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ ДЛЯ СЖАТИЯ ДАННЫХ ..... 289

*Чуев Д. А.* МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМ ОТОБРАЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТЫ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСА ..... 292

**Вычислительные системы и сети** ..... 295

*Барышева А. А.* ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАСПОРТ ЗДОРОВЬЯ ..... 295

*Василенко В. М.* ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОДОВ РИДА – СОЛОМОНА ..... 297

*Ведерникова М. Е.* АДАПТИВНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НАВЫКОВ РАБОТЫ В ПАКЕТЕ BLENDER 3D ..... 302

*Глотова О. С.* МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ..... 305

*Деменко А. А.* ОСОБЕННОСТИ 3D СКАНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D СКАНЕРА ..... 310

*Исаков М. С.* УСКОРЕНИЕ ПОИСКА ОРТОГОНАЛЬНЫХ МАТРИЦ ФИЛЬТРАЦИЕЙ НАКАПЛИВАЕМЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ..... 314

*Левин К. С., Кузьменко Р. А.* СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПОТОЧНОГО СЕРВИСА API С РАЗВЕРТЫВАНИЕМ НА СЕРВЕР В ДОКЕР-КОНТЕЙНЕРЕ ..... 317

*Левченко О. Г.* ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПРАКТИЧЕСКИМ ПРИМЕРОМ ..... 320

*Логинов А. С., Лунин Е. М.* МЕТОДЫ УСКОРЕНИЯ 3D РЕНДЕРИНГА ДЛЯ СИМУЛЯТОРОВ ДВИЖЕНИЯ ..... 323

*Мальцев К. В.*, *Ситников И. А.*, *Майн Е. Е.* АНАЛИТИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДНЕВЕКОВОГО ГОРОДА ..... 327

*Николаев Н. В.* СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРКОВКИ ..... 330

*Сергеев А. Н.* ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР СПОСОБА БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ..... 333

*Собашников С. И.* МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ GEAR VR 338

*Соловьев А. И., Токмакова Е. А.* АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПИКСЕЛЕЙ ..... 341

*Уразов А. С.* ИГРА В ШАХМАТЫ КАК ТЕСТОВАЯ ЗАДАЧА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ..... 345

*Уразов А. С.* ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИНИМИЗАЦИИ ДИАГРАММ ВЕЙЧА ..... 348

*Успанов А. А.* ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ «ВАКУУМНЫЙ ПОЕЗД» ..... 352

*Фомин М. Б.* ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ ПО ВИДЕОДАННЫМ ..... 355

Научное издание

# СЕМЬДЕСЯТ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 2

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
16–20 апреля 2018 г.

Ответственный за выпуск:
А. В. Бобович

Редактор *О. Ю. Багиева*
Компьютерная верстка *Н. Н. Караваевой*

Подписано к печати 03.10.18. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 21,1. Уч.-изд. л. 22,63. Тираж 150 экз. Заказ № 351.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67