



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам III международной заочной  
научно-практической конференции*

№ 2 (3)  
Март 2017 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2017

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Копылов Алексей Филиппович* – канд. тех. наук, доц. кафедры радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета, Россия, г. Красноярск;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам III междунар. заочной науч.-практ. конф. – № 2(3). – М.: Изд. «МЦНО», 2017. – 68 с.

ISBN 2541-8394

Сборник входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.RU.

ISBN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2017

## **Оглавление**

<b>Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>5</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В СЕГМЕНТЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ Валеев Михаил Владимирович Козубцев Иван Николаевич	5
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ «УНИВЕРСАЛЬНОГО КОШЕЛЬКА АУТЕНТИФИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ» КАК НОСИМОГО АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА Рудин Сергей Владимирович	16
<b>1.2. Радиотехника и связь</b>	<b>27</b>
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ СВЧ НА ОДИНОЧНЫХ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ МЕМБРАНАХ С РАЗЛИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НЕСИММЕТРИЧНЫХ УГЛОВЫХ ЩЕЛЕЙ Копылова Наталья Алексеевна Копылов Алексей Филиппович	27
УМЕНЬШЕНИЕ ПИК-ФАКТОРА OFDM СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ОКОННОЙ ФУНКЦИИ ХЭММИНГА Пукса Артём Олегович	37
<b>1.3. Транспорт</b>	<b>44</b>
РАЗРАБОТКА ГРАФИКА СМЕННОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ ПО МАРШРУТУ Костенко Анастасия Александровна Еремина Любовь Валерьевна	44
<b>1.4. Химическая технология</b>	<b>49</b>
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ АЭРОЗОЛЕЙ НА КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ Лаптев Анатолий Григорьевич Башаров Марат Миннахматович	49

<b>Физико-математические науки</b>	<b>56</b>
<b>Раздел 2. Математика</b>	<b>56</b>
<b>2.1. Дискретная математика и математическая кибернетика</b>	<b>56</b>
О СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК РЕГРЕССИИ Мангалова Екатерина Сергеевна	56
<b>Раздел 3. Физика</b>	<b>63</b>
<b>3.1. Физика плазмы</b>	<b>63</b>
ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ТОКОВОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИК – ГАЗОВЫЙ ПРОМЕЖУТОК Мирзажонов Зокиржон Эргашев Кахрамон Михайлович Йулдашев Хуршиджон Толибович	63

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 1.**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **1.1. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В СЕГМЕНТЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ**

***Валеев Михаил Владимирович***

*преподаватель, Техникум информационных технологий, экономики  
и права Кемеровского института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова,  
РФ, Кемерово,*

***Козубцев Иван Николаевич***

*студент, Техникум информационных технологий, экономики  
и права Кемеровского института (филиала) РЭУ им. Г.В. Плеханова,  
РФ, Кемерово*

#### **THE MARKET SEARCH OF MOBILE APPS IN SEGMENT OF THE E-LEARNING SCHEDULE**

***Michael Valeev***

*teacher, Kemerovo college (branch) of Plekhanov  
Russian University of Economics,  
Russia, Kemerovo*

**Ivan Kozubtsev**

*student, Kemerovo college (branch) of Plekhanov  
Russian University of Economics,  
Russia, Kemerovo*

**Аннотация.** данное исследование посвящено выявлению спроса на мобильные приложения сегмента электронных учебных расписаний (сокр. ЭУР), а также формирования представления о потребностях пользователей относительно таких приложений.

**Abstract.** The market search focuses on the identification of the demand for mobile applications of the e-Learning Schedule segment (ELS), as well as the presentation of user needs for such applications.

**Ключевые слова:** мобильное приложение; электронное учебное расписание занятий; информационные технологии; автоматизация систем электронного расписания.

**Keywords:** mobile application; e-Learning schedule; information technology; E-Schedule automation.

Актуальность исследования обусловлена проблемой информатизации в образовательных учреждениях и конкретно проблемой проектирования информационных систем для работы с электронным учебным расписанием (сокр. ЭУР) в образовательных учреждениях.

Проблема проектирования таких информационных систем выражена:

1. Особенности разработки программного обеспечения для систем ЭУР, отвечающего стандартам качества и степени инновационности.

2. Проблемой оптимизации процессов разработки, хранения, распространения элементов ЭУР и организации доступа к ним.

3. Организацией и реорганизацией процессов разработки и обеспечения расписанием образовательных учреждений.

Объектом исследования является рынок мобильных приложений, предметом исследования является программные решения из сегмента электронных учебных расписаний.

Целью исследования является изучение спроса и предложения сегмента электронных учебных расписаний на рынке мобильных приложений для создания прототипа удовлетворяющего потребности пользователей.

Задачи, выполненные в процессе исследования: 1) выбор методов для проведения исследования; 2) сбор данных для анализа; 3) проведение анализа полученной информации.

Данное исследование носит экспериментальный характер. Результаты исследования повлияли на разработку прототипа мобильного приложения электронного учебного расписания, несущее рабочее название «Мобильное расписание». Был определен состав элементов пользовательского графического интерфейса, позволяющий пользователю использовать все возможности программного решения, а также был определен функционал для работы пользователя с электронным учебным расписанием.

Сбор информации разделяется на сбор первичной и вторичной информации. Сбор первичных данных производится методом анкетирования респондентов по определенным вопросам. Сбор вторичной информации производится посредством выборки данных, предоставленных магазинами приложений «Google Play» и «Microsoft Store Россия».

Данные предоставленные магазинами упомянутые выше использованы из открытых публичных источников. Сбор и анализ данных был совершен с использованием онлайн-сервисов Google, такие как «Google Формы» и «Google Таблицы».

Анкетирование проводилось по следующему принципу:

1. Разработка вопросов. Были сформированы вопросы анкеты, позволившие получить данные об интересах потребителей относительно мобильных приложений электронного учебного расписания.

2. Разработка анкеты. Был определен порядок вопросов в анкете, разделов анкеты.

3. Выбор средства анкетирования. Анкетирование проводилось с применением онлайн-сервиса «Google Формы».

4. Проведение анкетирования. Респондентам было предложено заполнить анкету на форме Google Формы, пройдя по ссылке.

5. Сбор и анализ данных. Онлайн-сервис Google Формы предоставило удобные инструменты для сбора и анализа информации, а также дало возможность импортировать данные в электронную таблицу для более детального анализа.

Выборка данных предоставленных магазинами приложений производился следующим образом:

1. Поиск предложения. На соответствующих сайтах магазинов производился поиск приложений из категории образования относящихся к электронным учебным расписаниям. Такие приложения должны предоставлять функционал для работы с расписанием образовательных учреждений. Было использовано несколько запросов для поиска, такие как «учебное электронное расписание», «расписание занятий», «расписание пар» и другие, так или иначе обозначающие наименования учебных электронных расписаний.

2. Сбор данных. Собирались данные о наименовании, разработчике, цене, рейтингах приложения и отзывах потребителей. Все данные были отфильтрованы и занесены в электронную таблицу в онлайн-сервисе Google Таблицы для анализа.

3. Анализ. Встроенными инструментами Google Таблиц было получено множество аналитических диаграмм и других таблиц из данных выборки.

Для проведения анкетирования в Google Форме были размещены следующие вопросы, разделенные на несколько разделов:

1. Информация о респондентах: 1) пол; 2) возраст; 3) Статус (Студент, преподаватель);

2. Информация об мобильных устройствах.

3. Информация о наличии приложения электронного учебного расписания и интереса к таким приложениям:

1) Наличие приложения, или желание его получить;

2) Частота использования приложения;

3) Загружает ли приложение расписание из сети или нет;

4) Отслеживает ли приложение ежедневные изменения в расписании;

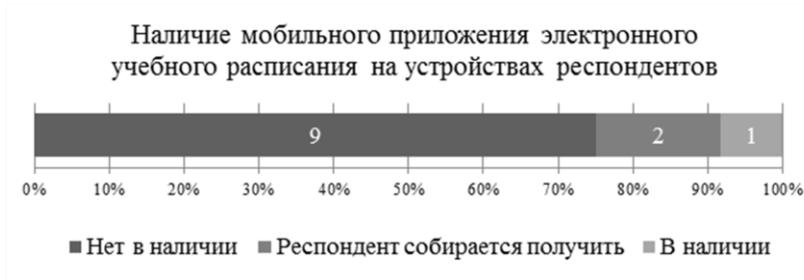
5) Уведомляет ли такое приложение пользователя об изменениях.

Анализ полученных данных производился средствами офисных онлайн-сервисов, которые получая данные из таблиц, и производили диаграммы различных типов. Далее были выведены закономерности по различным факторам над полученными данными. После был сформирован отчет по итогам исследования.

Исследование проходило в 3 этапа: 1) опрос студентов города Кемерово посредством Google Форм; 2) анализ спроса и предложения магазинов мобильных приложений; 3) анкетирование студентов Техникума информационных технологий, экономики и права (сокр. ТИТЭиП).

В опросе первого этапа приняли участие 12 респондентов из различных образовательных учреждений города Кемерово.

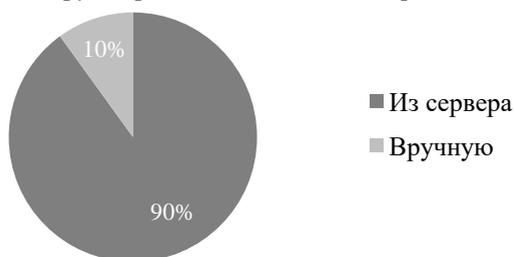
После сбора и анализа собранных данных можно утверждать, что у подавляющего большинства (75%) респондентов такого приложения нет (Рисунок 1). Это может означать, что респонденты не интересуются такими приложениями или просто не знакомы с ними.



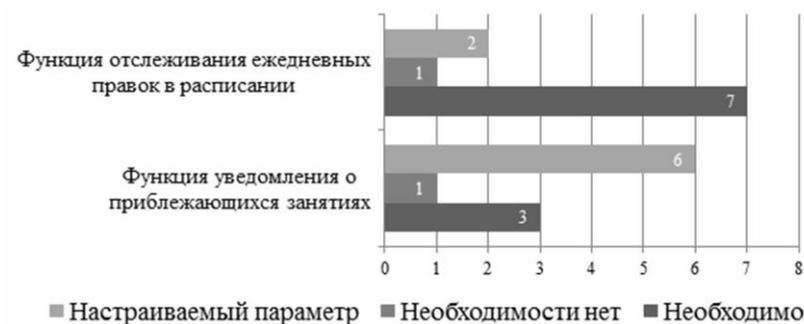
**Рисунок 1. Диаграмма, показывающая в процентном соотношении количество ответов респондентов касемо наличия приложения**

Далее респонденты поделились своими предпочтениями касемо мобильного приложения. Большинство, а именно 90% из 10 ответивших, считает, что приложение должно загружать расписание занятий через сеть (Рисунок 2). 70% из 10 ответивших, считает, что такое приложение должно отслеживать ежедневные изменения, вносимые в расписание и 66,7% из 10 ответивших, интересно наличие настройки позволяющие управлять уведомлениями приложения (Рисунок 3).

**Метод загрузки расписания занятий в приложение**



**Рисунок 2. Диаграммы метода ввода расписания**



**Рисунок 3. Диаграмма, показывающая процентное соотношение ответов касательно уведомлений приложения**

Предположим, что потребители не заинтересованы в таком мобильном приложении из-за качества предложения на рынке мобильных приложений. Если разработчики предложат качественное приложение и сопровождающий сервис, то есть большая вероятность того, что на приложение появиться большой спрос среди студентов и преподавателей. Данная гипотеза требует проверки, и дополнительные исследования. Также существует вероятность, что такие приложения не интересны потребителям вне зависимости от качества и функционала, что в свою очередь также требует проверки.

Для ответа на выше поставленные гипотезы был проведен второй этап исследования. Была произведена выборка сведений из магазина мобильных приложений в Google Play на предмет приложений ЭУР. В статье рассматриваются данные только по данному магазину приложений, так как количество его предложений значительно выше остальных. В результате этапа исследования были выделены два направления разработок: приложения для всеобщей аудитории и приложения для аудитории одного учреждения. Каждая из направлений вносит свои особенности разработки и поддержки мобильных приложений и их сервисов. Приложения для общей аудитории позволяет нарастить большую аудиторию, но функционал у таких приложений меньше и не отвечает специфическим требованиям образовательных учреждений. Приложения второго направления за счет тесного контакта и сотрудничества со студентами и преподавательским составом позволяет быстро реагировать и удовлетворять потребности пользователей.

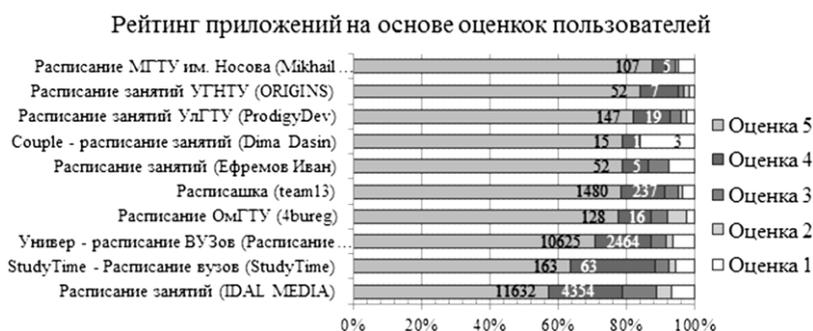
Из выборки было детально исследовано 10 приложений, по критериям пользовательского рейтинга и функции ввода и отслеживания изменений расписания:

1. Универ - расписание ВУЗов от «Расписание занятий для студентов»,
2. Расписашка от «team13»,
3. Расписание занятий от «Ефремов Иван»,
4. Расписание МГТУ им. Носова от «Mikhail Tyugaev»,
5. Расписание занятий УГНТУ от «ORIGINS»,
6. Расписание занятий УлГТУ от «ProdigyDev»,
7. Couple - расписание занятий от «Dima Dasin»,
8. StudyTime - Расписание вузов от «StudyTime»,
9. Расписание занятий от «IDAL MEDIA»,
10. Расписание ОмГТУ от «4bureg».

Примечание. Сначала указано название приложения, затем наименование разработчика.

На следующей диаграмме представлен рейтинг приложений от разработчиков на основе оценок пользователей из магазина Google Play (Рисунок 4).

Рейтинг приложений отражает, как пользователи оценили качество приложений по 5-бальной шкале. Числа в рядах (черного и белого цвета) означают количество пользователей давшие ту или иную оценку, черным обозначены те, кто оценил на 5 баллов, белым – на 4 бала, и красным – на 1 бал. Процентное соотношение выбрано как количество пользователей оценивших на определенный бал ко всему количеству оценивших приложение.



**Рисунок 4. Диаграмма рейтинга приложений на основе оценок пользователей**

Изученные мобильные приложения (Таблица 1) были разделены на несколько групп по механизму ввода и хранения электронного расписания:

1. Выделенная база данных ЭУР (ВБД). Приложение запрашивает у сервера хранящий ЭУР, через сеть интернет, информацию о необходимом для пользователя расписании. Администрирование сервера возлагается на разработчика или образовательное учреждение. Заполняет базу данных разработчик или ответственное лицо от образовательного учреждения.

2. База данных пользователей (БДП). Механизм такого подхода схож с первой группой, за исключением того, что заполнение базы переложено на пользователей, а администрированием сервера занимается разработчик.

3. Ручной ввод и локальное хранение. У приложений такой группы отсутствует сервер БД ЭУР, расписание храниться на устройстве (локально), а заполнение базы полностью возложено на конечного пользователя.

**Таблица 1.**

**Функционал получения расписания, реализованные разработчиками в приложениях**

Приложение	Ввод и хранение расписания	Отслеживание изменений
Расписание МГТУ им. Носова (Mikhail Tyugaev)	ВБД	Присутствует
Расписание занятий УГНТУ (ORIGINS)	ВБД	Присутствует
Расписание занятий УлГТУ (ProdigyDev)	ВБД	Присутствует
Расписашка (team13)	Ручной	Отсутствует
Расписание занятий (Ефремов Иван)	ВБД	Присутствует
Расписание ОмГТУ (4bureg)	ВБД	Присутствует
Универ - расписание ВУЗов (Расписание занятий для студентов)	Ручной	Отсутствует
StudyTime - Расписание вузов (StudyTime)	БДП	Присутствует
Couple - расписание занятий (Dima Dasin)	БДП	Присутствует
Расписание занятий (IDAL MEDIA)	Ручной	Отсутствует

Первые два этапа исследования дали представление о рынке мобильных приложений ЭУР. Не все студенты пользуются приложениями, предпочитая им традиционные способы получения и хранения. Одногруппники делятся актуальным расписанием между собой разными способами. Также не все образовательные учреждения желают разрабатывать и внедрять такие приложения.

На третьем этапе было проведено анкетирование студентов ТИТЭиП. 42 респондента отвечали на 16 вопросов. Вопросы были разделены на разделы:

1. Об устройствах и их характеристиках,
2. О способах получения расписания,
3. Об интересе относительно таких приложений,
4. О функциональном составе такого приложения.

По результатам третьего этапа исследования была сформирована статистика (Рисунок 5, Рисунок 6).



**Рисунок 5. Диаграммы статистики о методах получения расписания студентами (сверху), об интересе респондентов к приложению ЭУР (слева) и о количестве используемых ОС (справа)**



**Рисунок 6. Диаграмма предпочтений студентов  
по функциональному составу приложения**

Удивительным стал факт того, что разделом расписания на сайте института, на нем также храниться расписание ТИТЭиП, пользуются крайне малое количество респондентов. Такой факт может быть связан с некоторыми проблемами:

1. Студенты получают или считают, что получают неполную или не актуальную информацию о расписании занятий.
2. Студентам трудно получить доступ к разделу с расписанием занятий и информации о расписании.
3. Студенты, возможно, не знают, что такой раздел существует.
4. Студенты считают, что другие способы легче и эффективнее.

В ходе исследования не было принято действий по обнаружению таких проблем в ТИТЭиП.

Среди студентов очень популярны устройства с платформой Android. Разработка и продвижение на данной платформе требуют гораздо меньше ресурсов и затрат, что дает весомое преимущество.

Также респондентам было предложено выбрать несколько элементов состава информации о расписании занятий по их предпочтениям (Рисунок 7).



**Рисунок 7. Диаграмма предпочтений по составу расписания занятий**

В первую очередь студенты хотели видеть в приложении расписание их групп, затем расписание за все неделю, всеобщее и по дням. Также респонденты поделились, какие функции они хотели видеть дополнительно, их количество ровно 10.

Результаты данного исследования позволяют наблюдать общую поверхностную картину. Для более углубленного представления о мобильных приложениях электронных учебных расписаний, рынке таких приложений, спросе и предложений, требуется более качественные и углубленные исследования. Однако данных было достаточно для создания прототипа мобильного приложения.

### Список литературы:

1. Валеев М.В. О разработке информационного и аналитического обеспечения задач бизнес-планирования производственного предприятия / М.В. Валеев, А.В. Медведев // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего. Материалы Международной конференции. – Кемерово, ЗСНЦ. – 2015. – С.58-61.
2. Валеев М.В., Шадрин А.Ю. Компьютерное моделирование влияния рыночных и технико-экономических показателей инвестиционного проекта на предельное значение его жизненного цикла // Институциональные и инфраструктурные аспекты развития различных экономически систем. Материалы Международной научно-практической конференции. – Казань, НИЦ Аэтерна. – 2017. – С.65-67.

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ  
«УНИВЕРСАЛЬНОГО КОШЕЛЬКА  
АУТЕНТИФИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ»  
КАК НОСИМОГО АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА**

*Рудин Сергей Владимирович*

*системный аналитик,  
ХОУМ КРЕДИТ ЭНД ФИНАНС БАНК,  
РФ, г. Ижевск*

**SOME ISSUES OF IMPLEMENTATION OF THE  
“UNIVERSAL WALLET OF AUTHENTICATION DATA”  
AS A STAND-ALONE PORTABLE DEVICE**

*Sergei Rudin*

*systems analyst,  
HOME CREDIT AND FINANCE BANK,  
Russia, Izhevsk*

**Аннотация.** В настоящее время вопрос аутентификации пользователя в информационном пространстве становится всё более острым. Данные (логины-пароли, ключи, токены) являются разнородными и требовательными к надёжному хранению. В статье рассматриваются базовые требования к разработке устройства, позволяющего надёжно хранить указанные данные, предоставляя, при этом, удобство их использования и универсальность применения.

**Abstract.** Currently, the issue of user authentication in the information space is becoming more acute. The data (logins, passwords, keys, tokens) are heterogeneous and demanding secure storage. The article discusses the basic requirements for the development of the device, which allows securely store these data by providing, at the same time, ease of use and versatility.

**Ключевые слова:** аутентификация; шифрование; схемотехника; функциональные требования; вычислительная стойкость; надёжность.

**Keywords:** authentication; encrypting; circuit design; functional requirements; computer resistance; safety.

## **Введение**

В настоящее время, время информационных технологий, уже недостаточно материальных удостоверений личности. Каждый (или почти каждый) человек в повседневной жизни использует от единиц до одного-двух десятков различных аккаунтов. Держать их в памяти всё сложнее (ведь все пароли должны быть разными, чтобы потеря одного не привела к компрометации остальных), но даже этого становится мало, так как преступники становятся всё изощреннее. Существует множество программных и аппаратных средств для хранения данных аутентификации (начиная от программ для смартфонов и заканчивая устройствами типа eToken) но, чаще всего, они достаточно узко специализированы и не могут использоваться в качестве универсальных средств аутентификации без привязки к определенной технологии. Кроме того, в случае использования смартфонов, не всегда можно гарантировать полную конфиденциальность и соблюдение приватности со стороны производителей устройств и их программного обеспечения.

В этом свете использование специализированных устройств, поддерживающих максимальное количество методов, аутентификации кажется наиболее востребованным решением.

Для достижения максимальной эффективности подобного устройства, в первую очередь, необходимо разработать на основе исследований перечень рекомендаций к реализуемому функционалу. Это достигается в ходе следующих работ: выбор метода аутентификации пользователя на основе сравнения возможных вариантов по ключевым показателям, исследование и выбор метода реализации генератора случайных чисел.

На основании выработанных рекомендаций предстоит подобрать наиболее подходящую элементную базу и схемотехнические решения - какова бы ни была теоретическая идея, успех во много зависит от её реализации в материале. Здесь во главу угла должны ставиться эргономичность, надёжность и практичность устройства.

### **1.1 Исследование требований и методов защищенного хранения данных**

Исходя из функциональных требований к устройству, подсистема хранения должна обеспечивать надежное хранение данных и ограничение доступа к ним.

В случаях, не предусматривающих многопользовательские режимы работы и разграничение прав доступа, необходимым и достаточным является шифрование данных - оно позволяет ограничить доступ к данным непосредственно на устройстве (нет

ключа - нет доступа), а так же защищает данные при попытке прямого доступа к носителю. С точки зрения адекватности и целесообразности следует остановиться на симметричном шифровании.

Существует 2 варианта: аппаратное и программное шифрование.

Для выбора варианта реализации проведено исследование возможностей продуктов, доступных на текущий момент на рынке. В качестве стендового образца использовался криптопроцессор Atmel AT97SC3204 (33МГц), реализующий алгоритм асимметричного криптопреобразования RSA и алгоритм вычисления хеш-функции SHA-1. Сравнительное исследование проводилось на алгоритме RSA. Программная реализация основана на свободно распространяемом исходном коде продукта OpenPGP. В качестве платформы для исполнения кода выступал ПЭВМ Toshiba Sattelite C-660 (CPU Intel Core i3-2330M 2,2ГГц, 4 Гб ОЗУ) под управлением ОС Windows 7. Сравнение скорости преобразования проводилось на блоке случайных данных размером 5 кБайт. Производилось 3-кратное вычисление 1024-бит и 2048-бит подписи RSA каждым из методов. Результаты приведены в таблице 1.

*Таблица 1.*

#### Результаты стендовых сравнений времени криптопреобразования

	Время вычисления 1024-бит RSA, $t_{1024,мс}$	Время вычисления 2048-бит RSA, $t_{2048,мс}$
<b>Криптопроцессор Atmel AT97SC3204</b>	43	194
	39	205
	41	200
<b>Программная реализация</b>	2	11
	8	15
	5	18

Как показал опыт, среднее время вычисления в программной реализации существенно меньше, но если привести производительность стендов к общему модулю ( $2,2ГГц/33МГц = 66,7$  крат), получаем среднее приведенное время для программной реализации  $t_{ср\ прив\ 1024} = 333,5мс$  и  $t_{ср\ прив\ 2048} = 978,3мс$ , что значительно превышает среднее время вычисления криптопроцессора. Кроме того, для программной реализации отмечено гораздо более значительное отклонение результатов от среднего значения, возникающее вследствие разделение ресурсов ЦП между различными задачами.

Используя результаты опыта, а так же другие показатели, получаем обобщенную сравнительную таблицу 2.

**Таблица 2.**

**Сравнение показателей аппаратной и программной реализации шифрования**

<b>Параметр</b>	<b>Аппаратная реализация</b>	<b>Программная реализация</b>
<b>Аппаратная часть</b>	Специальный криптопроцессор	Разделяемый ЦП устройства, на котором выполняется шифрование
<b>Скорость шифрования</b>	Постоянно высокая (сравнительно с программным шифрованием)	Зависит от вычислительной мощности устройства и текущей нагрузки
<b>Эффективность шифрования (реализуемые алгоритмы)</b>	Могут быть реализованы любые алгоритмы	Могут быть реализованы любые алгоритмы
<b>Возможность обновления</b>	Криптопроцессор может поддерживать несколько алгоритмов; обновление невозможно	Алгоритмы могут изменяться и добавляться средствами разработки.
<b>Стоимость</b>	Стоимость разработки, изготовления, сертификации велика.	Совокупная стоимость процессора общего назначения и разработки ПО ниже, чем в случае аппаратного шифрования

Таким образом, основной выигрыш аппаратной реализации в скорости работы. Но хранимые аутентификационные данные обычно невелики по объему, то есть фактор скорости шифрования/дешифрования не столь значителен. В то же время, программная реализация обладает меньшей стоимостью, кроме того, она закладывает в устройство потенциал на расширение и обновление функционала за счет возможности перепрограммирования.

**1.2. Исследование методов реализации генератора случайных чисел**

В работе Клода Шеннона [2] определены требования к абсолютно стойким системам шифрования (некая модель шифра, в принципе не поддающегося вскрытию не зависимо от ресурсов атакующего):

- ключ генерируется для каждого сообщения (каждый ключ используется только один раз);

- ключ статистически надёжен (то есть вероятности появления каждого из возможных; символов равны, символы в ключевой последовательности независимы и случайны);

- длина ключа равна или больше длины сообщения.

Как правило, реализация всех принципов приводит к невозможности практического использования систем, поэтому на практике говорят о достаточной, или вычислительной, стойкости системы (шифр при этом теоретически вскрываем, но стоимость его вскрытия во временном и ресурсном выражении превышает стоимость исходных данных). При этом требования к абсолютно стойкой системе соблюдаются на столько, чтобы сохранялась практическая ценность криптосистемы.

В приложении к практике требования трактуются следующим образом:

- ключ необходимо менять на столько часто, на сколько это возможно при практическом использовании;

- при генерации ключей должны использоваться случайные (псевдослучайные) последовательности;

- стойкость криптосистемы тем выше, чем длиннее используется ключ (при прочих равных).

Так, используя метод атаки по сторонним каналам с доступом к системе, на которой выполнялось шифрование исходного текста (что, по сути не возможно в реальности и указывает лишь на концепт), Даг Арне Освик, Ади Шамир и Эран Трумер вскрыли ключ уже после 800 операций шифрования [5], что подтверждает постулат о необходимости частой смены и случайности ключа.

Для генерации случайных чисел в программировании используются генераторы псевдослучайных чисел (ГСПЧ) представляющие собой алгоритмы, имеющие результатом своей работы последовательность чисел, элементы которой почти независимы друг от друга и подчиняются заданному распределению. Естественно, что результат любого детерминированного алгоритма не может являться абсолютно случайным. На текущий момент лучшие алгоритмы имеют длину цикла, в рамках которого числа не повторяются, порядка  $2^n$ , где  $n$  - битность внутреннего состояния генератора, что недостаточно для массового использования в качестве генератора ключей.

Для генерации абсолютно случайных последовательностей используются ГСПЧ с внешним источником энтропии, который служит для "раскрутки" генератора, и снятия его детерминированности. В качестве источника энтропии могут использоваться любые

предположительно случайные процессы или характеристики. В частности, в PGP для данных целей используется движение мыши пользователем.

Одним из перспективных направлений является использование в качестве источника энтропии значения физических свойств объектов: температура микросхемы, шум звуковой карты, счетчик тактов процессора. С точки зрения использования в компактных устройствах наиболее подходит использование температуры микросхемы устройства, как наиболее случайного значения. В качестве алгоритма преобразования целесообразно использовать алгоритм на основе LFSR, как наиболее распространенный и зарекомендовавший себя как достаточно надежный.

### 1.3. Создание рекомендаций к устройству

Исходя из функционального назначения устройство должно удовлетворять следующим требованиям:

- устройство должно быть выполнено в универсальном факторе и обладать распространенным интерфейсом подключения;
- устройство должно иметь возможность использования без доп. оборудования, то есть, на нем должны присутствовать элементы управления и отображения информации, а также, источник питания; реализация данных требований позволит использовать устройство без привязки к определенным информационным системам - хранить можно будет и те данные, которые вводятся только вручную;
- устройство должно поддерживать стандартные протоколы обмена данными для минимизации необходимости использования дополнительного ПО;
- устройство должно обеспечивать надежное хранение ключевой информации (как простых пар логин-пароль, так и различных ключей, например, для реализации PGP кошелек), а также иметь возможность использования в качестве аппаратного токена; это позволит обеспечить максимальную безопасность от неавторизованного доступа к данным;
- используемые программно-аппаратные средства должны позволять дорабатывать устройство под использование новых технологий, в том числе, реализовывать алгоритмы OTP (one time password) на основе стандартов (например, HOTP, TOTP), что позволит модернизировать устройство, постоянно наращивая его функциональность.

С целью достижения указанных функциональных требований, а также учитывая настоящие изыскания, устройство должно соответствовать ряду параметров:

- реализация на мобильной энергоэффективной платформе (архитектура ARM);
- базовое ПО (операционная система) реального времени на основе продуктов с открытым исходным кодом;
- наличие дисплея и клавиш управления;
- реализация генератора случайных чисел с источником энтропии от температуры ЦП;
- реализация поточного шифрования симметричным шифром защищенных данных.

### **2.1 Исследование схемотехнических решений по реализации требований к устройству универсальной аутентификации**

Исходя из выработанных в разделе I рекомендаций, устройство должно обладать распространенным форм-фактором и интерфейсом подключения. Нас сегодняшний день устройства подобного класса, как правило, представляют собой компактные брелоки. Часто конечный вид определяют реализованные интерфейсы. Существующие устройства условно можно разделить на требующие непосредственный физический контакт для передачи аутентификационных данных и использующие энергию электромагнитных полей (для простоты будем называть их проводные и беспроводные). В каждую из групп, в свою очередь, входят устройства с различными схемотехническими решениями. Наиболее распространенные из проводных это использующие RS-232 и USB порты. Среди без проводных наиболее распространены устройства, использующие технологии RFID (или подобную ей NFC) и Bluetooth. Данный выбор, в первую очередь, обусловлен жесткими требованиями к энергосбережению и автономности устройств. Проведем сравнение указанных интерфейсов по некоторым потребительским качествам.

Таблица 3.

Сравнительная характеристика распространенных интерфейсов устройств аутентификации

	Распространенность	Необходимость физического контакта	Энерго-эффективность	Защищенность	Физическая стойкость
<b>RS-232</b>	В массовой технике встречается редко, один из промышленных стандартов	Да	При подсоединении питается от ПК	Не создает дополнительной угрозы перехвата данных	Не переносит «горячего» отключения
<b>USB</b>	Повсеместно распространен	Да	При подсоединении питается от ПК	Не создает дополнительной угрозы перехвата данных	В зависимости от реализации обладает ресурсом от 1500 до 15000 циклов подключений
<b>RFID</b>	В ПК встречается крайне редко, требует специфичного приемника-передатчика	Нет	В зависимости от реализации использует энергию приёмника или собственный источник	Имеют потенциальную уязвимость, посредством которой может быть получен несанкционированный доступ к данным [3]	За счет деградации внутренних элементов выходит из строя в течении 3-5 лет
<b>Bluetooth</b>	Встречается повсеместно	Нет	Требует собственного источника энергии	Надежнее, чем RFID, но имеет ряд уязвимостей[4]	Достаточно надежен

Таким образом, по совокупности показателей наиболее перспективным показывается себя USB интерфейс. Сам по себе USB имеет на текущий момент несколько версий спецификаций. Наиболее распространены в настоящее время версия 2.0 и 3.0. Они отличаются, в частности, максимальной пропускной способностью, максимальными токами и количеством проводников [7]. С точки зрения универсальности версия USB 2.0 является оптимальной, так как распространена во всех сегментах персональной вычислительной техники, кроме того, имеет более простую конструкцию и совместима с USB 3.0, что делает её ещё более универсальной.

Версия USB 2.0 содержит в себе типоразмеры USB-A, USB-B, mini-USB, micro-USB. Хотя от типоразмера к типоразмеру повышается миниатюрность и физическая стойкость[6], целесообразно выбрать USB-A, как самый распространенный на ПК в текущее время.

Для отображения информации в автономном режиме устройство должно обладать дисплеем. При этом, дисплей должен предоставлять возможность отображения произвольного изображения (например, дерево папок носителя информации и их наименования). На сегодняшний день миниатюрные дисплеи производятся по нескольким технологиям, объединяемые в группы LCD и OLED дисплеев. По компактности и энергоэффективности вторые существенно превосходят первые, а стоимость именно миниатюрных дисплеев этих технологий сопоставима. Соответственно, в качестве средства отображения информации следует выбрать OLED дисплей.

Так как, согласно разработанным требованиям, устройство должно основываться на архитектуре ARM и работать под управлением свободно распространяемого ПО – оно должно представлять собой универсальный микрокомпьютер. Рассматривать конкурентные варианты не имеет смысла.

## **2.2 Разработка схемотехники устройства универсальной аутентификации**

Согласно исследованиям, по состоянию на 2009 на процессоры ARM приходилось до 90 % всех встроенных процессоров[3]. В настоящее время их доля ещё увеличилась. Процессоры ARM широко используются в потребительской электронике – в том числе КПК, мобильных телефонах, цифровых носителях и плеерах, портативных игровых консолях, калькуляторах и компьютерных периферийных устройствах, таких как жесткие диски или маршрутизаторы. Эти процессоры имеют низкое энергопотребление, поэтому находят широкое применение

во встраиваемых системах и преобладают на рынке мобильных устройств, для которых данный фактор немаловажен.

Для использования в миниатюрных устройствах ARM процессоры выпускаются в составе виде микроконтроллеров. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и ПЗУ. Использование в современном микроконтроллере достаточного мощного вычислительного устройства с широкими возможностями, построенного на одной микросхеме вместо целого набора, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость построенных на его базе устройств.

Требования к реализуемому устройству универсальной аутентификации накладывают определенные ограничения. Среди поддерживаемых интерфейсов должны быть такие, которые позволяют реализовать управление дисплеем и управление USB. По комплексу показателей для реализации выбран микроконтроллер STM32F103T8. Он включает высокопроизводительный ARM Cortex™ -M3 32-битный RISC процессор, работающий на частоте 72 МГц, высокоскоростное запоминающее устройство (флэш-память до 128 Кбайт и ОЗУ до 20 Кбайт), и расширенную поддержку устройств ввода-вывода. Кроме того, имеются два 12-битных АЦП, три 16-битных таймера общего назначения и один ШИМ таймер, а также стандартные и расширенные коммуникационные интерфейсы: I<sup>2</sup>Cs, SPI, USART, USB и CAN. Микроконтроллер рассчитан на работу при напряжении питания от 2,0 до 3,6 В и диапазоне температур от -40 до +85 С°.

Напряжение питания данного микроконтроллера хорошо согласуется с ЭДС химических элементов питания, но не совпадает с напряжением питания USB. Соответственно, устройство должно иметь в своем составе согласующий преобразователь (блок питания), который позволит питать устройство и заряжать его батарею при подключении к ПК.

Таким образом, устройство должно включать в себя микроконтроллер, дисплей, блок питания, клавиши управления и USB-A разъем версии 2.0.

### **Заключение**

В ходе работы были исследованы методы обеспечения конфиденциальности данных, определена целесообразность реализации устройства на базе программной реализации алгоритмов и процессора общего назначения, в качестве варианта реализации генератора случайных чисел выбран генератор на основе алгоритма LFSR, определены базовые требования и рекомендации к реализации устройства.

На основании рекомендаций к реализации было проведено определение необходимости наличия в устройстве определенных средств вычислительной техники и проведено сравнение возможных вариантов реализации.

### Список литературы:

1. Пихтулов А.А. «Обзор Bluetooth-атак на мобильные устройства, использующих уязвимости алгоритмов шифрования» // Технические науки в России и за рубежом: материалы междунар. науч. конф. (г. Москва, май 2011 г.). – М.: Ваш полиграфический партнер, 2011. – С. 20-22.
2. К. Шеннон «Теория связи в секретных системах» // Работы по теории информации и кибернетике / Перевод С. Карпова. – М.: ИЛ, 1963. – С. 243-322. — 830 с.
3. «An interview with Steve Furber» // Communications of the ACM, Май 2011, С. 34-39.
4. Viba, Erin "Does Your Car Key Pose a Security Risk?", PC World (14 февраля 2005).
5. Dag Arne Osvik; Adi Shamir and Eran Tromer "Cache Attacks and Countermeasures: the Case of AES" //Topics in Cryptology – CT-RSA 2006, The Cryptographers' Track at the RSA Conference. – Springer-Verlag, 2005. – P. 1–20.
6. USB 2.0 and USB 3.0 Full Size, Mini and Micro Connectors// Global Connector Technology. URL: <http://gct.co/usb-connectors/> (дата обращения: 25.04.2015)
7. USB Specifications// USB Implementers Forum. URL:<http://www.usb.org/developers/docs/> (дата обращения: 25.04.2015)

## 1.2. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ СВЧ НА ОДИНОЧНЫХ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВЫХ МЕМБРАНАХ С РАЗЛИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НЕСИММЕТРИЧНЫХ УГЛОВЫХ ЩЕЛЕЙ

**Копылова Наталья Алексеевна**

*аспирант кафедры Радиотехника  
Института инженерной физики и радиоэлектроники  
Сибирского федерального университета,  
РФ, г. Красноярск*

**Копылов Алексей Филиппович**

*канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Радиотехника  
Института инженерной физики и радиоэлектроники  
Сибирского федерального университета,  
РФ, г. Красноярск*

### EXPERIMENTAL STUDY OF MICROWAVE FILTERS ON SINGLE WAVEGUIDE-SLOTTED MEMBRANES WITH DIFFERENT ARRANGEMENT OF ASYMMETRIC ANGULAR SLOTS

**Natalia Kopilova**

*graduate student of the Radio Engineering Department  
of the Institute of Engineering Physics and Radioelectronics,  
Siberian Federal University,  
Russia, Krasnoyarsk*

**Aleksei Kopilov**

*candidate of technical sciences, associate professor,  
associate professor of the Radio Engineering Department  
of the Institute of Engineering Physics and Radioelectronics,  
Siberian Federal University,  
Russia, Krasnoyarsk*

**Аннотация.** В диапазоне частот 5...9 ГГц представлены результаты экспериментального исследования амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и частотных характеристик коэффициента стоячей волны напряжения (КСВН) входа трех СВЧ фильтров на волноводно-щелевых мембранах (ВЩМ), представляющих собой угловую щель, ширина которой вдоль широкой стенки волновода 35x15 мм равна 3 мм при длине 13 мм, вдоль узкой стенки – 1 мм при длине 15 мм. Фильтры имеют АЧХ типа полосового фильтра; добротность фильтров существенно зависит от их положения в волноводе.

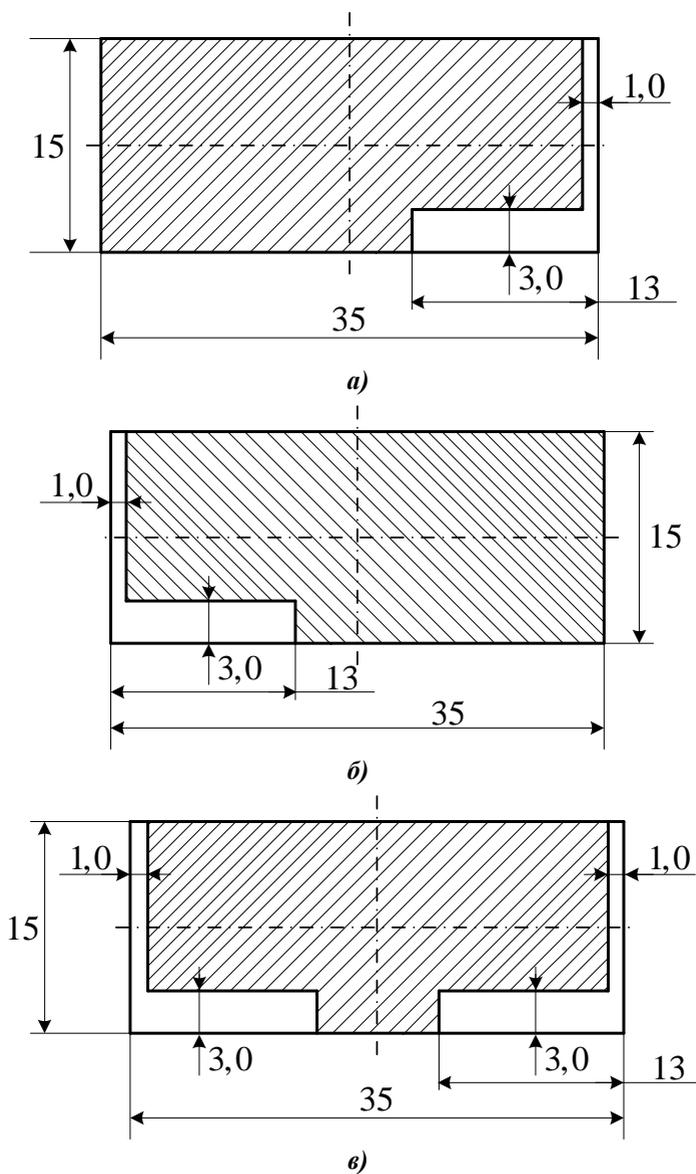
**Abstract.** Presentation the results of experimental studies of amplitude-frequency characteristics (AFC) and frequency characteristics of the standing wave voltage ratio (VSWR) of the input of three microwave filters in the frequency range 5 ... 9 GHz. The slot of the first filter is located close to the right narrow wall of the waveguide, the second one is close to the left narrow wall of the waveguide, the third filter has two slots located close to the right and left narrow walls of the waveguide. The frequency response of the filters shows a band-pass character.

**Ключевые слова:** СВЧ фильтры на ВЩМ.

**Keywords:** Microwave filters at waveguide-slot membranes.

Нами проведены экспериментальные исследования трех СВЧ фильтров, выполненных на волноводно-щелевых мембранах (ВЩМ) в диапазоне частот 5...9 ГГц. Рабочее сечение волновода для этого диапазона частот составляет 35x15 мм для основного типа распространяющейся вдоль него электромагнитной волны. Как и ранее в наших исследованиях [1, 2], волноводно-щелевые мембраны зажаты между двумя волноводно-коаксиальными переходами (ВКП) и расположены поперечно рабочему сечению волновода. В мембране каждого из фильтров выполнена угловая щель, имеющая несимметричную структуру: ширина щели вдоль широкой стенки волновода 35x15 мм равна 3 мм при длине 13 мм, вдоль узкой стенки – 1 мм при длине 15 мм. Расположение щели варьируется от одного фильтра к другому: щель первого фильтра расположена вплотную к правой узкой стенке волновода, второго – вплотную к левой узкой стенке волновода, третий фильтр имеет две щели, расположенные вплотную к правой и левой узким стенкам волновода. Таким образом, первый и второй фильтры являются однощелевыми, а третий фильтр является двухщелевым. Толщина мембран фильтров составляет около 0,25 мм.

На Рисунке 1 а), б), в) показаны топологии ВЩМ исследованных фильтров соответственно для первого, второго и третьего фильтров.



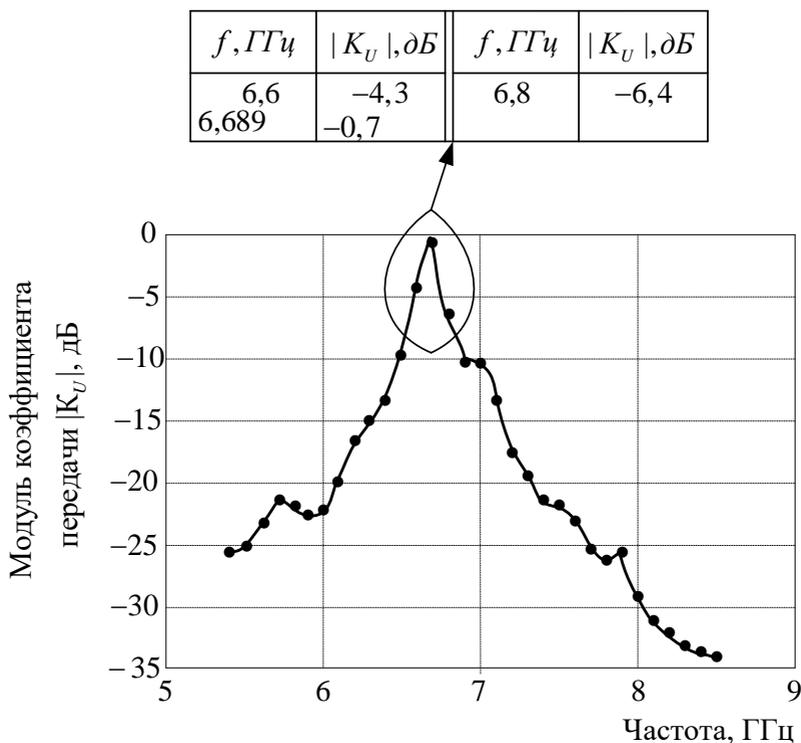
**Рисунок 1. Топологии ВЦМ исследованных фильтров:  
а) – первого; б) – второго; в) – третьего**

Для проведения измерений АЧХ и частотных характеристик КСВН входа, волноводно-щелевые мембраны фильтров были зажаты между входным и выходным ВКП, позволяющим подавать на фильтр входной СВЧ сигнал и снимать с фильтра выходной СВЧ сигнал на коаксиальные кабели стандарта “N”.

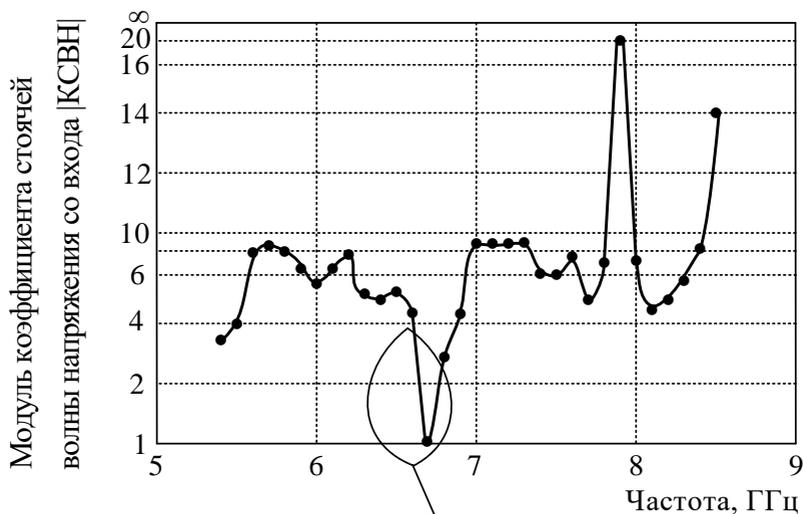
Целью проведенного исследования было определение тенденций изменения АЧХ и КСВН входа фильтров при изменении местоположения резонансной щели в рабочем сечении волновода.

Результаты исследований АЧХ и частотных характеристик КСВН входа первого фильтра, топология которого показана на Рисунке 1 а), представлены на Рисунке 2 а), б), соответственно.

На Рисунках 2 а), 3 а), 4 а) по вертикальной оси отложены величины коэффициента передачи по напряжению  $|K_U|$  в дБ; по горизонтальной оси на этих рисунках отложены значения рабочих частот в пределах 5...9 ГГц.



а)



$f, ГГц$	КСВН отн. ед.	$f, ГГц$	КСВН отн. ед.
6,6	4,3	6,8	2,95
6,689	1,086		

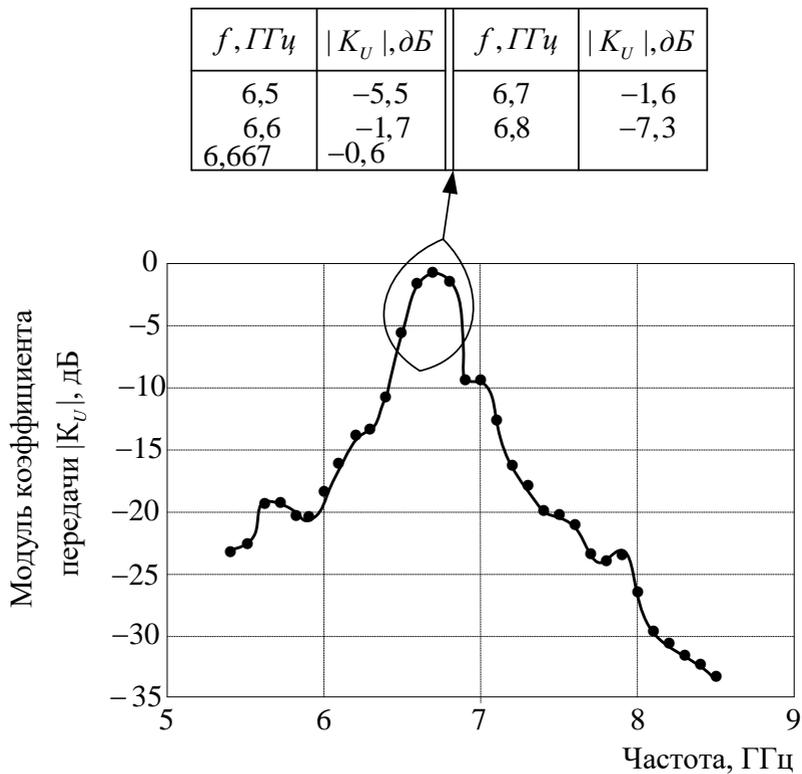
б)

**Рисунок 2. Экспериментальные частотные характеристики первого фильтра: а) – АЧХ; б) – КСВН входа**

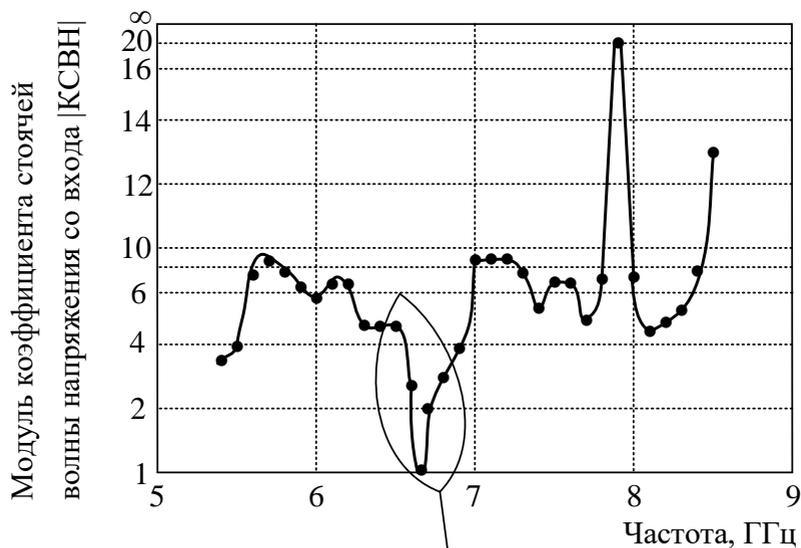
На Рисунках 2 б), 3 б), 4 б) по вертикальной оси отложены величины КСВН входа первого, второго и третьего фильтров в относительных единицах (раз); по горизонтальной оси – значения рабочих частот от 5 ГГц до 9 ГГц.

На всех рисунках 2...4 для удобства прочтения численных значений величин  $|K_U|$  и КСВН и соответствующих им частот, выполнены выносные таблицы (для  $|K_U|$  – вверх от рисунка частотной характеристики, для КСВН – вниз).

Результаты исследований АЧХ и частотных характеристик КСВН входа второго фильтра, топология которого показана на Рисунке 1 б), представлены на Рисунке 3 а), б), соответственно.



a)

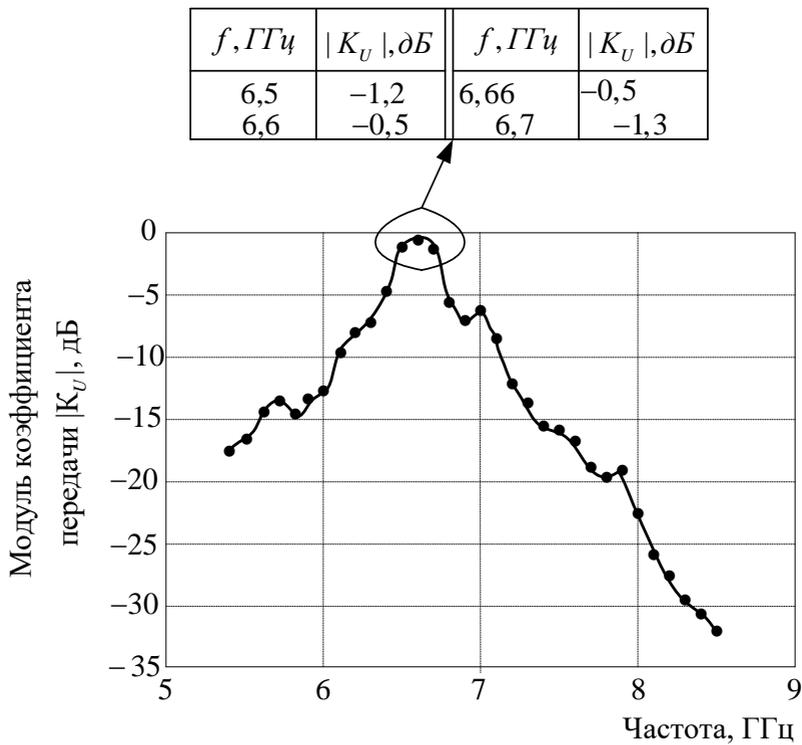


$f, ГГц$	КСВН отн. ед.	$f, ГГц$	КСВН отн. ед.
6,5	4,7	6,7	2,0
6,6	2,7	6,8	3,0
6,667	1,073		

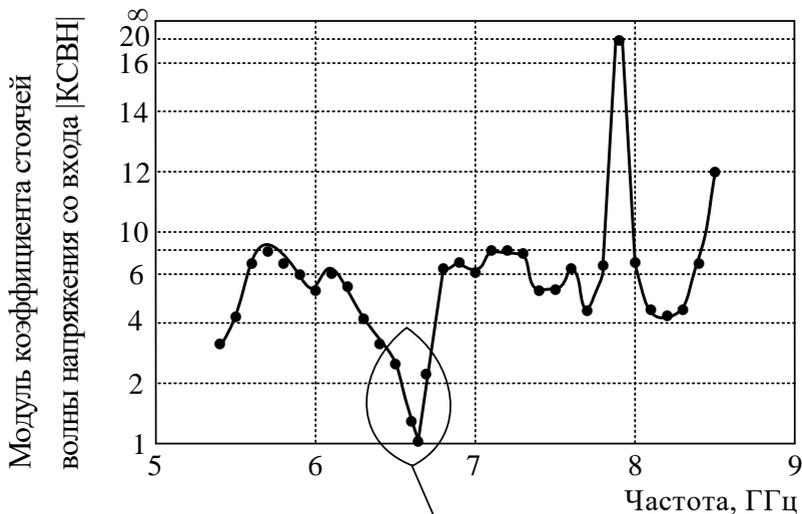
б)

**Рисунок 3. Экспериментальные частотные характеристики второго фильтра: а) – АЧХ; б) – КСВН входа**

Результаты исследований АЧХ и частотных характеристик КСВН входа третьего фильтра, топология которого показана на Рисунке 1 в), представлены на Рисунке 4 а), б), соответственно.



a)



$f, ГГц$	КСВН отн. ед.	$f, ГГц$	КСВН отн. ед.
6,5	2,7	6,66	1,088
6,6	1,37	6,7	2,3

б)

**Рисунок 4. Экспериментальные частотные характеристики третьего фильтра: а) – АЧХ; б) – КСВН входа**

Как показывают проведенные измерения, все три фильтра представляют собой полосно-пропускающие фильтры. Сравнение АЧХ фильтров позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшей добротностью обладает первый фильтр, угловая щель которого расположена вплотную к правой узкой стенке волновода;
- добротность второго фильтра явно хуже добротности первого;
- наихудшей добротностью обладает третий, двухщелевой фильтр;
- резонансные частоты фильтров очень близки и попадают в диапазон значений от 6,689 ГГц у первого фильтра до 6,6...6,66 ГГц у третьего фильтра.

Существенные различия между АЧХ первого и второго фильтров явились для нас неожиданными, так как мы полагали, что симметричные структуры должны иметь идентичные АЧХ. Вероятно, это можно объяснить неидентичностью выполнения щелей в мембранах при изготовлении.

АЧХ третьего фильтра, как мы полагаем, является некоей комбинацией АЧХ первого и второго фильтров, включенных параллельно между собой.

Что касается частотных характеристик КСВН входа фильтров, то они, на наш взгляд, не имеют существенных особенностей и полностью соответствуют частотным характеристикам  $|KU|$ , то есть, максимальным величинам  $|KU|$  соответствуют минимальные величины КСВН входа фильтров, как и следует тому быть в фильтрующих системах отражающего типа.

Мы полагаем, что полученные результаты будут использованы при создании ВЦМ-фильтров с новыми топологическими параметрами, позволяющими оптимизировать их частотные характеристики.

### Список литературы:

1. Копылов А.Ф. Экспериментальное исследование частотных характеристик волноводно-щелевых мембран (ВЦМ) и многосвязных фильтров на их основе в сантиметровом диапазоне длин волн / А.Ф. Копылов, Н.А. Копылова / [Электронный ресурс] Междунар. научн. журнал: Уникальные исследования XXI века: материалы объемных статей и коллективных монографий Общества Науки и Творчества за январь 2015. Под общ. Ред С.В. Кузьмина. - Казань, № 1 (1), 2015. ISSN 2409-1723. С. 129-181. режим доступа: <http://perechen-izdaniy.ru/entity/unikal-nye-issledovaniya-xxi-veka>
2. Копылов А.Ф. Экспериментальные частотные характеристики восьмизвенных СВЧ фильтров на волноводно-щелевых мембранах со щелями 1 и 22 мм / Н.А. Копылова, А.П. Басков, А.Ф. Копылов, Н.А. Алексеева / Электронный сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, «Перспектив Свободный-2016», посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств. – Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г. – Секция «Радиоэлектронные системы локации, навигации и управления». – С. 21-24. – Режим доступа: <http://nocmu.sfu-kras.ru/digest2016/src/title.pdf>; (Дата обращения 18.10.2016).

## УМЕНЬШЕНИЕ ПИК-ФАКТОРА OFDM СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ОКОННОЙ ФУНКЦИИ ХЭММИНГА

*Пукса Артём Олегович*

*аспирант, Омский государственный технический университет,  
РФ, г. Омск*

## REDUCTION OF PEAK FACTOR OFDM SIGNAL USING A HAMMING WINDOW FUNCTION

*Artem Puxa*

*graduate student, Omsk State Technical University,  
Russia, Omsk*

**Аннотация.** В статье рассматривается OFDM модуляция, области её применения, преимущества и недостатки. Представлены результаты моделирования мягкого ограничения сигнала с OFDM модуляцией с помощью оконной функции Хэмминга для понижения пик-фактора сигнала.

**Abstract.** The article deals with OFDM modulation, its applications, advantages and disadvantages. The results of the simulation of soft clipping with OFDM modulation using a Hamming window function to reduce the crest factor signal.

**Ключевые слова:** OFDM модуляция; пик-фактор; оконная функция; мягкое ограничение; окно Кайзера.

**Keywords:** OFDM modulation; crest factor; window function; soft limit; the Hamming window.

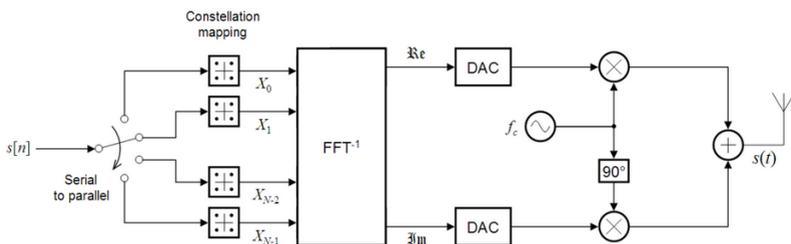
OFDM (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing – ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием) – это цифровая схема модуляции, которая использует большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания. Патент на изобретение данного метода был получен в 1970 году Робертом Чэнгом.

OFDM является одним из популярных способов формирования сигнала, который используется для проектирования систем высокоскоростной передачи данных. В настоящее время данная технология используется в следующих стандартах связи:

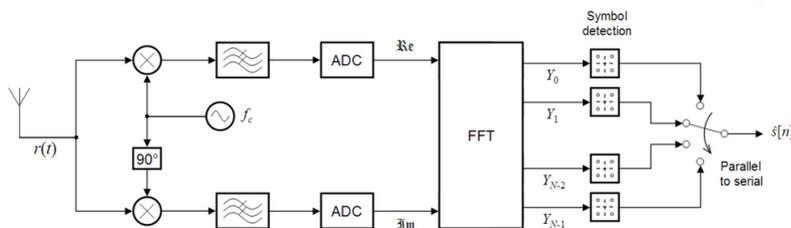
- Стандарты кабельного цифрового телевидения DVB-C и DVB-C2;
- Наземные системы цифрового телевидения DVB-T, DVB-T2;
- Наземные системы мобильного телевидения DVB-H, DVB-T2, T-DMB, ISDB-T;
- система цифрового радиовещания DRM;
- беспроводные системы связи стандарта LTE;
- беспроводные системы связи стандартов IEEE 802.16 (WiMAX), IEEE 802.20, IEEE 802.16e (WiBro), IEEE 802.15.3a. [1, 3, 5]

На рисунках 1 и 2 представлены типовые схемы приёмника и передатчика OFDM сигнала.

Сигнал каждого подканала модулирован по фазе и амплитуде. Соответственно суммарный сигнал OFDM должен усиливаться высоколинейным усилителем и без искажений (клипирования) передавать максимальные, пиковые значения суммарного сигнала. Пиковые значения сигнала OFDM в несколько десятков раз выше уровня среднего значения сигнала.



**Рисунок 1. Передатчик OFDM**



**Рисунок 2. Приёмник OFDM**

Одним из главных недостатков OFDM систем является высокий пик-фактор передаваемых сигналов. Он возникает из-за того, что OFDM сигнал состоит из большого числа независимо модулированных по амплитуде и фазе гармоник. При их когерентном (или квазикогерентном) сложении возникают «пики» огибающей, которые характеризуются величиной PAPR (Peak-to-AveragePowerRatio), т.е. отношения пиковой мощности сигнала к его средней мощности. Данный эффект, если с ним не бороться, требует увеличения динамического диапазона устройств АЦП, ЦАП и выходного усилителя мощности. Это приводит к их неоправданному усложнению, а значит, увеличению стоимости аппаратуры в целом. PAPR является основным параметром, определяющим уровень межканальных помех. Для систем OFDM это самый уязвимый показатель. Поэтому эффективное решение проблемы уменьшения PAPR позволит значительно расширить область практического применения OFDM технологии в сотовых системах связи и облегчить их сосуществование с другими технологиями. [2, 4, 5]

Пик-фактор сигнала равен отношению максимальной мгновенной мощности сигнала к его средней мощности. В общем случае определяется как:

$$PAPR = \frac{\text{MAX}(S_k^2)}{\sum_k S_k^2}$$

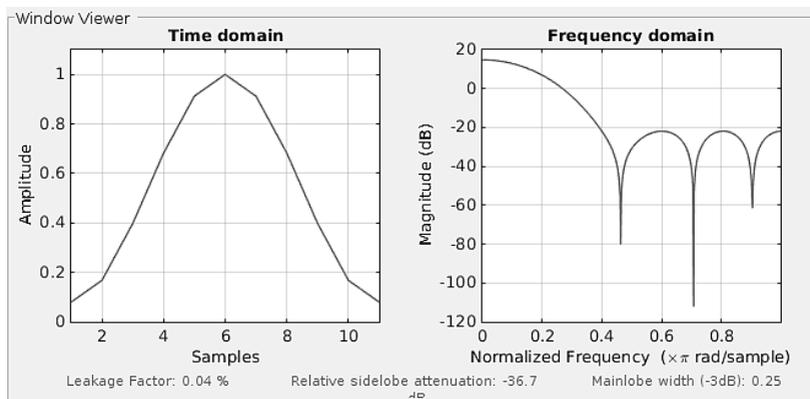
где  $\text{MAX}(S_k^2)$  - максимум дискретизированного сигнала по отсчётам,  
 $S_k$  -  $k$ -ый отсчёт сигнала.

Окно Хэмминга является окном высокого разрешения. Описывается выражением:

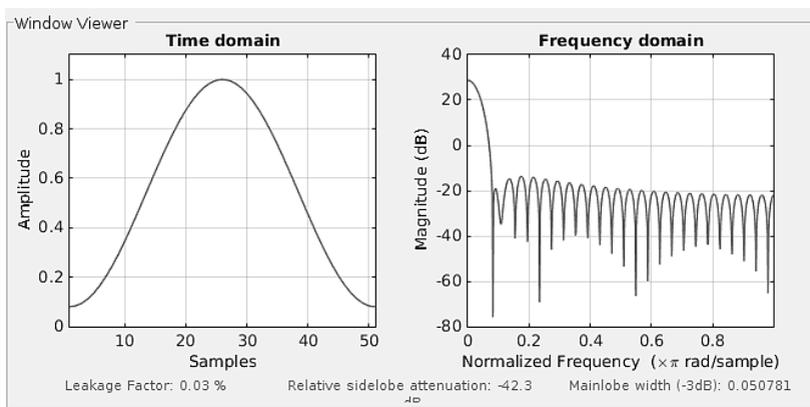
$$w(n) = 0.53836 - 0.46164 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$$

При длине окна в 51 отсчёта коэффициент утечки окна равен 0,03 %, уровень боковых лепестков -42,3 дБ, а ширина окна на уровне -3дБ составляет 0,050781.

На рисунках 3 и 4 изображено представление окна Хэмминга длиной 11 и 51 во временной области и его амплитудный спектр.



**Рисунок 3. Окно Хэмминга при длине окна равной 11**



**Рисунок 4. Окно Хэмминга при длине окна равной 51**

Моделирование производится в разработанной программе. Расчёт производится для различных длин окна – от 3 до 51 отчёта.

Результаты моделирования представлены на рисунках 5, 6, 7.

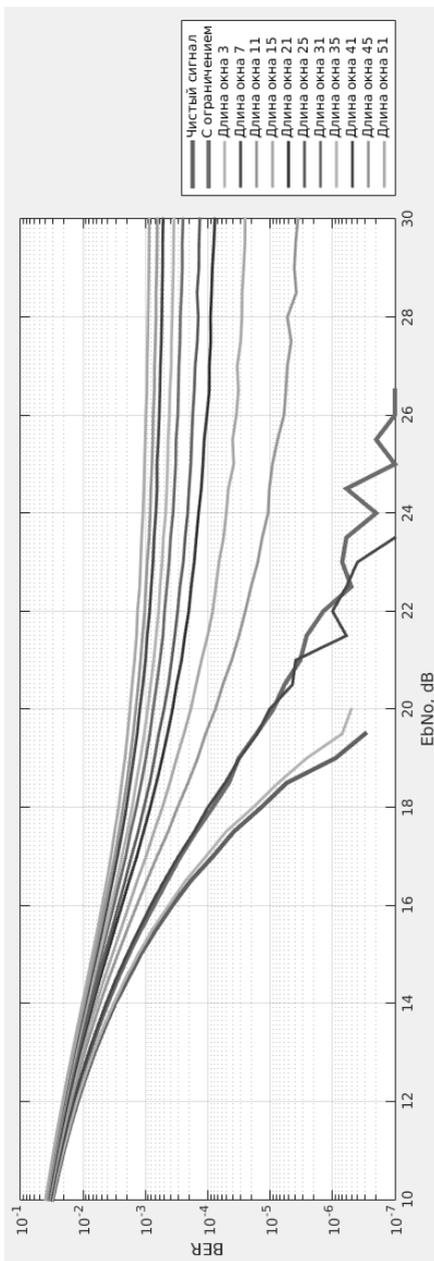


Рисунок 5. Помехоустойчивость системы

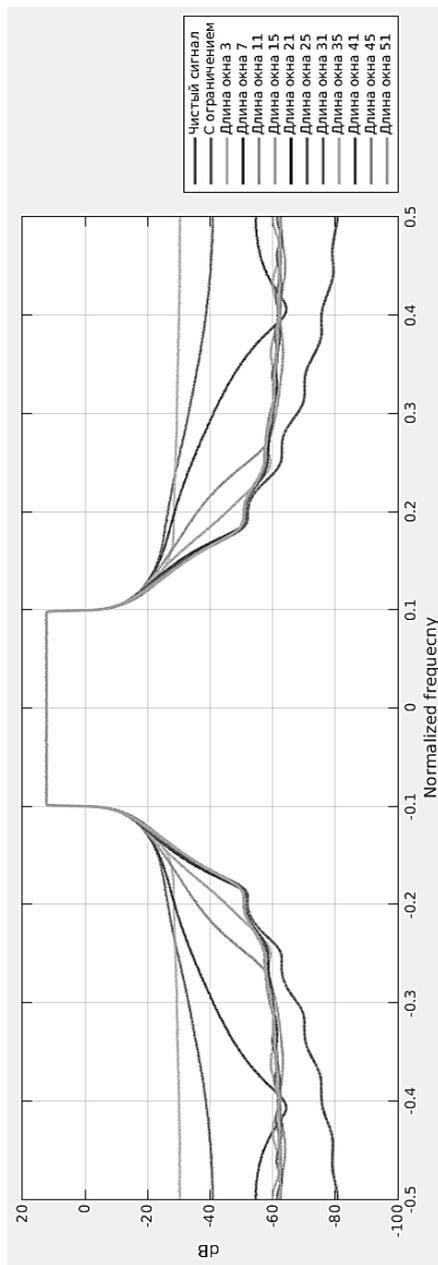
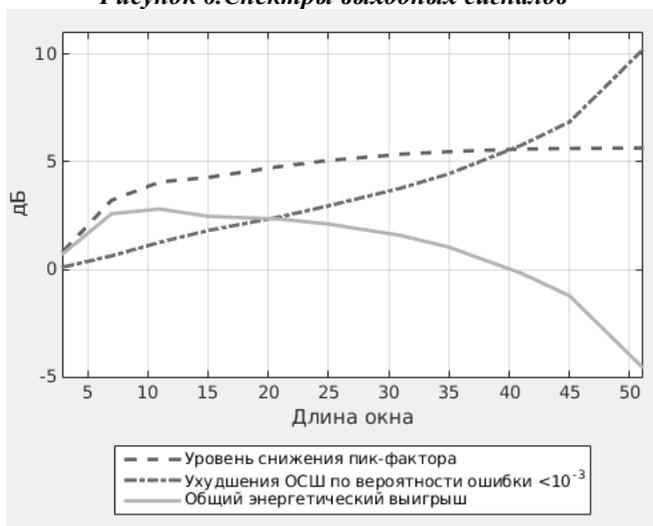


Рисунок 6. Спектры выходных сигналов

**Рисунок 6. Спектры выходных сигналов**



**Рисунок 7. Результат моделирования**

Максимальный выигрыш достигается при длине окна равной 11 и составляет 2,81 дБ, т.е. в 1,91 раза. При этом уровень внеполосного излучения составляет -35,8 дБ.

### Список литературы:

1. Шахнович И.В., Современные технологии беспроводной связи.// Изд. 2-е, исправленное и дополненное, М., «Техносфера», 2006. – 288 с.
2. Bahai A., Multi-Carrier Digital Communications - Theory and Applications of OFDM – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 216 с.
3. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. [Электронный ресурс], режим доступа: <http://standards.ieee.org/> (дата обращения: 15.11.2016)
4. Prasad R., OFDM for wireless communication systems – Artech House, 2004. – 289 с.
5. Rohling H., OFDM. Concepts for Future Communication System – Springer, 2011. – 268 с.

### 1.3. ТРАНСПОРТ

#### РАЗРАБОТКА ГРАФИКА СМЕННОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ ПО МАРШРУТУ

***Костенко Анастасия Александровна***

*аспирант, Академия строительства и архитектуры ДГТУ,  
РФ, г. Ростов-на-Дону*

***Еремина Любовь Валерьевна***

*канд. экон. наук, доцент,  
Академия строительства и архитектуры ДГТУ,  
РФ, г. Ростов-на-Дону*

#### THE SCHEDULING OF SHIFT DRIVERS ON THE ROUTE

***Anastasiya Kostenko***

*postgraduate student,  
Academy of construction and architecture of Don State Technical University,  
Russia, Rostov-on-Don*

***Lubov Eremina***

*candidate of economics, associate professor,  
Academy of construction and architecture of Don State Technical University,  
Russia, Rostov-on-Don*

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам составления режима труда и отдыха водителей в соответствии с международной конвенцией (ЕСТР) и с учетом графика сменности водителей. Даны рекомендации по составлению графика сменности водителей.

**Abstract.** The article is devoted to drafting work and rest of drivers in accordance with the International Convention and the schedule shift drivers. The recommendations for scheduling shift drivers.

**Ключевые слова:** график сменности; автотранспортное средство; международная конвенция; двухсменный график работы; еженедельный отдых; водитель.

**Keywords:** the schedule of shift; the vehicle; the International Convection; two - shift work schedule; the weekly rest; a driver.

Транспорт является одной из главных отраслей любого государства, важнейшим фактором эффективного развития экономики. Актуальность данной статьи заключается в том, что в целях повышения конкурентоспособности автотранспортные предприятия сокращают режим труда и отдыха водителей, нарушая международную конвенцию ЕСТР, что приводит к сокращению времени доставки груза. Это влечет за собой рассеивание внимания водителя и увеличение времени реакции на дорожную ситуацию. В результате чего возникает дорожно-транспортное происшествие.

Грузовой подвижной состав в состоянии перевозить товар «от двери до двери», избавляя отправителя от необходимости лишних перевозок. Грузовой подвижной состав – рентабельный вид транспорта для перевозки на короткие расстояния.

Основной категорией рабочих на автомобильном транспорте являются водители, которые испытывают нервно – эмоциональную перегрузку. Процесс управления транспортным средством представляет собой сложный комплекс различных действий, отображение различных параметров системы водитель – автомобиль – среда движения; интеллектуальных – осмысливание полученной информации и сопоставление ее с уже имеющейся информацией.

График сменности для водителей представляет собой документ, отображающий учет времени работы водителей. Главное правило, которое предъявляется при составлении этой бумаги – время работы водителей, которое измеряется в часах, не должно превышать максимальной продолжительности рабочей смены; при этом общее количество смен (при суммированном учете рабочего времени) должно обеспечивать соблюдение норм рабочего времени за учетный период.

Общее правило гласит: в течение одной смены без перерыва водитель может управлять автомобилем не более 9 часов. Однако если в организации введен суммированный учет рабочего времени, то управлять автотранспортным средством водитель без перерыва может до 10 часов в смену, но не более 2 раз за одну неделю.

В рабочее время водителей будет включаться не только промежуток, в течение которого они управляют автотранспортным средством, но и

тот временной отрезок, когда они отдыхают, подготавливают транспорт к выезду, проходят медосмотр, ожидают погрузки и т.д.

В графике сменности должны быть разъяснения о том, сколько:

1. рабочих смен было в месяце;
2. составляет продолжительность одной смены;
3. длится перерыв отдыха;
4. имеется работающих водителей;
5. составляет норма рабочего времени.

Далее в графике, как правило, представляется таблица, которая фиксирует режим рабочего времени и отдыха для водителей. Она состоит из следующих граф:

- указание на смены (1,2,3 и т.д.)
- время выезда на маршрут;
- время окончания смены;
- перерыв, который используется для отдыха и питания;
- время возвращения с маршрута;
- окончание смены.

График сменности для водителей, осуществляющих международные перевозки, осуществляется по регламенту ЕСТР и с соблюдением схемы графика сменности водителей.

ЕСТР – это Европейское соглашение о работе экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки. Для облегчения понимания и чтения Европейского соглашения подготовлен сводный вариант этого Соглашения, в который были включены соответствующие поправки, принятые с момента его заключения.

Согласно регламенту (по ЕСТР) относительно соблюдения водителями автотранспортных средств режима работы/отдыха, продолжительность управления транспортом в течение суток не может превышать девяти часов (Ст. 6.1 ЕСТР).

Продолжительность управления автотранспортом дважды на протяжении любой недели может быть увеличена до десяти часов (Ст. 6.1 ЕСТР).

После того, как водитель управлял транспортным средством на протяжении 4,5 часов, он обязан сделать перерыв, который не может быть меньше 45 минут, если период отдыха еще не наступил (Ст. 7.1 ЕСТР).

Перерыв длиной сорок пять минут разрешается заменить отдыхом, продолжительностью не меньше пятнадцати минут каждый, распределенным во время периода управления или после его завершения.

После ежедневных шести периодов управления водителю обязаны предоставить еженедельный отдых (Ст. 8.3 ЕСТР).

Еженедельный отдых можно отложить до конца шестого дня. При условии, что продолжительность управления за все дни не превысила максимального времени, и оно в сумме соответствует шести ежедневным периодам управления автотранспортом (Ст. 6.2 ЕСТР).

Водителю в течение двадцати четырех часов должен предоставляться ежедневный непрерывный отдых, при этом его продолжительность не может быть меньше одиннадцати часов. Период непрерывного отдыха разрешается сокращать до девяти часов, но не больше трех раз на протяжении любой одной недели, но при условии, что в качестве компенсации не позже конца будущей недели водителю будет предоставлен отдых, имеющий эквивалентную продолжительность (Ст. 8.1 ЕСТР). Продолжительность отдыха разрешается разбить на два-три периода на протяжении двадцати четырех часов, при условии, что один из них составит не менее восьми непрерывных часов. В данном случае продолжительность отдыха водителя в течение суток требуется увеличить до двенадцати часов (Ст. 8.1 ЕСТР). Любой случай сокращения периода отдыха должен компенсироваться равным по времени отдыхом, если оно полностью используется не позже конца третьей недели, следующей за данной неделей (Ст. 8.3 ЕСТР). Период отдыха, который начался в течение одной недели, а затем продолжился на протяжении следующей, разрешается присоединять к одной из этих двух недель (Ст. 8.4 ЕСТР).

Любой отдых, предоставляемый в качестве компенсации за сокращение по каким-либо причинам периода отдыха ежедневного и/или еженедельного, обязательно должен быть присоединен к другому периоду отдыха, длительность которого не может быть меньше восьми часов, и предоставляется согласно просьбе водителя в месте его прописки или стоянки автотранспортного средства (Ст. 8.6 ЕСТР).

Если на протяжении каждых тридцати часов управляли транспортным средством не менее двух водителей, то у каждого из них должен быть период отдыха, имеющий продолжительность не меньше последовательных восьми часов (Ст. 8.2 ЕСТР).

Таким образом, исходя из международной конвенции ЕСТР и с учетом графика сменности водителей по маршруту, составим таблицу 1.

Таблица 1.

**Вариант графика сменности водителей в течение рабочей недели  
на маршруте**

День недели	Водитель	Продолжительность, ч	График								Итого, ч
			4:30	0:45	4:30	0:15					
ПН	1	9	4:30	0:45	4:30	0:15					24
	2	10	4:30	0:45	3:00	0:45	2:30	1:00	2:30		
ВТ	1	10		4:30	0:45	3:00	0:45	2:30	0:15		24
	2	9	5:30	4:30	0:45	1:30					
СР	1	9			4:30	0:45	4:30	0:15			24
	2	10	3:00	8:00	3:00						
ЧТ	1	10					8:00	4:30	0:45	2:15	24
	2	9	0:45	4:30	0:45	2:30					
ПТ	1	9	0:45	3:15	0:15		8:00	2:00			24
	2	9	4:30	0:45	4:30						
СБ	1	9	2:30	0:45	4:30	0:15					24
	2	9	4:30	0:45	4:30						
ВС	1	ОТДЫХ									
	2										
Общее время	1	47									
	2	47									

Исходя из вышеизложенного, следует вывод: двухсменный график работы в определенной мере нарушает обычный ритм труда и бодрствования водителя. Сверхурочные часы работы, недостаточная продолжительность сна перед сменой, крайне малые по продолжительности перерывы для отдыха и обеда водителя сказываются на состоянии его здоровья, работоспособности и безопасности движения. Поэтому одной из важней задач является правильная организация труда водителей. Соблюдение работодателями всех условий конвенции ЕСТР не нарушает режима труда и отдыха водителей.

### Список литературы:

1. Беспалов Р.С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки / Беспалов Р.С. - М.: «Вершина», 2008. - С. 317.
2. Еремина Л.В. Международные автомобильные перевозки: [учебное пособие] / Еремина Л.В.; М-во образования и науки РФ, Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов – на – Дону: РГСУ, 2013. – 236 с.
3. Европейское соглашение, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР) (Женева, 1 июля 1970 г.) / сводный текст [Электронный ресурс] - URL: <http://base.garant.ru> (дата обращения 30.01.2017)

## 1.4. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ АЭРОЗОЛЕЙ НА КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Лаптев Анатолий Григорьевич*

*д-р техн. наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный  
энергетический университет» – КГЭУ,  
РФ, г. Казань*

*Башаров Марат Миннахматович*

*канд. техн. наук, директор по техническому обслуживанию  
и инжинирингу ОАО «ТАНЕКО»,  
РФ, г. Казань*

### COMPARATIVE EFFICACY OF CLEANING SPRAYS GAS ON CONTACT DEVICES OF VARIOUS DESIGNS

*Anatoliy Laptev*

*doctor of technical sciences, professor,  
“Kazan State Power Engineering University” –KSPEU,  
Russia, Kazan*

*Marat Basharov*

*candidate of technical sciences,  
director of maintenance and engineering JSC “TANECO”,  
Russia, Kazan*

**Аннотация.** Рассмотрена актуальная задача очистки газов от аэрозольных частиц. На основе применения теории турбулентной миграции частиц и ячеечной модели структуры потоков получены выражения для расчета профиля концентрации частиц по длине канала и эффективности турбулентной сепарации. Выполнены расчеты пяти

типов контактных устройств и сделаны выводы о наиболее эффективных конструкциях.

**Abstract:** The current task of purification of gases from aerosol particles. On the basis of applying the theory turbulent migration of particles and cell structure of the model flows expressions for calculation of particle concentration profile along the channel and the efficiency of turbulent separation. Calculations of the five types of contact devices and conclusions on the most effective designs.

**Ключевые слова:** турбулентная миграция; аэрозоли; газосепараторы; эффективность разделения.

**Keywords:** turbulent migration; aerosols; gas separators; the separation efficiency.

**Введение.** Аппараты для очистки газов и паров от твердых и жидких механических включений являются важной составляющей частью при комплектовании технологической аппаратуры в различных отраслях промышленности и ТЭС.

Разнообразие условий работы установок и требований по очистке вызывают необходимость в создании новых конструкций газоочистительной аппаратуры и совершенствовании методов расчета их эффективности. К настоящему времени накоплен определенный опыт решений этих сложных задач. В многочисленных обзорах приводятся результаты наиболее интересных зарубежных и отечественных работ в этой области. За последние 10 - 15 лет опубликовано несколько монографий (М.Г. Зиганшина, Е.В. Сугак, А.А. Колесника, Н.А. Николаева, М.И. Фарахова, Н.А. Войнова и др.) [1-3] и справочной литературы (В.С. Швыдкий, Л.П. Холпанов, Галустов В.С., Ладыгичев М.Г. и др.) [4,5]. При преобладающих механизмах турбулентного и градиентного переноса используются полуэмпирические подходы и модели: Дейча М.Е., Ужова В.Н., Соу С., Медникова Е.П., Lui Y.H., Фукса Н.А., Sehmel G.A., Montgomery T.L. и др [1,3,6,7].

#### ***Модель переноса аэрозолей***

Если пренебречь молекулярной диффузией за пределами пограничного слоя, то основными составляющими механизма переноса становятся: перемешивания за счет общих турбулентных вихрей сплошной фазы, за счет общих турбулентных вихрей малых масштабов (обусловленных стохастическим движением дисперсной фазы относительно сплошной) и продольного перемешивания за счет значительной циркуляции в сплошной фазе. При небольших

концентрациях ( $<0,2 \text{ кг/м}^3$  или  $<2 \%$ , об.) частиц преобладающим является первая составляющая переноса.

Турбулентная миграция представляет собой форму поперечного движения частиц в сдвиговом турбулентном потоке. Эта форма, открытая Фортье, Флетчером и независимо от них Медниковым, имеет в механике аэрозолей фундаментальное значение[6].

Скорость турбулентной миграции является мерой интенсивности осаждения частиц из турбулентного потока газа на стенки канала,  $u_t = j / C_\infty$ , где  $j$  – поток частиц,  $\text{кг/м}^2\text{с}$ ;  $C_\infty$  – концентрация частиц,  $\text{кг/м}^3$ . В обобщении результатов экспериментов часто используется безразмерный эквивалент скорости осаждения  $u_t = u_t / u_*$ , где  $u_*$  – динамическая скорость на стенке или межфазной поверхности,  $\text{м/с}$ .

При обтекании газа с дисперсными частицами контактных элементов на поверхности сепарируется дисперсная фаза за счет различных механизмов. При сепарации жидкого аэрозоля на поверхности контактных элементов будет образовываться пленка.

Можно отметить ряд эмпирических и полумэмпирических зависимостей [1,6] для расчета приведенной скорости турбулентного

осаждения частиц  $u_t^+ = \frac{u_t}{u_*}$ , связанных со временем релаксации скорости частиц:

$$\tau_p = \frac{d_q^2 \rho_q}{18 \rho_r \nu_r}, \quad (1)$$

где  $d_q$  – диаметр частиц,  $\text{м}$ ;  $\rho_q, \rho_r$  – плотность частиц и газа,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\nu_r$  – кинематическая вязкость газа,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Безразмерное время релаксации записывается в виде:

$$\tau^+ = \frac{\tau_p u_*^2}{\nu_r}. \quad (2)$$

В результате обобщения многочисленных экспериментальных данных различных авторов получено[6]

при  $\mu_p^2 \tau^+ \leq 16,6$

$$u_t^+ = 7,25 \cdot 10^{-4} \left( \frac{\tau^+}{1 + \omega_E \tau_p} \right)^2, \quad (3)$$

при  $\mu_p^2 \tau^+ > 16,6$

$$u_t^+ = 0,2, \quad (4)$$

где безразмерный параметр  $\mu_p = 1 / (1 + \omega_E \tau_p)^{0,5}$ ;

$\omega_E = u_* / (0,05 d_s)$  - частота энергоемких пульсаций,  $\text{с}^{-1}$ ;  $d_s$  - эквивалентный диаметр канала, м.

### **Ячеечная модель**

Примем ячейчную модель с условным делением контактного устройства на ячейки полного перемешивания в направлении от входа в выходу аэрозоля. Число ячеек зависит от режимных и конструктивных характеристик контактного устройства и определяется экспериментально или с использованием полуэмпирических зависимостей. Обычно экспериментально [8] или расчетом с применением различных моделей [9], находится диффузионное число Пекле  $Pe = wl / D_n$ , где  $w$  - средняя скорость среды, м/с;  $l$  - характерный размер, м;  $D_n$  - коэффициент обратного (продольного) перемешивания, а затем с применением эквивалентной связи [8]

$$n = \frac{Pe^2}{2[Pe - 1 + \exp(-Pe)]} \quad (5)$$

вычисляется число ячеек  $n$ .

Запишем поток массы осаждаемых аэрозольных частиц в ячейке

$$M_i = G_i (C_{i-1} - C_i) / \rho_r, \quad (6)$$

$$M_i = u_i F_i C_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (7)$$

где  $G_i$  - массовый расход газа в ячейке, кг/с;

$C$  - концентрация аэрозольных частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_r$  - плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$F_i$  - площадь контакта (осаждения) в  $i$ -й ячейке,  $\text{м}^2$ .

Расход газа в канале принимается постоянным и равен расходу газа в ячейке. Из равенства потоков  $M_i$  запишем концентрацию аэрозоля в  $i$ -й ячейке

$$C_i = \frac{C_{i-1} G / \rho_r}{G / \rho_r + u_i F_i}, \quad (8)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ ; при  $i = 1$ ,  $C_0 = C_n$  – начальная концентрация аэрозоля на входе.

Выражение (8) является достаточно общим для контактных устройств различных конструкций при соответствующем определении параметров  $n, u_i$  и поверхности  $F_i$ .

Выражение (8) можно записать используя среднюю скорость газа  $w$  в канале контактного устройства. Для этого используем соотношения

$$w = G / (S \rho_r); F_i = a_i S H_i, \quad (9)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;

$a_i$  – удельная поверхность канала в  $i$ -й ячейке, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$H_i$  – длина ячейки, м. При одинаковом размере ячеек  $H_i = H / n$ ;

$a_i = a_v$ , где  $H$  – длина канала, м;

$a_v$  – удельная поверхность, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Тогда имеем

$$C_i = \frac{C_{i-1} w}{w + u_i a_v H / n}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Эффективности газосепарации в ячейке и в канале запишутся в форме

$$\eta_i = \frac{C_{i-1} - C_i}{C_{i-1}}; \eta_i = \frac{C_n - C_k}{C_n}. \quad (11)$$

С применением ячеечной модели суммарная эффективность газоочистки запишется по известному правилу

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n). \quad (12)$$

Тогда из выражений (10) – (12) получим

$$\eta = 1 - \left( 1 + \frac{u_r F \rho_r}{Gn} \right)^{-n} = 1 - \left( 1 + \frac{u_r a_v H}{wn} \right)^{-n}. \quad (13)$$

В результате имеем аналог выражения ячеечной модели из теории массопередачи с применением числа единиц переноса. Из выражения (13) следует: при  $n=1$  – модель идеального смешения, при  $n \rightarrow \infty$  – модель идеального вытеснения.

### Выводы

Для сравнения сепарационной эффективности рассмотрены сухие и орошаемые трубки при слабом и сильном взаимодействии с пленкой жидкости, а также закруткой потока и с мелкой насадкой [10-13].

В результате сделанных расчетов по выражению (13) сепарационной эффективности различных типов контактных устройств, можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным является использование орошаемых трубок с ленточными завихрителями. При длине трубки  $H=0,3$  м обеспечивается эффективность 99% при очистки газов от частиц  $\geq 3$  мкм. Перепад давления составляет 2500 Па при  $w=20$  м/с. Аналогичная эффективность обеспечивается при осевом движении газа в режиме сильного взаимодействия с пленкой жидкости, но при  $H=0,6$  м. Перепад давления составляет 2400 па. Самая высокая эффективность достигается при заполнении трубки мелкой хаотичной насадкой. Эффективность 99 % ( $d_v \geq 3$  мкм,  $w=20$  м/с) обеспечивается при  $H=0,2$  м, но перепад давления составляет около 20000Па.

Окончательный выбор конструктивного исполнения и режима работы должен выполняться после технико-экономического анализа всех вариантов промышленных условий эксплуатации аппаратов газоочистки [7,14-16].

### Список литературы:

1. Зиганшин М.Г. Системы очистки выбросов ТЭС – Казань: Казан. гос. энергет. ун-т, 2013. – 210 с.
2. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов. // Казань: Отечество, 2013.
3. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – 342 с.
4. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Эффективность теплообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса. Казань: Центр инновационных технологий, 2016. – 344 с.

5. Лаптев А.Г., Лаптева Е.А. Определение коэффициентов турбулентного перемешивания в одно- и двухфазных средах по модели Тейлора. // *Фундаментальные исследования*, 2015. – №2. – С. 2810- 2814.
6. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов: учебно-справочное пособие. // М.: «Теплотехник», 2011.
7. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Эффективность осаждения аэрозолей в газосепараторах различных конструкций // *Журнал прикладной химии*, 2013.– Т.86.– № 8.–С.1214-1219.
8. Лаптев А.Г., Башаров М.М., Исхаков А.Р. Эффективность сепарирующих контактных устройств в демистерах// *Газовая промышленность*, 2015.– № 11. –С. – 32-94.
9. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Башаров М.М. Основы энергосберегающей модернизации аппаратов разделения веществ // *Вестник ИГЭУ*, 2011. – №1.–С.17-19.
10. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. // М.: Наука, 1980.
11. Николаев Н.А. Эффективность процессов в многоступенчатых аппаратах с прямоточно-вихревыми контактными устройствами. // Казань: Издательство «Отечество», 2011.
12. Рамм В.М. Абсорбция газов. // М.: Химия, 1976.
13. Сугак Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. // Казань: РИЦ «Школа», 1999.
14. Чохонелидзе А.Н., Галустов В.С., Холпанов Л.П., Приходько В.П. Справочник по распыливающим; оросительным и каплеулавливающим устройствам. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 608 с.
15. Швыдкий В.С., Ладыгичев М.Г. Очистка газов: Справочное пособие. – М.: Теплоэнергетик, 2005. – 640 с.
16. Laptev A.G., Lapteva E.A., Farakhov T.M. Models of transport phenomena in random packed and granular beds // *Theoretical foundations of chemical engineering*. 2015. Vol. 49, No.4. pp. 388-395.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

### РАЗДЕЛ 2.

### МАТЕМАТИКА

#### 2.1. ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

#### О СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК РЕГРЕССИИ

*Мангалова Екатерина Сергеевна*  
аспирант, Сибирский государственный  
аэрокосмический университет им. ак. М.Ф. Решетнева,  
РФ, г. Красноярск

#### CONSISTENCY OF NONPARAMETRIC ESTIMATORS SEQUENCE

*Ekaterina Mangalova*  
postgraduate student, Siberian State Aerospace University,  
Russia, Krasnoyarsk

**Аннотация.** Приводится формализация алгоритма последовательного построения непараметрических оценок Надарая-Ватсона. Доказывается состоятельность последовательности оценок с уменьшающимися параметрами размытости.

**Abstract.** Algorithm based on nonparametric Nadaraya-Watson estimator sequence is described. In case of decreasing bandwidths, theorem about consistency of nonparametric estimators sequence is proved.

**Ключевые слова:** непараметрическая регрессия; состоятельность; ансамбль.

**Keywords:** nonparametric estimator; consistency; ensemble.

**Постановка задачи восстановления регрессии.** Задача восстановления регрессии может быть записана следующим образом [1]. Имеется множество наблюдений:  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ , где каждое наблюдение представимо набором переменных:  $g_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m, y_i\}$ , где  $x^1, x^2, \dots, x^m$  – независимые переменные, значения которых известны и на основании которых определяется значение переменной  $y$ . Требуется восстановить зависимость между входными переменными  $x^1, x^2, \dots, x^m$  и зависимой переменной  $y$ .

В работе [2] предложена процедура решения поставленной задачи при помощи последовательности оценок регрессии Надарая-Ватсона.

**Алгоритм последовательного построения непараметрических оценок Надарая-Ватсона.** Идея построения последовательности непараметрических оценок состоит в улучшении некоторой базовой оценки регрессии за счет последовательного добавления непараметрических оценок невязок.

Последовательностью нулевого уровня  $\hat{H}_0(x|G)$  является непараметрическая оценка

$$\hat{H}_0(x|G) = \frac{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_0^{(j)}}\right) y_i}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_0^{(j)}}\right)},$$

где  $c_0 = (c_0^{(1)}, c_0^{(2)}, \dots, c_0^{(m)})$  – параметры размытости, которые выбираются достаточно большими, чтобы оценка существовала во всем признаковом пространстве.

Каждая следующая оценка дополняет текущую последовательность  $\hat{H}_{q-1}(x|G)$ , основываясь на невязке между выходом объекта  $y$  и  $\hat{H}_{q-1}(x|G)$ :

$$\hat{H}_q(x|G) = \hat{H}_{q-1}(x|G) + \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_q^{(j)}}\right) y_i}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_q^{(j)}}\right)}, & \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_q^{(j)}}\right) > 0, \\ 0, & \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m K\left(\frac{x^{(j)} - x_i^{(j)}}{c_q^{(j)}}\right) = 0. \end{cases}$$

На параметры размытости  $c_0, c_1, \dots, c_Q$  накладывается условие: как минимум одна компонента  $c_{q-1}$  должна быть меньше соответствующей компоненты  $c_q$ .

Построение последовательности происходит до тех пор, пока уменьшается значение среднеквадратического отклонения выхода модели от выхода объекта.

**Состоятельность последовательности непараметрических оценок.** Рассмотрим задачу оценивания  $y = \varphi(x) \forall x \in R^1$  по выборке независимых синхронных измерений случайных величин  $(x_i, y_i, i = 1, 2, \dots, n)$  при известной плотности вероятности  $p(x)$ .

*Теорема.* Пусть:

а)  $\varphi(x), p(x)$  в области определения  $y = \varphi(x)$  ограничены и непрерывны вместе со своими производными до второго порядка включительно, а также  $\int [\varphi^{(m)}(x)]^2 dx < \infty, \int [p^{(m)}(x)]^2 dx < \infty, m \leq 2$ .

б) ядерная функция  $K$  удовлетворяет следующим условиям:

$$0 \leq K(u) < \infty, K(u) = K(-u), \int K(u) du = 1, \int u^2 K(u) du < \infty.$$

в) на последовательность коэффициентов размытости накладывается условие:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c_Q(n) = 0, \lim_{n \rightarrow \infty} n c_Q(n) = \infty.$$

Тогда ансамбль непараметрических оценок  $\hat{y} = \hat{\varphi}(x) = \hat{H}_Q(x) = \hat{H}_{Q-1}(x) + \hat{h}_Q(x)$  обладает свойством состоятельности:  $D(\hat{\varphi}(x)) = 0$ .

*Доказательство.* 1. Рассмотрим ансамбль, состоящий из двух моделей:

$$\hat{H}_Q(x) = \hat{H}_0(x) + \hat{h}_Q(x) = \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_0}\right) y_i}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_0}\right)} + \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_Q}\right) (y_i - \hat{H}_0(x_i))}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_Q}\right)},$$

где  $c_0 \rightarrow \infty$ ,  $\hat{H}_0(x)$  - эквивалентно выборочному среднему.

Представим дисперсию в следующем виде:

$$D(\hat{\varphi}(x)) = M\left((\varphi(x) - \hat{\varphi}(x))^2\right) + \left(M(\varphi(x) - \hat{\varphi}(x))\right)^2 = M\left((\varphi(x) - \hat{\varphi}(x))^2\right)$$

Вычислим среднеквадратическое отклонение:

$$\begin{aligned} M\left((\varphi(x) - \hat{\varphi}(x))^2\right) &= M\left(\hat{\varphi}^2(x) - \varphi^2(x)\right) = \\ &= M\left(\hat{H}_0(x) + 2\hat{H}_0(x)\hat{h}_Q(x) + \hat{h}_Q^2(x) - \right. \\ &\left. - \hat{H}_0(x) - 2H_0(x)h_Q(x) - h_Q^2(x)\right) = M\left(\hat{h}_Q^2(x)\right) - h_Q^2(x) \end{aligned}$$

Найдем  $M(\hat{h}_Q^2(x))$ :

$$\begin{aligned} M\left(\hat{h}_Q^2(x)\right) &= \frac{1}{nc_Q^2 p^2(x)} \int \left( h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right) \right)^2 dt + \\ &+ \frac{n-1}{nc_Q^2 p^2(x)} \left( \int h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right) dt \right)^2 \end{aligned}$$

Сделаем замену переменных  $u = (x-t)/c_Q, t = x - c_Q u, du = -c_Q dt, dt = du/c_Q$ :

$$M\left(\hat{h}_Q^2(x)\right) = \frac{1}{nc_Q p^2(x)} \int \left(h_Q(x-c_Q u) p(x-c_Q u) K(u)\right)^2 du + \\ + \frac{n-1}{np^2(x)} \left(\int h_Q(x-c_Q u) p(x-c_Q u) K(u) du\right)^2$$

Т.к.  $\lim_{n \rightarrow \infty} nc_Q(n) = \infty$

$$M\left(\hat{h}_Q^2(x)\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n-1}{np^2(x)} \left(\int h_Q(x-c_Q u) p(x-c_Q u) K(u) du\right)^2 = \\ = h_Q^2(x) + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} h_Q^2(x) = h_Q^2(x)$$

2. Покажем, что свойство состоятельности не нарушится при добавлении в последовательность промежуточной модели с параметром размытости  $c_1 > c_Q$ :

$$\hat{H}_Q^+(x) = \hat{H}_Q(x) + \hat{z}(x),$$

$$\hat{z}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_1}\right) (y_i - \hat{H}_0(x_i))}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_1}\right)} - \\ - \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_Q}\right) \left( \frac{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_i-x_j}{c_1}\right) (y_j - \hat{H}_0(x_j))}{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_i-x_j}{c_1}\right)} \right)}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{c_Q}\right)}$$

Вычислим среднеквадратическое отклонение:

$$M\left((\varphi(x) - \hat{\varphi}(x))^2\right) = 2M\left(\hat{H}_Q(x) \hat{z}(x)\right) + M\left(\hat{z}^2(x)\right)$$

Докажем, что оба слагаемых равны нулю:

$$\begin{aligned} M\left(\hat{H}_Q(x)\hat{z}(x)\right) &= H_0(x)M\left(\hat{z}(x)\right) + M\left(\hat{h}_Q(x)\hat{z}(x)\right) = \\ &= \frac{1}{nc_1c_Qp^2(x)}\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)\right)\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt + \\ &+ \frac{n-1}{nc_1c_Qp^2(x)}\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)\right)dt\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt + \\ &\frac{1}{nc_Q^2p^2(x)}\int\left(a(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt + \\ &+ \frac{n-1}{nc_Q^2p^2(x)}\int\left(a(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt \end{aligned}$$

где  $a(x) = \frac{1}{c_1p(x)}\int h_1(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)dt$

Проведя замену переменных и применяя преобразования, аналогичные использованным в п. 1, получаем:

$$M\left(\hat{H}_Q(x)\hat{z}(x)\right) = \frac{(n-1)h_Q(x)}{nc_1p(x)}\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)\right)dt - \frac{n-1}{n}a(x)h_Q(x) = 0$$

Аналогично и для второго слагаемого:

$$\begin{aligned} M\left(\hat{z}^2(x)\right) &= \frac{1}{nc_1^2p^2(x)}\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)\right)^2dt + \\ &+ \frac{n-1}{nc_1^2p(x)}\left(\int h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)dt\right)^2 - \\ &- \frac{2}{nc_1c_Qp^2(x)}\int\left(h_Q(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_1}\right)\right)\left(a(t)p(t)K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right)\right)dt - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{2(n-1)}{nc_1c_Qp^2(x)} \int \left( h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_1}\right) \right) dt \int \left( a(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right) \right) dt + \\
& + \frac{1}{nc_Q^2p^2(x)} \int \left( a(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right) \right)^2 dt + \\
& + \frac{n-1}{nc_Q^2p^2(x)} \left( \int a(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_Q}\right) dt \right)^2
\end{aligned}$$

Проведя замену переменных и применяя преобразования, аналогичные использованным в п. 1, получаем:

$$\begin{aligned}
M(\hat{z}^2(x)) &= \frac{1}{nc_1^2p^2(x)} \int \left( h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_1}\right) \right)^2 dt + \\
& + \frac{n-1}{nc_1^2p^2(x)} \left( \int h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_1}\right) dt \right)^2 - \\
& - 2\frac{(n-1)a(x)}{nc_1p(x)} \int \left( h_Q(t) p(t) K\left(\frac{x-t}{c_1}\right) \right) dt + \frac{n-1}{n} a^2(x) = 0
\end{aligned}$$

Таким же образом может быть показано, что добавление любого количества промежуточных моделей не нарушает свойства состоятельности.

3. Свойство состоятельности не нарушится при добавлении в последовательность оценки с параметром размытости  $c_{Q+1} < c_Q$ :

$$\hat{H}_{Q+1}(x) = \hat{H}_Q(x) + \hat{h}_{Q+1}(x).$$

Далее доказательство аналогично приведенному в п. 1.

Таким образом, последовательность непараметрических оценок, как и непараметрическая оценка Надарая-Ватсона, является состоятельной.

### Список литературы:

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И., Тесс М.Д., Елизаров С.И. Анализ данных и процессов 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 512 с.
2. Мангалова Е. С., Шестернева О.В. О последовательном построении оценок регрессии // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академ. М. Ф. Решетнева. – 2015. – Т. 16. – С. 604-610.

## РАЗДЕЛ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

#### ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ТОКОВОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИК – ГАЗОВЫЙ ПРОМЕЖУТОК

**Мирзажонов Зокиржон**

канд. физ.-мат. наук, доцент, Ферганский политехнический институт,  
Узбекистан, г. Фергана

**Эргашев Кахрамон Михайлович**

старший преподаватель, Ферганский политехнический институт  
Узбекистан, г. Фергана

**Йулдашев Хуршиджон Толибович**

старший преподаватель, Ферганский политехнический институт  
Узбекистан, г. Фергана

#### STABILITY OF THE CURRENT STATUS OF THE SEMICONDUCTOR - GAS GAP

**Zokirjon Mirzajonov**

candidate of physical mathematical sciences, Fergana Polytechnic Institute  
Uzbekistan, Fergana

**Qaxramon Ergashev**

senior lecturer, Fergana Polytechnic Institute  
Uzbekistan, Fergana

**Xurshidjon Yuldashev***senior lecturer, Fergana Polytechnic Institute  
Uzbekistan, Fergana*

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования ВАХ полупроводниковой фотографической системы ионизационного типа путем введения металлического зонда в область газового разряда, не нарушая его природу.

**Abstract.** Direct-current characteristic of the discharge gap was turned out well by the gradual approaching of metallic probe to that gap on the surface of photo set without distributing its nature.

**Ключевые слова:** металлический зонд; преобразователь изображений; полупроводниковый электрод; газоразрядный промежуток; фотоприемник.

**Keywords:** metallic probe; image converter; semiconducting electrode; gas-discharge gap; optical detector.

Газоразрядные системы с полупроводниковым электродом (SGD-структуры) остается наиболее перспективным устройством для регистрации оптических изображений в широком спектральном диапазоне [1]. Удовлетворяя принципу управляемой фото чувствительности эта, система является приемлемой для удовлетворения инфракрасной фотографии. В настоящее время продолжают работы по созданию современных приборов с высокими фотографическими параметрами [2].

Ток разрядного промежутка обусловлен в основном движением электронов и положительно заряженных ионов. Вследствие большой разности масс скорости дрейфа этих частиц сильно отличаются. Поскольку электроны движутся к аноду, а процесс ионизации в разрядном промежутке осуществляется в основном ими, то в стационарном режиме вблизи катода электронов мало. В итоге движущиеся к катоду положительные ионы образуют вблизи этого электрода положительный пространственный заряд. Следствием этого является неоднородное распределение потенциала по длине разрядного промежутка. При малой плотности тока  $i$  концентрация заряженных частиц мала. При этом естественно, мало и искажение распределения потенциала. С увеличением  $i$  искажение потенциала растет. Далее следует принять во внимание то обстоятельство, что коэффициент ионизации  $\alpha$  (первый коэффициент ионизации Таунсенда), как правило, является сверхлинейной функцией напряженности поля [3]. При такой

зависимости  $\alpha(E)$  в случае неоднородного распределения потенциала коэффициент размножения электронов, при их движении по длине разрядного промежутка, повышается относительно однородного распределения. Таким образом, искажение потенциала облегчает условие поддержания пробоя. В итоге при увеличении тока разность потенциалов между электродами уменьшается, и на ВАХ возникает S-образный участок, т.е. имеется область с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС).

Известно [4], что в условиях ОДС S-типа состояние с однородным распределением плотности тока по сечению проводника становится неустойчивым. В результате развития неустойчивости образуется токовое состояние с резко неоднородной плотностью. Это явление называется шнурованием тока. Истинную ВАХ в области ОДС практически проверить трудно, поскольку неустойчивость (возникновение токового шнура) развивается очень быстро. Шнурование сопровождается скачкообразным уменьшением разности потенциалов и сильным увеличением тока. Таким образом, наблюдаемая S-образность ВАХ связана со шнурованием тока в условиях неустойчивости однородного распределения тока в системе с ОДС.

Возвращаясь к нашей системе, нужно отметить, что в исследованном диапазоне параметров системы мы обычно наблюдали однородное распределение тока по площади электродов и устойчивое управление величиной плотности тока посредством поперечного сопротивления полупроводника. Возникает вопрос, обусловлена ли устойчивость системы полупроводник - газовый зазор свойствами тонкого газоразрядного промежутка, или же неустойчивость, которая может развиваться в области газового разряда, подавляется полупроводниковым слоем.

Для выяснения причин устойчивости проводился следующий опыт. Вместо полупроводника в систему вставлялся оптически полированный металлический электрод. Оказалось, что при тех же параметрах газоразрядного промежутка, что и в случае системы с полупроводниковым электродом распределение тока по площади, как правило неустойчиво. При малой величине протекающего тока иногда наблюдалось устойчивое распределение, В этом случае увеличение тока до величины  $\sim 0,1$  мА сопровождается появлением шнуров размером 1-1,5 мм. Из этих данных можно сделать вывод, что именно наличие полупроводникового электрода обуславливает устойчивую работу системы.

По нашему мнению, в системе полупроводник - газовый промежуток осуществляется подавление неустойчивости за счет

значительного сопротивления полупроводниковой пластины, являющейся распределенной нагрузкой. Механизм подавления можно представить следующим образом. Если в объеме газа возникла Флуктуация плотности тока, то в условиях ОДС эта флуктуация будет нарастать, Однако из условия непрерывности плотности тока на границе раздела полупроводник - газовый зазор следует, что и плотность тока в полупроводнике также должна перераспределяться.

Известно, что, если в цепи разрядного промежутка отсутствует последовательное сопротивление, участок тихого самостоятельного разряда на ВАХ почти не наблюдается и разряд сразу переходит в следующую стадию - тлеющий разряд. В случае достаточно большого последовательного сопротивления любое локальное увеличение тока в прикатодном пространстве будет сопровождаться значительным понижением напряженности поля этом месте из-за возрастания напряжения на сопротивлении, что приведет к уменьшению темпа ионизации и, следовательно, к ограничению возрастания тока. Поэтому вертикальный участок самостоятельного разряда может существовать даже и при значительных по абсолютной величине токах.

Условием устойчивости элемента площади поперечного сечения тока является положительная или нулевая величина суммарного сопротивления этого элементе, т.е.

$$R_{эл} = R_{газ} + R_{n/n} = R_{газ} + l / \sigma \geq 0,$$

где:  $R_{газ}$  - сопротивление газоразрядного промежутка:  $R_{n/n}$ ,

$l, \sigma$  - сопротивление, толщина, удельная проводимость полупроводникового электрода. Отсюда следует условие отсутствия шнурования:  $l / \sigma \geq R_{газ}^{ОДС} R_{газ}^{ОДС}$  - отрицательное дифференциальное сопротивление газоразрядного промежутка.

Особенно важно отметить, что характер разряда меняется при введении полупроводникового электрода т.е. изменяется и сама ВАХ газоразрядного зазора. Действительно, как показали наши измерения в условиях стабильной работы ВАХ строго вертикальна и не имеет участка ОДС. Поэтому приведенное выше рассмотрение справедливо для анализа условий появления стабильного состояния систем. Дальнейшее рассмотрение должно производиться, строго говоря в условиях изменившейся, т.е. вертикальной ВАХ.

В процессе работы стабилизация поддерживается автоматически, любая флуктуация, вызывающая неоднородность распределения тока вызывает одновременно и такое перераспределение напряжения между

газоразрядным зазором в мосте флуктуации и полупроводниковые электродом, которое способствует рассасыванию этой флуктуации» т.е. реализуется стабилизирующая отрицательная обратная связь.

### **Список литературы:**

1. Х.Т. Йулдашев, Ш.С. Касымов, З. Хайдаров. Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором. // Журнал прикладная физика 2016. №2, с. 94-99.
2. З. Хайдаров, Х.Т. Йулдашев. Новый фотографический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейки с полупроводниковым электродом // Журнал прикладная физика 2016. № 5, с. 75-80.
3. А.Н. Лодыгин, Л.М. Порцель, Ю.А. Астров. Газовый разряд в аргоне и азоте при криогенной температуре в тонких зазорах. // Письма в ЖТФ. 2008. Vol. 34(14). PP. 61-66.
4. Ю.А. Астров, А.Н. Лодыгин Л.М. Порцель Гексагональные структуры тока в системе «полупроводник-газоразрядный промежуток.» // ЖТФ. 2011. Vol. 81(2). PP. 42-47.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам III международной заочной  
научно-практической конференции*

№ 2 (3)  
Март 2017 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 16.03.17. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,25. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213  
E-mail: [tech@nauchforum.ru](mailto:tech@nauchforum.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3