

№4(23)

# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XXIII международной  
научно-практической конференции*

№ 4 (23)  
Апрель 2019 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2019

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

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;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

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

**Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам XXIII междунар. науч.-практ. конф. – № 4 (23). – М.: Изд. «МЦНО», 2019. – 76 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2019

<b>Оглавление</b>	
<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>5</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА УРОКАХ ИСТОРИИ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ	5
Бут Елена Александровна	
Егизарьянц Александр Артавадзович	
УЯЗВИМОСТИ BIOS	9
Козлова Ольга Алексеевна	
<b>1.2. Metallургия и материаловедение</b>	<b>24</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА НЕПРЕРЫВНОМ ШИРОКОПОЛОСНОМ СТАНЕ	24
Шалаевский Дмитрий Леонидович	
<b>1.3. Радиотехника и связь</b>	<b>31</b>
ТЕХНОЛОГИИ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ В СОВРЕМЕННЫХ КОГЕРЕНТНЫХ DWDM – СИСТЕМАХ СВЯЗИ	31
Орловский Павел Андреевич	
ПРОКЛАДКА ВОЛОКОННО ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ (ВОЛС) В ГРУНТ	36
Орловский Павел Андреевич	
<b>1.4. Электроника</b>	<b>40</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО EUS В РЕЖИМЕ РОСТА НА INAS (100).	40
Яшкина Лидия Константиновна	
Шульгин Дмитрий Анатольевич	
<b>Физико-математические науки</b>	<b>45</b>
<b>Раздел 2. Математика</b>	<b>45</b>
<b>2.1. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление</b>	<b>45</b>
ПЯТИТОЧЕЧНАЯ РАЗНОСТНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ	45
Петросян Ваагн Артакович	
Шмавонян Арутюн Арамович	

<b>Раздел 3. Физика</b>	<b>52</b>
<b>3.1. Приборы и методы экспериментальной физики</b>	<b>52</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ Заводовский Александр Геннадьевич	52
<b>3.2. Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика</b>	<b>57</b>
РЕАЛИЗАЦИЯ КВАНТОВО – ТОЧЕЧНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ Закирова Эльвира Рамилевна Шульгин Дмитрий Анатольевич	57
ПОТЕНЦИАЛЬНО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В K1 – Xb6: ПРЕДСКАЗАНИЕ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ Ишмухаметова Карина Фаритовна Гайнуллина Наталья Романовна	61
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА И РАЗМЕРНО-ЗАВИСИМОЙ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ НА ТЕПЛОВУЮ ПРОВОДИМОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ Лобанова Ладонна Анатольевна Шульгин Дмитрий Анатольевич	66
ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ РАСТВОРОМ ПОЛИМЕРНЫЕ СВЕТОДИОДЫ Узенбаева Сабина Ахмадуллаевна Шульгин Дмитрий Анатольевич	71

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 1.**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

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

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА УРОКАХ ИСТОРИИ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ**

*Бут Елена Александровна*  
студент, ФГБОУ ВО «АГПУ»,  
РФ, г. Армавир

*Егизарьянц Александр Артавадзович*  
канд. пед. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «АГПУ»,  
РФ, г. Армавир

В условиях реформирования образования XXI века в соответствии с требованиями ФГОС немаловажную роль приобрела инновационная деятельность, которая направлена на внедрение различных инновационных новшеств в педагогической практике.

Инновации в образовании – это новейшие теории и технологии преподавания и обучения, новые методы организации содержания обучения, способы оценивания образовательного результата.

Образовательная среда в наше время обязана давать объяснения на проблемные вопросы современного общества, изменяться, отвечая на возникающие явления в обществе. Именно поэтому инновационные методы в обучении имеют цель - подготовить личность к будущей жизни, а в профессиональном образовании – профессионала в определённой

предметной области. Большинство обучающихся, приходя в образовательное учреждение, мало заинтересованы в таком предмете как история. Поэтому задача преподавателя – заинтересовать студентов и учеников в данном предмете. Молодежь XXI века – люди века информации и компьютерных технологий, необходимо развивать их самостоятельность и мотивированность в организации познавательной деятельности, анализировать причинно- следственные связей, выделять значимые качества исследуемого объекта, самостоятельно сравнивать и сопоставлять факт прошлого и действительности с помощью разнообразных критериев [1].

Для реализации данных задач нужно основывать гносеологическую и исследовательскую на использовании инновационных образовательных технологий: информационно- коммуникативных, технологий интерактивного обучения, технологии развития критического мышления, проектной технологии, сберегающей здоровье технологии и других.

В современном преподавании выделяют пассивные, активные и интерактивные стратегии. Умелое сочетание вышеназванных стратегий обеспечивает эффективность преподавания и качество образования.

Информационно-коммуникационные технологии позволяют развивать навыки самостоятельной, исследовательской, творческой работы, способствуют самовыражению и саморазвитию личности. Студенты и ученики демонстрируют высокие показатели в их применении – составляют презентации. Внедрение информационно-коммуникативных технологий усилило наглядность и эмоциональную составляющую обучения, позволило проводить виртуальные экскурсии по музеям, показывать слайд-шоу, фото-документы, отрывки фильмов и видеороликов [1].

Стоит отметить, что использование современных информационных технологий заметно способствует активному участию студентов и учеников на парах и уроках, позволяет эффективно организовать гносеологическую и исследовательскую деятельность, обогащает урок эмоциональной наполненностью, а всё это в совокупности способствует развитию креативности обучающихся и их самореализации.

Технологии интерактивного обучения рассматриваются как способ усвоения знаний, формирования умений и навыков в процессе взаимоотношений и взаимодействий преподавателя и студента как субъектов учебной деятельности. Интерактивная деятельность на уроках предполагает организацию и развитие коммуникаций, которые приводят к взаимопониманию, взаимодействию, к совместному решению общих, но значимых для каждого участника задач. В интерактивных технологиях образования значительно изменяются роли обучающего (вместо роли информатора – роль менеджера) и обучаемого (вместо объекта воздействия – субъект взаимодействия), а также роль информации (информация не цель, а средство для освоения действий и операций).

Внедрение данного обучения способствует организации гносеологической, практической и творческой деятельности [3].

Интерактивное обучение вовлекает в процесс обучения более широкие массы, то есть всю учебную аудиторию. Студенты и ученики имеют возможность осознать, проанализировать и высказать мысли по определённой проблеме, сопоставляя знания до и после. Каждый вносит свой особый индивидуальный вклад в процессе обмена знаниями, идеями, способами деятельности. Причем происходит это в атмосфере доброжелательности и взаимной поддержки, что позволяет не только получать новое знание, но и развивает саму гносеологическую деятельность, поднимает ее на более высокие ступени сотрудничества.

Также значимой современной технологий в образовании становится технология развития критического мышления, то есть мышления, опровергающего устоявшиеся представления, опирающегося на собственный опыт, просеивание новых идей. В основе данной технологии лежат: постановка проблемы (студенты и ученики основываются на имеющиеся знания), осуществление проблемы (студенты и ученики получают новую информацию, сопоставляют ее с прошлой) и рефлексия (обучающиеся закрепляют новые знания, меняют первоначальные представления об изучаемом материале, переосмысливают представления о фактах, событиях и явлениях).

В качестве результатов использования технологии развития критического мышления, следует выделить: высокую мотивацию обучающихся к учению; совершенствование мыслительного процесса и гибкости мышления; оперирование самостоятельно выстроенными понятиями; подтверждение или опровержение точки зрения другого человека; анализ полученной информации.

Технология, обеспечивающая личностно-ориентированное обучение, - метод проектов, как способ развития творчества, гносеологической деятельности, самостоятельности. Проектную и исследовательскую деятельность студентов и учеников по овладению и усвоению оперативных знаний в процессе социализации относят к перспективной. Составляя и представляя проект, обучающиеся синтезируют знания в ходе их поиска, интегрируют междисциплинарную информацию, занимаются поиском более эффективных путей решения задач проекта, взаимодействуют друг с другом. Совместная деятельность показывает расширенные возможности сотрудничества, в ходе которого студенты и ученики ставят цели, выбирают наилучшие средства и методы их достижения, распределяют обязанности, проявляют все свои способности (умение работать в коллективе, ощущать себя членом команды, брать ответственность за выбор решения на себя, разделять ответственность с другими, анализировать результаты деятельности) [2].



За определённое время студенты и ученики решают гносеологическую, исследовательскую, либо иную задачи. При организации и проведении проектной деятельности широко применяются технологии работы по группам.

Для развития самостоятельности и творческой активности студентов и учеников при изучении истории, а также формирования умений и навыков работы по группам эффективнее использовать изучение в группах различного учебного материала с последующим его представлением и обсуждением. В каждой группе происходит разделение обязанностей между участниками проекта в соответствии со способностями каждого. Такие уроки проводятся при изучении однородного и сложного исторического материала, например, по теме «Ведущие политические партии России», «Боевые действия на фронтах в ходе Великой Отечественной войны».

В обучении перспективно осуществлять дифференцированный и индивидуальный подход к каждому студенту и ученику, стремиться оказать помощь в развитии личности обучающегося с учетом его способностей и возможностей. Это способствует построению индивидуальной образовательной траектории отдельного студента и ученика, осуществить личностно-ориентированный подход в образовании [4].

В результате выделим, что применение инновационных технологий позволяет повысить мотивацию студентов и учеников к истории, усилить наглядность изучаемого материала и привлекать к активному участию обучающихся на уроках. Регулярная системная работа по использованию современных инновационных технологий и их элементов в образовательной сфере приводит к тому, что повышается уровень успеваемости по истории в группах, студенты принимают активное участие в круглых столах, тренингах, интеллектуальных играх и викторинах, участвуют в олимпиадах и конкурсах.

### **Список литературы:**

1. Гаврилов М.В. Информатика и информационные технологии: Учебник для бакалавров / М.В. Гаврилов, В.А. Климов; Рецензент Л.В. Калянов, Н.М. Рыскин. - М.: Юрайт, 2013. - 378 с.
2. Голубенко Н.Б. Библиотека XXI века: информационные технологии: новая концепция / Н.Б. Голубенко. - СПб.: Проспект Науки, 2013. - 192 с.
3. Информационные технологии управления (для бакалавров): Учебное пособие. / В.Н. Логинов. - КноРус, 2015. - 239 с.
4. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы). / Ю.В. Бородакий, Ю.Г. Лободинский. — М.: Горячая линия-Телеком. 2011. 368 с.

## УЯЗВИМОСТИ BIOS

**Козлова Ольга Алексеевна**

учитель информатики,  
директор МАОУ СОШ № 8 им. А.Г. Махнёва,  
РФ, г. Асбест

### Введение

Уязвимость – недостаток в компьютерной системе, использование которого, приводит к нарушению целостности системы и некорректной работе. Уязвимости появляются в результате ошибок программирования, недостатков, которые допускались при проектировании системы, ненадежных паролей и вредоносных программ. Уязвимости имеются во всех основных операционных системах, включая Microsoft Windows, Mac OS, UNIX и OpenVMS [7].

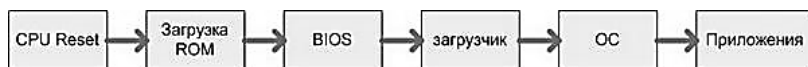
Обеспечение информационной безопасности компьютерной системы является непрерывным процессом, целенаправленно проводимым на всех этапах ее жизненного цикла с комплексным применением всех имеющихся методов и средств.

Существующие методы и средства защиты информации можно подразделить на четыре основные группы:

- методы и средства организационно-правовой защиты информации;
- методы и средства инженерно-технической защиты информации;
- криптографические методы и средства защиты информации;
- программно-аппаратные методы и средства защиты информации.

Что такое BIOS. Основные понятия.

Процесс загрузки компьютера и состав компонентов, задействованных в этом процессе, определяется архитектурой системы. Применительно к большинству компьютеров загрузку можно представить в виде совокупности этапов, показанных на рисунке 1. [6]



**Рисунок 1. Последовательность загрузки компьютера**

BIOS представляет собой первую микропрограмму, которая выполняется после включения питания компьютера и хранится в энергонезависимой памяти, как правило, микросхеме флеш-памяти на материнской плате компьютера.

Основное назначение BIOS состоит в:

- обеспечении инициализации и тестирования на низком уровне аппаратных компонентов компьютера, включая центральный процессор, динамическую оперативную память и др.;
- передаче управления загрузчику операционной системы (ОС).

Все начальные загрузчики операционных систем обращаются к базовой системе ввода-вывода (BIOS) с тем, чтобы провести первоначальную инициализацию установленного оборудования и контрольное тестирование его работоспособности, а также получить сведения о том, каким образом выполнять дальнейшую загрузку ОС. Поскольку BIOS - это самый нижний уровень программного обеспечения, предназначенного для конфигурирования и управления оборудованием компьютера, в нем содержится код для взаимодействия со средствами ввода-вывода, дисковыми накопителями, коммуникационными портами и другими устройствами, что с точки зрения информационной безопасности можно рассматривать как серьезную уязвимость системы [5].

С другой стороны, BIOS можно использовать и как инструмент предотвращения несанкционированного перезапуска компьютера и перехвата управления ОС - многие разновидности BIOS для ПК позволяют установить стартовый пароль. Впрочем, такая защита не предоставляет серьезных гарантий безопасности - пароль, как известно, можно подобрать или украсть. Однако при всех своих недостатках даже такой примитивный подход может быть неплохим сдерживающим фактором - сам процесс как минимум отнимет некоторое время у злоумышленника и оставит следы взлома. Многие современные разновидности BIOS реализуют различные дополнительные меры безопасности, в частности, запрет загрузки с дискеты или назначение пароля некоторым пунктам BIOS [5].

Базовая система ввода-вывода находится в микросхеме ПЗУ, размещенной на системной плате компьютера, что делает BIOS доступным в любое время, даже в случае повреждения дисковой системы компьютера. Кроме того, такая организация BIOS позволяет компьютеру самостоятельно загружаться. Сегодня почти все системные платы комплектуются ПЗУ с прошитым в них BIOS, который в любой момент можно перезаписать при помощи специальной программы. С точки зрения защиты информации отсутствие исходных текстов программного кода BIOS делает его «черным ящиком», который не обеспечивает прозрачность загрузки защищаемого компьютера.

## 1. Средства доверенной загрузки BIOS

BIOS выступает одним из ключевых элементов в создании надежно защищенного ПК. Важным для обеспечения информационной безопасности системы является сохранение целостности BIOS и компонентов, загружаемых после BIOS. Необходимо обеспечить доверенную загрузку ОС, в рамках которой, помимо сохранения целостности ОС, выполняются, как правило, процедуры контроля устройств, с которых загружается ОС, а также процедуры идентификации и аутентификации пользователя [6].

Вредоносное программное обеспечение, внедренное в микропрограмму, имеет прямой доступ к аппаратному обеспечению и может использовать технологию виртуализации для компрометации системы без ведома пользователя и незаметно для операционной системы. Кроме того, известны атаки, направленные на внедрение вредоносного ПО в чип системной платы, что в случае успеха означает невозможность устранения последствий даже после переустановки операционной системы или замены жесткого диска [1].

Технология доверительной загрузки призвана решить эту проблему путем запуска ОС только после проведения ряда контрольных процедур: авторизации пользователя для разграничения прав на модификацию системы; проверки целостности технических и программных средств защищаемого компьютера, в том числе исполняемых файлов и файлов настроек безопасности; предотвращения загрузки ОС с внешних устройств посредством их физического отключения до завершения процедур авторизации и контроля. Как предполагается, данная процедура будет гарантировать, что проведена санкционированная загрузка ОС и компьютер работает в штатном защищенном режиме.

В соответствии с требованием УПД.17 приказов ФСТЭК России № 17 от 11.02.2013 г., № 21 от 18.02.2013 г. и № 31 от 14.03.2014 г., доверенная загрузка должна обеспечивать:

- блокирование попыток несанкционированной загрузки нештатной операционной системы (среды) или недоступность информационных ресурсов для чтения или модификации в случае загрузки нештатной операционной системы;
- контроль доступа пользователей к процессу загрузки операционной системы;
- контроль целостности программного обеспечения и аппаратных компонентов средств вычислительной техники.

В соответствии с Информационным сообщением ФСТЭК России № 240/24405 от 06.02.2014 г. «Об утверждении Требований к средствам доверенной загрузки», а также собственнo Приказом ФСТЭК России № 119 от 27.09.2013 г., рассматриваемый класс средств защиты информации подразделяется на три типа [1]:

### **1.1. Средства доверенной загрузки уровня базовой системы ввода-вывода**

Первая группа средств - уровня BIOS - это, как правило, многокомпонентные программные средства, один из модулей которых встраивается непосредственно в микропрограмму материнской платы. Примерами таких средств доверенной загрузки являются «МДЗ-Эшелон» компании НПО «Эшелон» и Altell Trust производства компании Altell. Для функционирования таких средств не требуется установка плат PCI/PCI-E, что существенно упрощает и ускоряет ввод СЗИ в эксплуатацию.

### **1.2. Средства доверенной загрузки уровня платы расширения**

Средства доверенной загрузки уровня платы расширения всегда программно-аппаратные. Это самый широкий сегмент рынка средств доверенной загрузки. В качестве примера можно привести ПАК «Соболь» компании «Код Безопасности», Максим-М1 НПО «РусБИТех», АПМДЗ «Щит-ЭЦП» Концерна «Системпром» и др.

### **1.3. Средства доверенной загрузки уровня загрузочной записи**

Наконец, механизм функционирования средств доверенной загрузки уровня загрузочной записи основан на модификации boot-секторов логических разделов жестких дисков. Содержимое загрузочных секторов шифруются, что позволяет скрыть информацию о логических разделах при несанкционированной загрузке компьютера. Примером может служить Trusted Boot Loader компании «Код Безопасности».

В сложившейся практике перечисленные функции реализуются средствами доверенной загрузки (СДЗ), под которыми понимаются программно-технические средства, которые реализуют функции по предотвращению несанкционированного доступа к программным и (или) техническим ресурсам компьютера на этапе его загрузки.

СДЗ является элементом системы защиты информации и применяется на компьютере совместно с другими средствами защиты информации от несанкционированного доступа.

На протяжении многих лет и до настоящего времени СДЗ разрабатывались и совершенствовались в условиях использования совместно с «традиционными» BIOS. Это обстоятельство определяло их архитектуру и принципы функционирования. В частности, при использовании «традиционного» BIOS обоснованной является реализация принципа, согласно которому СДЗ начинает свою работу после выполнения системного BIOS и далее обеспечивает выполнение заданного набора требований доверия безопасности; при этом принимается, что код самого BIOS механизмами СДЗ проверять не нужно,

поскольку, атаки, связанные с подменой системного BIOS на практике по сути не реализуются. Но в том случае, если угроза подмены системного BIOS при использовании в информационной системе некоей организации все же признается актуальной, следует в установленном порядке проверить микропрограмму BIOS на наличие уязвимостей, позволяющих осуществить такую подмену. Данная проверка практически реализуема, поскольку общая архитектура и принципы функционирования «традиционного» BIOS хорошо известны, объем микропрограммного кода и набор функций весьма ограничен, а на выработку подходов к проведению различных исследований в распоряжении сообщества специалистов имелся не один десяток лет [6].

Блокирование уязвимостей BIOS составляет актуальную задачу, поскольку, очевидно, для потенциального нарушителя всегда предпочтительнее скомпрометировать тот компонент, который загружается раньше прочих — получение контроля на более раннем этапе позволяет распространить влияние и на последующие элементы, такие как код режима управления системой (System Management Mode, SMM), загрузчик, гипервизор, ОС.

Если успешные атаки на программы, исполняемые в пользовательском режиме, позволяют нарушителю добиться преимуществ хотя и очень существенных, но всё-таки ограниченных областью действия атакованной программы, то вредоносный код, записанный в BIOS, может позволить получить полный контроль над системой [8].

Поскольку BIOS запускается с высоким уровнем привилегий на ранней стадии загрузки системы, вредоносный код, исполняемый на уровне BIOS, очень трудно обнаружить. Кроме того, он может использоваться для повторного «инфицирования» системы даже после того, как была произведена переустановка ОС или даже замена жесткого диска компьютера. В этих условиях, очевидно, BIOS и загрузчик должны восприниматься нарушителем как более привлекательные объекты атаки:

- атаки на BIOS, заключающиеся в подмене исходного кода BIOS вредоносным кодом BIOS, внедренным нарушителем;
- атаки на загрузчик, заключающиеся в установке подконтрольного нарушителю так называемого «буткита» (bootkit, разновидность «руткита» (rootkit), который исполняется в режиме ядра), «инфицирующего» загрузчик. При этом «буткит» может использоваться для организации утечки чувствительной информации, обрабатываемой в процессе загрузки, такой как пароли шифрования информации на жестком диске.

## **Атаки на BIOS, заключающиеся в подмене исходного кода BIOS вредоносным кодом BIOS**

Подмена микропрограммы BIOS вредоносным программным обеспечением в общем случае представляет опасную угрозу, которая может быть частью сложной атаки на информационную систему организации, направленной на достижение длительного отказа в обслуживании (если BIOS в результате атаки подвергается разрушению) или обеспечение долгосрочного функционирования вредоносного кода в составе системы (если в результате атаки производится «инфицирование» BIOS) [6].

Однако что касается практической стороны вопроса, следует отметить, что атаки на так называемый «традиционный» BIOS (Legacy BIOS), как правило, связаны с низким уровнем мотивации нарушителя к их реализации — в силу слабого уровня стандартизации «традиционного» BIOS. Попытка разработать и внедрить вредоносный код, который мог бы использовать одновременно уязвимости, например, систем HP, Dell и IBM, обычно рассматривается нарушителем как неэффективная, потому что эти системы работают по-разному и реализовать универсальный механизм атаки весьма затруднительно. Иными словами, «эксплойты» для «традиционных» BIOS отличаются высоким уровнем зависимости от системы — как от версии BIOS, так и частного случая реализации аппаратных компонентов, таких как чипсет материнской платы.

### **Атаки на загрузчик, заключающиеся в установке подконтрольного нарушителю так называемого «буткита»**

Подавляющая часть существующего вредоносного кода исполняется на уровне ядра ОС и более высоких уровнях, так, чтобы существовала возможность использовать его на максимально широком множестве систем. В силу указанного обстоятельства известны лишь немногие практические реализации атак на уровне «традиционного» BIOS. В качестве характерного примера можно привести лишь вирус «Чернобыль», обнаруженный в 1998 году. Для современных компьютеров этот вирус неактуален, поскольку они не содержат уязвимостей, которые «Чернобылем» использовались [6].

Воздействие вируса CIH, или Чернобыль на BIOS имело разрушающий характер и приводило к тому, что оборудование вообще переставало загружаться, что нельзя назвать успешным внедрением. Его воздействие на BIOS имело разрушающий характер и приводило к тому, что оборудование вообще переставало загружаться, что нельзя назвать успешным внедрением.

В 2006 году появился прототип руткита под названием IceLord, производивший заражение BIOS корректно, т.е. после его внедрения работоспособность оборудования сохранялась [1].

В 2011 году стало известно о рабочем рутките Mebromi, способном модифицировать BIOS. Mebromi имеет механизмы сокрытия от традиционных антивирусов, и избавиться от него невозможно даже после замены жесткого диска. Согласно отчетам компании ESET по угрозам и трендам, буткиты стали одним из ключевых технических трендов 2012 года.

Буткит имеет общее с загрузочным вирусом, однако содержит компоненты, которые внедряются в операционную систему еще до ее загрузки. На начальном этапе своей работы буткит заменяет оригинальный загрузчик и ожидает перезагрузки компьютера. Основная задача буткита – перехватит прерывание INT 13h, при помощи которого файловые компоненты операционной системы считываются с диска в память, чтобы подменить файлы операционной системы на свои компоненты. Таким образом, буткит может оставаться незамеченным для любой прикладной системы, запущенной в модифицированной им ОС.

## 2. UEFI BIOS

Между тем, интенсивно осуществляемый в настоящее время переход от реализации «традиционного» BIOS к реализации, основанной на едином расширяемом микропрограммном интерфейсе (Unified Extensible Firmware Interface, UEFI), наряду с получением ряда функциональных преимуществ, в контексте обеспечения информационной безопасности характеризуется снижением для нарушителя сложности задачи внедрения вредоносного кода на уровне BIOS.

Современная базовая система ввода-вывода (BIOS) давно перестала быть простейшей микропрограммой, главной целью которой является инициализация и тестирование на низком уровне аппаратных компонентов компьютера для дальнейшей передачи управления загрузчику операционной системы (ОС). С момента введения единого расширяемого микропрограммного интерфейса (Unified Extensible Firmware Interface, UEFI) BIOS приобретает черты упрощенной современной операционной системы со своими фазами загрузки и механизмами обеспечения безопасности, включая реализацию различных криптографических функций [9].

Кроме всего прочего, спецификация UEFI определяет возможность *загрузки компьютера по сети* с помощью протокола удаленной загрузки (preboot execution Environment, PXE) и доступа к загрузочным образам, хранящимся в сетях хранения данных (storage area network, SAN).



Процесс загрузки компьютера, использующего UEFI, формально представляется таким же, как и в случае с «традиционным» BIOS. Разница заключается в том, что код UEFI запускается, как правило, в современном 64-битном защищенном режиме работы процессора, тогда как код микропрограммы BIOS исполняется в 16-битном реальном режиме работы процессора. Однако в отличие от фактически неизменной по своему функциональному содержанию микропрограммы BIOS, система UEFI в сущности представляет собой программируемый интерфейс с довольно широким набором возможностей, совокупность которых придает ему черты самостоятельной операционной системы, пусть и облегченной. Основанием для подобной характеристики является то, что спецификация UEFI определяет, в частности, следующие элементы [8]:

- *сервисы*. В UEFI допускается два типа сервисов: загрузочные (boot services) и среды выполнения (runtime services). Первые функционируют только до загрузки ОС компьютера и обеспечивают взаимодействие с графическими и текстовыми терминалами, шинами и т. д., а сервисы среды выполнения доступны даже из ОС компьютера;
- *драйверы устройств*. В UEFI реализуется платформонезависимая среда драйверов — EFI Byte Code (EBC). Взаимодействие ОС с драйверами устройств, как правило, осуществляется через EBC, что позволяет ОС компьютера использовать UEFI для базовой поддержки графических и коммуникационных функций до загрузки драйверов, установленных в ОС. Некоторые архитектурно-зависимые (non-EBC) драйверы имеют интерфейсы для использования ОС напрямую;
- *приложения*. Независимо от загружаемой ОС программа UEFI поддерживает возможность запуска отдельных приложений, которые могут разрабатываться и устанавливаться по усмотрению производителей компьютеров. К числу таких приложений относится, например, оболочка UEFI (UEFI shell). Оболочка может быть загружена еще до запуска ОС компьютера и использоваться для выполнения различных приложений: утилит по установке и настройке операционных систем, файловых менеджеров, утилит для просмотра файлов и др. Команды оболочки также позволяют копировать или перемещать файлы и каталоги в поддерживаемых файловых системах, загружать и выгружать драйверы. Оболочка поддерживает командную строку и командные файлы, аналогичные командам и пакетным файлам DOS.

В случае использования UEFI BIOS все его интерфейсы стандартизированы. Из этого следует то, что, в отличие от случая, когда используется «традиционный» BIOS, реализация атак на UEFI BIOS не состоит в сильной зависимости от архитектуры системы. В свою очередь, это означает, что сообщество больше не имеет права считать,

что атаки на BIOS не реализуются на практике, что у нарушителя отсутствует для этого мотивация. Вследствие использования многими BIOS одного и того же кода обнаружены уязвимости, актуальные для 80% исследованных компьютеров, включая модели Dell, Lenovo и HP; при этом уязвимости было столь легко обнаружить, что удалось даже написать скрипт для автоматизации этого процесса, с помощью которого было выявлено множество уязвимостей.

Кроме того, UEFI BIOS имеет несоизмеримо более богатый набор функциональных возможностей состав которых может существенно отличаться в различных системах в зависимости от предпочтений производителя. Это означает, во-первых, что проверить UEFI BIOS теми же методами, что использовались при проверке «традиционного» BIOS, не удастся, а во-вторых, усложнение и расширение его функциональности неизбежно влечет за собою увеличение «площади поверхности» для проведения разнообразных атак.

На практике в информационных системах организаций процедура обновления «традиционного» BIOS представляла собой весьма редкое явление или же вообще не производилась. Очевидно, в случае с UEFI BIOS ее придется производить (локально и (или) через сеть) значительно чаще, что, в свою очередь, открывает новый класс уязвимостей для системного BIOS.

Таким образом, можно констатировать, что принципы обеспечения доверенной загрузки систем с UEFI BIOS должны принципиально отличаться от тех, что на протяжении многих лет применялись для систем на основе «традиционного» BIOS. Эти различия, по-видимому, обуславливают необходимость выработки нового подхода как для установления требований безопасности, которым должно удовлетворять соответствующее СДЗ, так и нового подхода к формированию со стороны регулятора заключения о соответствии продукта предъявленным к нему требованиям безопасности информации [8].

UEFI также позволяет расширять прошивку платформы, загружая исполняемые образы – драйверы или приложения. Исполняемые образы представляют собой класс файлов, определенных спецификацией UEFI, которые содержат исполняемый код. Загруженные образы получают доступ к сервисам, которые также определены спецификацией UEFI (boot services, runtime services). Исполняемые образы могут быть загружены в память, как встроенным менеджером загрузки, так и другими исполняемыми образами. Данная возможность позволяет расширять функционал базовой системы ввода-вывода, однако, она создает новые векторы атак в случае неконтролируемого встраивания драйверов.

Существуют штатные механизмы защиты от этих атак. Однако практическая реализация этих механизмов может защитить не от всех атак, а нарушение организационных требований может привести к неэффективности использования штатных средств защиты.

Внедрение в BIOS дает возможность распространить влияние вредоносного кода на все последующие этапы загрузки. Под угрозой оказываются код управления системой (System Management Mode, SMM), существующие средства защиты, загрузчики, гипервизор и операционная система (ОС). Учитывая, что BIOS запускается с высоким уровнем привилегий на одном из первых этапов загрузки ЭВМ, вредоносный код, исполняемый на уровне BIOS, очень сложно детектировать и устранить на последующих этапах. Для понимания способов инъекций вредоносного кода в UEFI и защиты от них, необходимо ознакомиться со всеми фазами загрузки и возможностями инъекции кода в каждую из них [10].

Согласно спецификации UEFI система проходит следующие этапы загрузки:

- Security (Sec)
- Pre EFI Initialization (PEI)
- Driver Execution Environment (DXE)
- Boot Dev Select (BDS)

Внедрение в фазу Security невозможно из-за проприетарности (частное ПО с закрытым кодом) данной стадии. В данной фазе подготавливается временная память, адрес и размер которой передаются в фазу PEI. Помимо этого в фазу PEI передается адрес и размер стека, состояние платформы, адрес и размер BFV (Boot Firmware Volume) [10].

Основной функциональной возможностью UEFI стал механизм SecureBoot, осуществляющий проверку загружаемых компонентов ОС криптографическими методами – при помощи механизма цифровой подписи, закрытый ключ которой прошивается в чипы системных плат [10].

В фазе PEI инициализируется RAM для запуска фазы DXE. В фазу DXE передается информация об обнаруженных устройствах для корректной инициализации каждого из устройств. Фаза PEI состоит из ядра и модулей PEIM, осуществляющих первичную инициализацию устройств. Список PEIM может быть расширен путем добавления собственных модулей. Ядро PEI обходит все тома прошивки в поиске всех PEI модулей и запускает их. Порядок запуска модулей не случаен и определяется диспетчером PEI. Модули могут иметь зависимости от других модулей, поэтому сперва запускаются модули, не имеющие зависимостей, затем модули, зависящие от них по цепочке [10].

Код DXE состоит из ядра (DXE Core), диспетчера и драйверов. Ядро инициализирует и запускает службы UEFI. Диспетчер осуществляет поиск всех DXE-драйверов и передачу управления каждому из них. Данные драйверы могут содержать зависимости от других компонентов. Каждый DXE-модуль может осуществлять загрузку и запуск исполняемых образов, одним из которых может выступать загрузчик ОС. После исполнения драйверов осуществляется поиск загрузчика ОС [10].

Таким образом, инъекция драйвера как в фазу PEI, так и в DXE может нарушить процесс загрузки ОС, запустив исполняемый образ в UEFI. Рассмотрим практический способ влияния на процесс загрузки на примере инъекции вредоносного DXE-драйвера с использованием утилиты UEFI Tool и программатора. UEFI Tool позволяет считывать и редактировать бинарный файл прошивки (BFV), расширяя его исполняемым кодом и различными данными. В качестве примера приведем сценарий встраивания и функционирования вредоносного драйвера в одной из фаз [10].

Стоит отметить, что такой драйвер может иметь как примитивный вид, так и представлять собой многофункциональный программный компонент. Для простоты понимания можно ввести допущение, что загружаемый исполняемый образ расположен в корне одной из файловых систем. Данное допущение не уменьшает значимости данного вектора атаки на BIOS, так как исполняемый образ может быть загружен в систему в режиме выполнения самим драйвером, содержащего вредоносный код. Получив список всех файловых систем, драйвер осуществит проверку наличия необходимого образа и, в случае успеха, загрузит код в память и передаст ему управление. Стоит заметить, что для поиска исполняемого образа в коде драйвера могут использоваться протоколы. Как было сказано выше, порядок получения управления различными драйверами строго не определен, а это значит, что на момент выполнения используемые протоколы могут быть еще не доступны для использования. Для обеспечения доступности используемых протоколов необходимо использовать секцию [Дерех]. В данной секции указывается список протоколов, использование которых необходимо разрабатываемому драйверу. Эта секция обеспечивает получение драйвером управления только тогда, когда системные службы или другие драйверы предоставят доступ к использованию необходимых протоколов, указанных в этой секции [10].

Считав программатором с чипа бинарный файл прошивки, злоумышленник может приступить к ее модификации. Полученные после сборки исходного кода драйвера файлы необходимо обернуть в определенный формат и добавить в один из томов прошивки системы.

Злоумышленник успешно завершит атаку, записав программатором модифицированный бинарный файл на чип обратно.

Рассмотренный способ влияния на процесс загрузки подтверждает необходимость проверки каждого из DXE-драйверов, получающих управление, так как каждый из них может содержать потенциально вредоносный код. Доверенную загрузку можно нарушить не только инъекцией DXE-драйверов, но и PEI-драйверов. Разработка драйверов PEI (как для вирусов, так и для средств защиты) сложнее, так как недоступна проинициализированная память, протоколы и системные службы. Однако, процедура инъекции PEI-драйвера в один из томов прошивки системы ничем не отличается.

Для обеспечения защиты от неконтролируемого встраивания драйверов программными средствами необходимо обеспечить гарантированное получение управления средствами защиты при каждом старте ЭВМ до запуска модулей PEI и DXE и невозможность осуществить загрузку ОС в обход средств защиты.

Гарантированное получение управления до запуска модулей можно обеспечить только в случае функционирования средства защиты на уровне PEI Core или SEC. Учитывая проприетарность кода фазы SEC, внедрение компонента защиты в PEI Core представляется правильным. Невозможность осуществить загрузку ОС в обход средств защиты можно обеспечить исключительно путем сертификации BIOS и опломбирования корпуса ЭВМ. Однако, имея сертифицированный BIOS и опломбированный корпус, можно смело утверждать, что компонент безопасности, реализованный в виде DXE-драйвера, получит управление и не позволит нарушить доверенную загрузку, проведя процедуру аутентификации и контроля целостности.

Средство защиты, которое обеспечит проверку драйверов, может быть не только программным, но и программно-аппаратным. Программная составляющая такого средства может также представлять собой DXE-драйвер, который в сочетании с аппаратно-реализованным сторожевым таймером не позволит вредоносному коду продолжить процесс загрузки в обход средства защиты. В случае, если драйвер средства защиты не получит управление через определенное время после старта системы, сторожевой таймер выполнит перезапуск системы аппаратными способами [9].

Итак, удалось убедиться, что вполне доступными средствами можно осуществить инъекцию вредоносного кода путем расширения BFV DXE-драйвером, более того, это было проделано на практике в стендовых условиях. В то же время эта угроза может быть сведена к нулю, если системную прошивку BIOS UEFI расширить средством

защиты, которое будет перехватывать управление при старте, проводить аутентификацию и проверку целостности и в случае успеха продолжать процедуру загрузки.

Появление хорошо унифицированного UEFI упростило разработку, как легального программного обеспечения, так и вредоносного. В конце 2014 года на 31-м Всемирном конгрессе хакеров Рафаил Войчук и Кори Каленберг продемонстрировали атаку на UEFI, получившую название Speed Race, связанную с уязвимостью в реализации UEFI. Среди аппаратных платформ, имеющих уязвимость, оказались ноутбуки Dell Latitude и HP EliteBook. В июле 2015 года после скандальной утечки исходных кодов шпионского ПО, разработанного итальянской компанией Hacking Team, стало известно о первом UEFI-рутките. Сотрудники Hacking Team разработали вредоносное ПО специально для UEFI фирмы Insyde, которые очень популярны в ноутбуках, однако данное ПО успешно функционирует и на платформах с AMI BIOS. Особенность вредоносного ПО, как и руткита Mebromi, в том, что ни переустановка ОС, ни форматирование жесткого диска, ни даже его замена, не помогут избавиться компьютер от его воздействия. Таким образом, мы видим, что развитие вредоносного ПО происходит достаточно динамичными темпами, поэтому технологию SecureBoot стоит рассматривать только как возможную меру из состава целого комплекса механизмов для обеспечения безопасной загрузки, но не как панацею [3].

### 3. Доверенная загрузка виртуальных сред

Сегодня всё большую популярность приобретает размещение рабочих станций пользователей в системах виртуализации. Это позволяет создать единую точку управления, развертывания и администрирования рабочих станций.

Обратимся к вопросу безопасности виртуальных сред и рассмотрим некоторые типовые действия злоумышленника и угрозы, к которым они ведут:

- несанкционированное чтение и изменение данных, обрабатываемых в системах виртуализации ведет к угрозе целостности и конфиденциальности информации обрабатываемой в АС;
- несанкционированное изменение аутентификационной информации, а именно подмена сертификатов, хэшей паролей и др. ключевых данных может привести к добавлению в систему новых привилегированных учетных записей или компрометации существующих;
- внедрение программных закладок и вредоносного ПО, в частности таких как руткиты и буткиты, предназначенных для маскировки объектов, контроля за событиями, происходящими в системе и сбора данных.

Таким образом, с одной стороны, гипервизор, выполняющий функции монитора виртуальных машин, повышает сервисные возможности компьютера и снижает его эксплуатационные расходы. Но, с другой стороны, гипервизор можно негласно внедрить как программную закладку с бесконтрольными возможностями, несущими угрозу информационной безопасности [3].

Суть угрозы «тонкого гипервизора», которая имеет образное название Blue Pill заключается в захвате запущенного экземпляра операционной системы (захват производится при запуске ОС) «тонким» гипервизором и виртуализацией им остальной части компьютера. Основная операционная система будет все еще поддерживать существующие в ней ссылки на все устройства и файлы, но почти все, включая аппаратные прерывания, запросы данных и даже системное время будут перехватываться гипервизором, который будет отсылать фальшивые ответы. Ввиду существования угроз виртуальной среды, подобных описанной ранее, требование доверенной загрузки в указанных выше приказах ФСТЭК относятся не только к физическому оборудованию, но и к среде виртуализации [3]:

- в информационной системе должна обеспечиваться доверенная загрузка серверов виртуализации, виртуальных машин (контейнеров) и серверов управления виртуализацией в соответствии с мерой защиты «Обеспечение доверенной загрузки средств вычислительной техники».
- доверенная загрузка должна обеспечивать блокирование попыток несанкционированной загрузки гипервизора, хостовой и гостевых операционных систем.
- доверенная загрузка гипервизоров обеспечивается с использованием средств доверенной загрузки, функционирующих на серверах виртуализации.
- доверенная загрузка виртуальных машин (контейнеров) обеспечивается с использованием многокомпонентных средств доверенной загрузки, отдельные компоненты которых функционируют в гипервизорах.

### **Заключение**

Многообразие вредоносного программного обеспечения, функционирующего на уровне BIOS/ UEFI, свидетельствует о серьезной необходимости защиты от них. Кроме того, злоумышленник может нанести вред системе и без использования вредоносного программного обеспечения (например, загрузившись с внешнего носителя). Разрешать доступ только для авторизованных пользователей, контролировать целостность разделов и файлов, осуществлять доверенную загрузку - задача средств доверенной загрузки.

Большинство средств на сегодняшний день являются программно-аппаратными. Средняя стоимость аппаратного модуля доверенной загрузки составляет несколько десятков тысяч рублей. Однако использование аппаратной платы не всегда возможно: может отсутствовать необходимый слот на материнской плате или плата может оказаться несовместимой с версией BIOS системной платы. Кроме того, установка аппаратной части на большое количество платформ требует значительных временных ресурсов. Эти причины вкуче с возрастающим количеством угроз для мобильных платформ позволяют спрогнозировать, что СДЗ уровня базовой системы-ввода вывода будут набирать популярность.

### Список литературы:

1. Аvezова Я.Э., Фадин А.А. «Вопросы обеспечения доверенной загрузки в физических и виртуальных средах». - Журнал «Вопросы кибербезопасности» № 1(14) – 2016.
2. Алтухов А.А. Неатомарный взгляд на РКБ как на композицию перехвата управления и контроля целостности. // Комплексная защита информации: материалы XX науч.-практ. конф., Минск, 19–21 мая 2015 г. — Минск: РИВШ, 2015, с 53-55.
3. Зайцев О.В. Технология rootkit - современная угроза из прошлого // Защита информации. Инсайд. 2008. № 5 (23). С. 50-55.
4. Уязвимость компьютерных систем - <https://mydocx.ru/1-106144.html>.
5. «КАМИ BIOS» - база защищенных компьютерных систем - [http://www.okbsapr.ru/kzi\\_cherchesov\\_2018\\_1.html](http://www.okbsapr.ru/kzi_cherchesov_2018_1.html).
6. Лыдин С.С. «О средствах доверенной загрузки для аппаратных платформ, реализующих спецификацию UEFI» - [http://www.okbsapr.ru/lydin\\_2016\\_1.html](http://www.okbsapr.ru/lydin_2016_1.html).
7. Уязвимости операционных систем - <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/-blog/407979>.
8. UEFI и универсальный механизм заражения - <https://www.computerra.ru/181364/uefi-trojan-n-bootkit-light-eater>.
9. Инъекции в UEFI BIOS. Атака и защита - [http://www.okbsapr.ru/kzi\\_cherchesov\\_2018\\_1.html](http://www.okbsapr.ru/kzi_cherchesov_2018_1.html).
10. Фазы загрузки UEFI и способы контроля исполняемых образов – [http://www.okbsapr.ru/cherchesov\\_vzi\\_2018.html](http://www.okbsapr.ru/cherchesov_vzi_2018.html).



## 1.2. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА НЕПРЕРЫВНОМ ШИРОКОПОЛОСНОМ СТАНЕ

*Шалаевский Дмитрий Леонидович*

*канд. техн. наук, доцент,  
Череповецкий государственный университет,  
РФ, г. Череповец*

### INVESTIGATION OF HEAT REGIME OF HOT ROLLING OF STEEL STRIP ON CONTINUOUS WIDE STRIP ROLLING MILL

*Dmitry Shalaevskii*

*candidate of Science, associate Professor,  
Cherepovets state university,  
Russia, Cherepovets*

**Аннотация.** Целью исследования являлось повышение точности модели теплового режима процесса горячей прокатки, основанной на уравнениях теплового баланса, для достоверного прогнозирования температуры поверхности бочек рабочих валков. Правильное определение температур бочек при работе по заданной технологии позволит оперативно вводить корректировки в профилировки бочек на этапе перешлифовки валков после их вывалки. Для достижения поставленной цели провели пассивный эксперимент, в котором фиксировали фактические параметры обжатий и натяжений полосы, параметры работы системы охлаждения стана. Контактным пирометром определяли температуры поверхностей бочек рабочих валков после их вывалки из клетей. Результаты эксперимента позволили методом регрессионного анализа создать уравнение для расчета коэффициента контактного теплообмена, используемого в балансной модели теплового режима процесса непрерывной горячей прокатки. Применение созданного уравнения в методике расчета теплового режима

позволили достоверно определять температуры после вывалки из рабочих клеток поверхностей бочек рабочих валков и, следовательно, вводить корректировки при их перешлифовки.

**Abstract.** The aim of the study was to improve the accuracy of the model of the thermal mode of the hot rolling process. Model was based on the equations of heat balance mentioned in. It was made for reliable prediction of the surface temperature of the rolling mill rolls. Correct determination of the surface temperature of the rolling mill rolls will make it possible to promptly introduce corrections into the profiling of the roll surface at the stage of rounding the rolls after they were taken out from the rolling stand. To achieve this goal, we conducted a passive experiment in which we recorded the actual parameters of reductions and strip tensions, the operating parameters of the mill cooling system. The contact pyrometer determined the temperature of the surfaces of the work rolls after they were rolled out of the stands. The results of the experiment allowed the method of regression analysis to create an equation for calculating the coefficient of contact heat transfer used in the balance model of the thermal mode of the continuous hot rolling process. The application of the created equation in the method of calculating the thermal regime reliably determine the temperature after pouring out the working surfaces of the barrels of the working rolls from the working stands and, therefore, made possible adjustments when they are ground.

**Ключевые слова:** прокатка; тепловой режим; профилировка валков.

**Keywords:** rolling; thermal conditions; roll profiling.

Тепловой режим процесса прокатки – важнейшая составляющая часть расчета оборудования и технологического процесса стана. Он определяет сопротивление деформации прокатываемого металла, мощность и конструктивные параметры оборудования системы охлаждения стана, стойкость прокатных валков и качество прокатываемых полос.

Под понятием тепловой режим прокатного стана подразумевают совокупность:

1. температур валков, как средних по сечению, так и в каждой точке объема валка;
2. температур полосы по пропускам;
3. расходов смазочно-охлаждающей жидкости в целом на прокатную клетку, в целом на валок, по зонам охлаждения и на полосу в межклетевых промежутках.

Основной метод расчета вышеуказанных параметров теплового режима стана – составление и решение уравнений теплового баланса

процесса прокатки [1, 2]. В качестве исходных данных для этих уравнений задают:

1. конструктивные параметры стана (размеры валков, длины межклетевых промежутков, характеристики оборудования системы охлаждения);

2. принятые параметры технологического режима (механические характеристики материала прокатываемой полосы, распределение обжатий по пропускам, заданные натяжения полосы и скорость прокатки);

3. теплофизические исходные данные (коэффициенты теплоотдачи, теплоемкость полосы и охлаждающей жидкости, температурные характеристики охлаждающей жидкости, коэффициент выхода тепла).

Значительное влияние на результат расчета оказывают последняя упомянутая категория исходных данных – теплофизические исходные данные.

Температуры рабочих и опорных валков определяют из уравнений их теплового баланса, которые приводятся к виду:

$$\begin{aligned} A_1 \cdot t_p + B_1 \cdot t_{on} &= D_1, \\ A_2 \cdot t_p + B_2 \cdot t_{on} &= D_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$A_1 = \alpha_{кт.р.} \cdot l_c + \frac{\pi - \varphi_4 - \varphi_1}{2} \cdot D_p \cdot \alpha_{1p}^{\text{вх.}} + \frac{\pi - \varphi_2}{2} \cdot D_p \cdot \alpha_{1p}^{\text{вых.}} + \alpha_{кт.оп.} \cdot b_{он.}$$

( $\alpha_{кт.р.}$  – коэффициент контактного теплообмена рабочих валков и полосы:

$\alpha_{кт.р.} = 5660 \cdot p_{ср}/200 - 1490$  ( $p_{ср}$  – среднее нормальное контактное давление в очаге деформации) [2],  $l_c$  – длина очага деформации:  $l_c = \sqrt{R\Delta h}$ ,  $D_p$  – диаметр рабочего валка,  $\alpha_{1p}$  – коэффициент теплоотдачи конвективным теплообменом рабочих валков с охлаждающей жидкостью [2]:

$$\alpha_{1p} = 1050 \cdot \frac{V_{11}}{V_{\min}} + 21100 \cdot \frac{P_{охл}}{P_{\min}} - 100 \cdot \left( \frac{V_{11}}{V_{\min}} \right)^2 - 7100 \cdot \left( \frac{P_{охл}}{P_{\min}} \right)^2 - 14590,$$

где:  $V_{\min} = 50 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$  – минимальная плотность облива;

$P_{\min} = 10 \text{ бар}$  – минимальное давление в системе охлаждения,

$p$  – давление воды на охлаждение валков,  $V_{11}$  – удельная плотность облива:  $V_{11} = V/(\varphi_3 \cdot R \cdot 2)$ ,  $V$  – расход воды на рабочий валок,  $\alpha_{\text{кт.оп}}$  – коэффициент контактного теплообмена опорного валка с рабочим),  $b_{\text{оп}}$  – полуширина площадки контакта рабочего валка с опорным, углы  $\varphi$  поясняются на рис. 1.

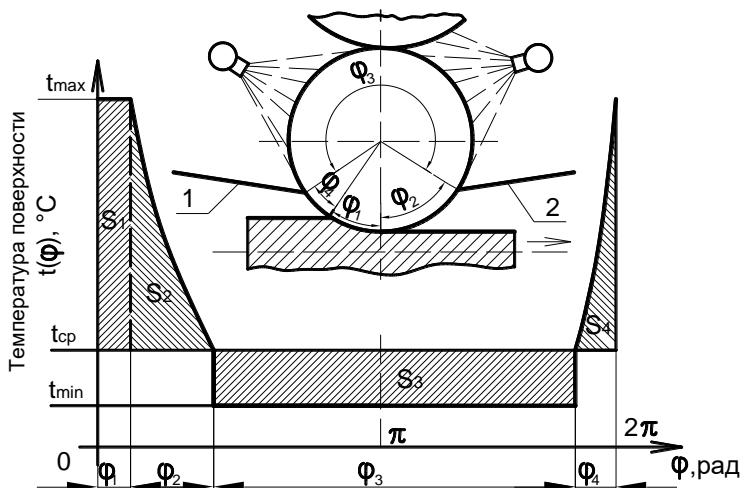


Рисунок 1. Схема тепловых потоков и углов контакта охлаждающей воды и бочки прокатного валка

$$A_2 = -\alpha_{\text{км.он.}} \cdot b_{\text{он.}}, B_1 = -\alpha_{\text{км.он.}} \cdot b_{\text{он.}},$$

$$B_2 = \frac{\varphi_5}{2} \cdot D_{\text{он.}} \cdot \alpha_{1\text{он.}} + \alpha_{\text{км.он.}} \cdot b_{\text{он.}} + (2\pi - \varphi_5) \cdot \frac{D_{\text{он.}}}{2} \cdot \alpha_{\text{окр.он.}}$$

( $D_{\text{он}}$  – диаметр опорного валка,  $\alpha_{1\text{он}}$  – коэффициент конвективного теплообмена опорного валка и охлаждающей жидкости,  $\alpha_{\text{окр.он}}$  – коэффициент конвективного теплообмена опорного валка с окружающей средой),

$$D_1 = \alpha_{\text{км.р.}} \cdot l_c \cdot t_n + \frac{\pi - \varphi_4 - \varphi_1}{2} \cdot D_p \cdot \alpha_{1p}^{\text{св}} \cdot t_{\text{охл.1}} + \frac{\pi - \varphi_2}{2} \cdot D_p \cdot \alpha_{1p}^{\text{свс}} \cdot t_{\text{охл.1}}$$

( $t_n$  – температура полосы на выходе из клетки,  $t_{\text{охл.1}}$  – температура воды при подаче на валки),

$$D_2 = \frac{\varphi_5}{2} \cdot D_{on} \cdot \alpha_{lon} \cdot t_{ocл.1} + (2\pi - \varphi_5) \cdot \frac{D_{on}}{2} \cdot \alpha_{окр.он} \cdot t_{окр.}$$

( $t_{окр}$  – температура окружающей среды).

Решения системы (1) выразятся:

$$t_p = \frac{B_2 D_1 - B_1 D_2}{A_1 B_2 - A_2 B_1}; \quad (2)$$

$$t_{on} = \frac{A_1 D_2 - A_2 D_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1}. \quad (3)$$

Тепловая выпуклость рабочего вала по ширине полосы приближенно может быть рассчитана так:

$$\Delta D_{0-b} = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot D_p \cdot (t_0 - t_b), \quad (4)$$

где:  $D_p$  – диаметр бочки рабочего вала,  $t_0$  – температура рабочего вала в середине бочки,  $t_b$  – температура рабочего вала у кромки полосы, равная (по опыту измерения).

Стоит отметить, что в литературе достаточно мало данных о величинах коэффициентов теплообмена, которые применяются в приведенной выше балансной модели.

Чтобы устранить этот недостаток был проведен пассивный эксперимент на действующем широкополосном стане горячей прокатки. В рамках этого эксперимента фиксировали параметры прокатки и температуры бочек рабочих валков после вывалки их из клетей. По результатам эксперимента установили достоверные зависимости коэффициентов теплообмена от параметров прокатки.

Опытным путем было установлено, что температура участков бочки, примыкающих к ее торцам, на 7 – 10<sup>0</sup>С выше температуры охлаждающей воды. Перепад температуры бочки между ее серединой и участками, контактирующими с кромками полос, находится в диапазоне 20-30 % перепада температур между серединой и участками, примыкающими к торцам бочки. Температуры рабочих валков в первых клетях чистой группы в зависимости от условий прокатки изменяются на 20 – 30 <sup>0</sup>С (от 52 до 88 <sup>0</sup>С). Установлено, что один из главных факторов, вызывающих столь значительные изменения температур в клетях чистой группы, – непостоянство ритма прокатки, который оценивали коэффициентом ритма:

$$K_{\text{ритма}} = \frac{\tau_M}{\tau_M + \tau_{\text{II}}}, \quad (5)$$

где:  $\tau_M$  – машинное время,  $\tau_{\text{II}}$  – время пауз, во время которых воду, подаваемую на валки, не отключают. При работе валков, подвергшихся измерениям, величина  $K_{\text{ритма}}$  изменялась в диапазоне 0,46 – 0,9, т. е. более чем в два раза, причем, чем меньше была величина  $K_{\text{ритма}}$ , тем ниже была измеренная температура рабочих валков.

Т. к. во время пауз отсутствует контактный теплообмен между полосой и рабочими валками, было решено осуществить усреднение коэффициента контактного теплообмена «полоса – рабочий валок»  $\alpha_{\text{кт.р.}}$ . По данным литературы при горячей прокатке коэффициент изменяется в диапазоне  $\alpha_{\text{кт.р}} = 4700 - 23000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ . Учитывая, что во время пауз  $\alpha_{\text{кт.р}} = 0$ , было решено ввести коэффициент ритма в регрессионное выражение для расчета  $\alpha_{\text{кт.р}}$  и определять величину  $t_{\text{р.ср.}}$  (среднюю температуру в середине бочки валков), усредненную для машинного времени и времени пауз.

По рассчитанной температуре  $t_{\text{р.ср.}}$  среднюю температуру бочки рабочего валка в сечении, где происходит контакт с боковыми кромками полосы, ( $t_{\text{р.б.ср.}}$ ) можно определить по формуле:

$$t_{\text{р.б.ср.}} = t_{\text{р.ср.}} - \Delta t_{0-\text{б}}, \quad (6)$$

где:  $\Delta t_{0-\text{б}}$  – перепад температур от середины бочки до сечения, контактирующего с кромками полосы, равный:

$$\Delta t_{0-\text{б}} \approx 0,25(t_{\text{р.ср.}} - t_{\text{р.Л}}), \quad (7)$$

где:  $t_{\text{р.Л}} \approx t_{\text{воды}} + 8^{\circ}\text{C}$  – температура участков бочки, примыкающих к ее торцам.

С помощью программного пакета Statistica были обработаны экспериментальные данные и получено регрессионное уравнение зависимости  $\alpha_{\text{кт.р.}}$  от  $p_{\text{ср}}$  и  $K_{\text{ритма}}$  для непрерывного широкополосного стана горячей прокатки:

$$\alpha_{\text{кт.р.}} = -18632 + 5,9 \cdot p_{\text{ср}} + 71583 \cdot K_{\text{ритма}} - 49131 \cdot K_{\text{ритма}}^2.$$

Величина  $R^2 = 0,89$ , что свидетельствует о достоверности полученного уравнения.

Согласно этому уравнению, диапазон усредненных значений  $\alpha_{\text{кт.р}}$  составил от 1600 до 14950 Вт/(м<sup>2</sup>\*град).

Диапазон величин  $p_{ср}$  и  $\tau_m/(\tau_m + \tau_n)$ , для которых получено последнее уравнение:  $p_{ср} = 180 \div 1120$  МПа;  $\tau_m/(\tau_m + \tau_n) = 0,92 \div 0,51$

Результаты оценки достоверности балансной модели теплового режима при использовании вновь предложенных формул для расчета коэффициентов теплообмена показали, что наибольшая погрешность расчета температуры бочек рабочих валков рабочих клетей составила 8,01 %.

Применение балансной модели теплового режима в сочетании с созданным регрессионным уравнением позволили достоверно определять температуры поверхностей бочек рабочих валков после их вывалки из рабочих клетей и, следовательно, вводить корректировки при их перешлифовке.

### Список литературы:

1. Беляковский М.А. и др. Технология прокатного производства. Справочник в 2-х томах. – М.: Металлургия, 1991, - 423 с.
2. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки: (теория, оборудование, технология). – М.: ОАО "Черметинформация"), 2004. – 412 с.

### 1.3. РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

## ТЕХНОЛОГИИ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ В СОВРЕМЕННЫХ КОГЕРЕНТНЫХ DWDM – СИСТЕМАХ СВЯЗИ

*Орловский Павел Андреевич*

*магистрант,  
Московский Технический Университет  
Связи и Информатики (МТУСИ),  
РФ, г. Москва.*

Стремительное развитие интернета и постоянно растущий спрос на мультимедийные приложения, для которых необходимы высокоскоростные линии связи, требуют повышения пропускной способности оптических сетей. В результате нового потребительского запроса возникла необходимость применения спектрального уплотнения каналов в волоконно-оптических линиях связи [1].

WDM (Wavelength Division Multiplexing) системы, целью которых является увеличение пропускной способности систем передачи, развивались сначала по интенсивному пути. При этом уменьшался шаг между оптическими несущими, но это вело к удорожанию таких DWDM (Dense WDM) систем, что тормозило их внедрение. В результате появления оптических волокон, у которых рабочая полоса пропускания расширилась от 30 нм до 340 нм, появилась возможность использовать более дешевые системы с большим шагом (20 нм) сетки частот CWDM (Coarse WDM), то есть перейти на экстенсивный путь. Однако со временем, появилась необходимость в увеличении суммарной скорости передачи, что привело к необходимости заменять некоторые каналы CWDM-систем на несколько несущих DWDM. Такие системы получили название гибридных WDM- систем. При этом в зависимости от стратегии расширения числа несущих и несимметричного расположения каналов их суммарное число могло быть либо 32, либо 68. Это позволяло значительно увеличить суммарную скорость передачи, так как изначально в CWDM- системах предполагалось 8-16 каналов [2, с. 27-28].

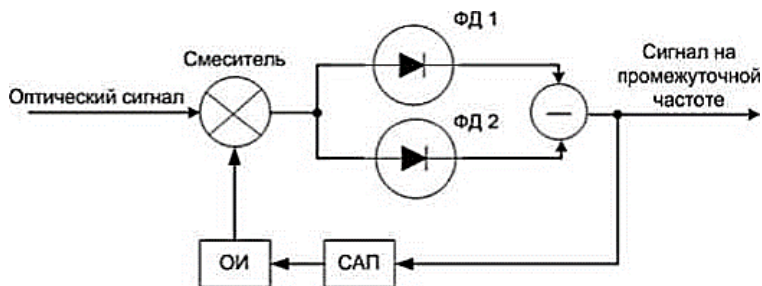
Увеличение суммарной скорости передачи информации в современных системах связи с технологией WDM достигается повышением скорости передачи информации в одном канале, эффективным использованием рабочих спектральных областей (3, 4 и 5 окон прозрачности).



В волоконно-оптических системах передачи, где канальная скорость не превышает 10 Гбит/с, как правило, используются форматы модуляции NRZ, RZ, а также их модификации.

При достижении скорости передачи в 40 Гбит/с наиболее эффективным с технологической и экономической точек зрения является адаптивный дифференциальный фазовый формат модуляции - ADPSK. В некоторых системах возможна работа спектральных каналов на различных скоростях и с различными форматами модуляции, например 10 Гбит/с NRZ и 40 Гбит/с NRZ-ADPSK. При этом используется сетка частот с разнесением в 50 ГГц. Такие решения позволяют модернизировать действующие DWDM системы, в которых применялись 80 каналов со скоростью по 10 Гбит/с.

Стоит отметить, что бинарные фазовые форматы не могут быть использованы в системах со скоростями в 100 Гбит/с. Это обусловлено физическими ограничениями, не дающими превысить скорость цифровой обработки и передачи символов более 50 Гбод. Следовательно, возникает необходимость использования многоуровневых форматов модуляции, позволяющих уменьшить скорость передачи символов. Оптимальными для реализации использования многоуровневых форматов модуляции являются когерентные системы связи. Они позволяют увеличивать скорость передачи информации в разы, что определяется форматом модуляции. Например, формат DP-QPSK (двуполяризационная четырехуровневая фазовая модуляция) с емкостью 4 бит/символ дает спектральную эффективность 2 (бит/с)/Гц с сеткой частот 50 ГГц [4, с. 114]. Работа когерентного приемника (рис. 1) состоит в том, что оптический сигнал смешивается с опорным излучением (ОИ) и детектируется балансным фотоприемником, содержащим два фотодиода (ФД1, 2) и схему вычитания.



Примечание: ОИ – опорное излучение; ФД - фотодиод; САП - схема автоподстройки.

**Рисунок 1. Работа когерентного приемника**

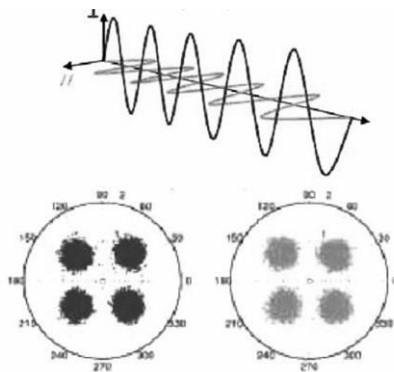
С целью синхронизации ОИ используется схема автоподстройки (САП). Гетеродинный фотоприемник формирует электрический сигнал, содержащий компоненту на промежуточной (разностной) частоте, которая несет в себе всю информацию, закодированную в переданном сигнале. При совпадении частот ОИ и несущей волны оптического сигнала когерентная система является гомодинной. Стоит отметить, что при использовании гетеродинного когерентного приемника промежуточная частота намного больше частоты передачи сигнала, что ведет к затруднениям при использовании таких приемников на скоростях 100 Гбит/с и выше. Однако, гомодинные приемники требуют высокой точности синхронизации частот ОИ и несущей частоты сигнала. Именно поэтому лишь недавно в результате создания приемников с высокоскоростной цифровой обработкой сигналов стало возможным внедрение таких систем, так как в электрической форме стало возможным устранение фазового дрейфа.

Гомодинный когерентный оптический приемник преобразует амплитуду и фазу оптического сигнала в электрическую форму. Появление цифровой обработки сигналов снимает жесткие требования к взаимной синхронизации ОИ и несущей оптического сигнала. Цифровая обработка сигналов выполняет функции синхронизации и декодирования цифровой информации. Входной оптический сигнал и ОИ разделяются на две поляризационные компоненты при помощи поляризационных делителей (PBS). Две поляризационные компоненты информационного сигнала смешиваются с двумя поляризационными компонентами непрерывного излучения опорного лазера (LO) с использованием 90-градусного оптического смесителя (поляризационно-квадратурный смеситель — polarization-diversity 90-degree optical hybrid). Опорный лазер может перестраиваться на  $\pm 20$  МГц относительно центральной частоты принимаемого сигнала. Для лазера передатчика и лазера — источника опорного излучения ширина полосы должна быть менее 100 кГц. Четыре пары сигналов с балансных фотоприемников оцифровываются в АЦП и подаются на устройство цифровой обработки сигналов. Формируемые четыре потока символов с АЦП интерпретируются как действительная и мнимая части (I и Q) двух потоков комплексных символов, по одному «комплексному потоку» для каждой поляризации и обрабатываются в блоке цифровой обработки сигналов [3, с. 25].

Достижимая максимальная скорость передачи информации в современных системах связи определяется техническими характеристиками аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Современные АЦП могут выдавать скорость в 56 Гбод. При использовании таких АЦП увеличилась производительность современных систем цифровой обработки сигналов,

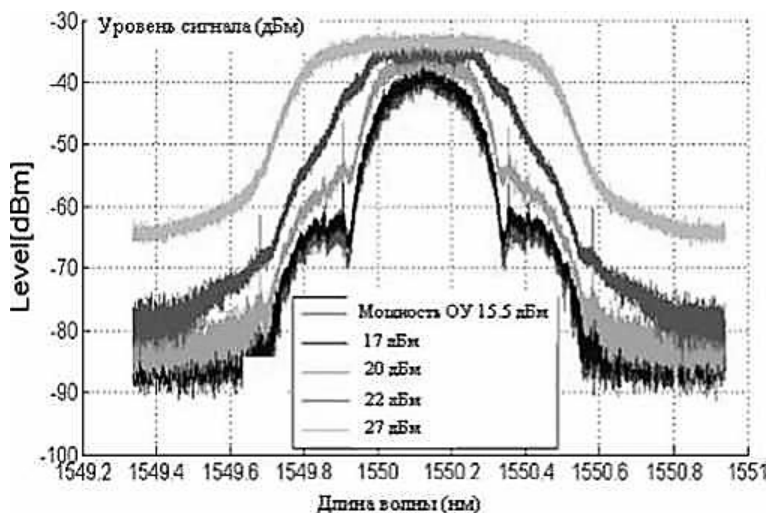
скорость работы когерентных приемников достигла 28 Гбод. Для систем передачи данных со скоростями 100 Гбит/с оптимальным является формат DP-QPSK (рис. 2). В каждой из двух ортогональных поляризации используется фазовая модуляция QPSK. В каждой поляризации передается по 2 бита на символ, всего 4 бит/символ. Для скорости передачи символов 28 Гбод обеспечивается битовая скорость 112 Гбит/с. Скорость передачи информации – 100 Гбит/с, применяется FEC с 12 % избыточностью.

При использовании сетки частот 50 ГГц в системах связи 100 Гбит/с с DP-QPSK обеспечивается спектральная эффективность 2 (бит/с)/Гц. Применяя плотную частотную сетку с разнесением в 33,3 ГГц, реально достичь спектральной эффективности 3 (бит/с)/Гц. Использование алгоритмов многосимвольной обработки дает спектральную эффективность 4 (бит/с)/Гц с сеткой частот 25 ГГц/с. С технико-экономической точки зрения выгоднее использование сетки в 33,3 ГГц, так как этот вариант легче технологически реализуем. Для увеличения канальной скорости более 100 Гбит/с необходимо использовать многоуровневые (M-уровневые,  $M > 4$ ) форматы модуляции совместно с поляризационным мультиплексированием и когерентным приёмом. Следует отметить, что использование форматов DP 16QAM, DP 32QAM, DP 64QAM и DP 256QAM уменьшает дальность передачи информации из-за увеличения чувствительности к шумам усиленного спонтанного излучения. Важным достоинством многоуровневых форматов является более высокая по сравнению с двухуровневыми форматами спектральная эффективность. Для бинарных форматов она ограничена значением 1 (бит/с)/Гц, для многоуровневого формата — величиной M (бит/с)/Гц. Существенным минусом многоуровневых форматов можно считать уменьшение дальности передачи и экономичности систем дальней связи.



**Рисунок 2. Сигнал в формате DP-QPSK**

Также стоит отметить необходимость контроля за выходной мощностью оптического излучения на выходе оптических усилителей (ОУ). При превышении некоторого уровня (экспериментально компания Alcatel-Lucent определила этот порог равным примерно 20 дБм) наблюдается сильное уширение спектра оптического сигнала на выходе ОУ, что может привести к недопустимому перекрытию между каналами в DWDM-системах [5, с. 632-633]. Зависимость ширины спектра оптического излучения на выходе ОУ от мощности выходного сигнала ОУ показана на рисунке 3. Компания Alcatel-Lucent рекомендует устанавливать мощность на уровне 19 дБм.



**Рисунок 3.** Зависимость ширины спектра оптического излучения на выходе ОУ от мощности выходного сигнала ОУ

### Выводы

Таким образом, проведенный анализ существующих технологий достижения высоких скоростей передачи информации в современных когерентных системах связи со спектральным разделением каналов показывает, что по ряду существенных параметров формат DP-QPSK со скоростью передачи информации 100 Гбит/с на один канал является наиболее перспективным форматом для современных DWDM-систем дальней связи с суммарной скоростью 10-20 Тбит/с. Также рассматриваемая технология открывает новые перспективы для увеличения скоростей передачи в будущем.

**Список литературы:**

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов. - М: Горячая линия- Телеком, 2012. - 448 с.
2. Слепов Н.Н. Технология разреженных систем WDM (CWDM). Особенности и применение // Технологии и средства связи. - 2007. - № 1. - С. 27-29.
3. Трещиков В.Н. Гуркин Н.В. Наний О.Е. Оптические когерентные DWDM системы связи с канальной скоростью 100Гбит/с // Фотон-экспресс, 2014, № 4 (116). - С. 24-27.
4. Фатхулин Т.Д. Анализ современных когерентных DWDM-систем связи. Национальная ассоциация ученых. - Екатеринбург: изд-во НАУ, 2015. - № 1 (6). - С. 113-116.

**ПРОКЛАДКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ  
ЛИНИЙ СВЯЗИ (ВОЛС) В ГРУНТ**

*Орловский Павел Андреевич*

*магистрант, Московский Технический Университет  
Связи и Информатики (МТУСИ),  
РФ, г. Москва*

Оптические кабели все чаще используются в современных кабельных системах, постепенно вытесняя классическую «медную жилу». Прокладка оптического-волоконного кабеля требует составления проекта, согласно которому и проводится работа по монтажу кабельных систем связи. Существуют различные методы прокладки кабеля, выбор которых зависит от конкретных условий и требований к монтажу. В данной статье рассмотрим подробнее требования и условия для прокладки в грунт.

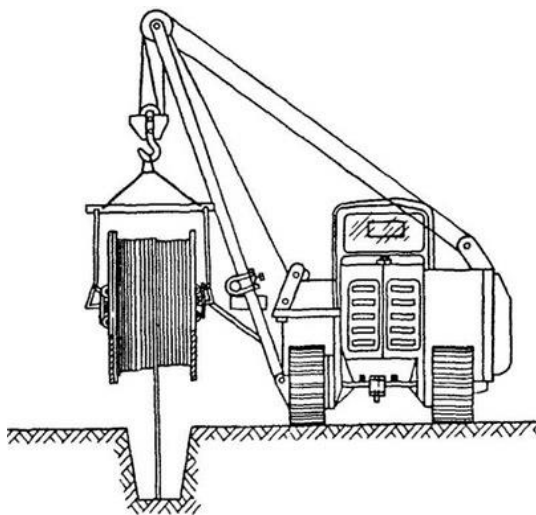
Прокладка ВОЛС в грунте (в земле) – это один из самых распространенных способ прокладки ВОЛС, особенно там, где нет кабельной канализации (например: магистральная линия связи между городами). Хотя такой способ и дороже подвешенного метода прокладки кабеля и занимает больше времени, но прокладка в грунт обеспечивает наилучшую надежность. Существует два основных способа прокладки оптического кабеля в грунт:

- 1) Траншейный способ.
- 2) Бестраншейный способ, с помощью кабелеукладчиков или при горизонтально направленном бурении.

Для прокладки ВОЛС в грунт используют бронированный кабель. Кабельная броня должна соединяться в специальных муфтах и заземляться

для защиты от грозы и воздействия линий электропередач (особенно в местах сближения с опасными объектами). В непосредственной близости от силовых линий (вдоль железных дорог), рекомендуется использовать оптический кабель без металлических элементов. Для идентификации и трассировки линий в будущем, на этапе строительства необходимо использовать специальные маркеры.

Траншейный способ прокладки ВОЛС в грунте в основном применяется при монтаже группы кабелей. Прокладываются кабели в землю также и в обычные траншеи, шириной около 50 см, а также в мини-траншеи шириной порядка 10 см. Такие траншеи используются для прокладки ВОЛС в земле на коттеджных и дачных участках. Глубина прокладки кабеля таким способом не большая, зато при этом не портится внешний вид участков. В Европе очень популярна технология монтажа кабеля в асфальтное покрытие, но в России такой метод используется не часто, в основном из-за плохого качества дорожного покрытия. Асфальт прорезается при помощи специального ножа-пилы. Далее, в полученную траншею шириной от 20-30 мм и глубиной до 305 мм укладывается кабель. Кабель защищают несколькими слоями защитных материалов, или специальным коробом. Такая не большая траншея обеспечивает прохождение оптоволокна в грунте над имеющимися коммуникациями, и почти не наносит ущерба инфраструктуре дорог. После прокладки кабеля траншеи заливаются битумом.

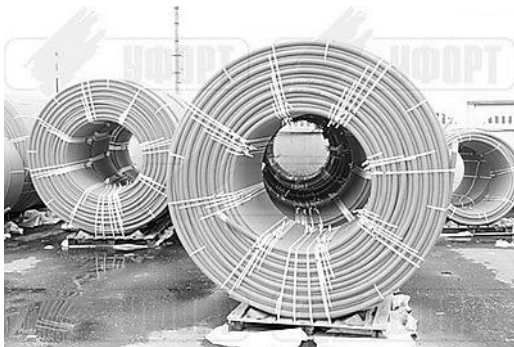


**Рисунок 1. Прокладка оптического кабеля  
с помощью кабелеукладчика**

Возможно применение траншейного способа прокладки ВОЛС в грунт в случае наличия множества препятствий (рядом лежащих коммуникаций, дренажных систем), но в этом случае «проблемный участок» приходится, как правило, проходить вручную.

Один из самых распространенных способов бестраншейной прокладки ВОЛС – это прокладка бронированного кабеля в землю с помощью “ножевого” кабелеукладчика. Такая технология используется на территории с малыми перепадами рельефа и относительно несложных грунтов. Применяется такой способ лишь на линиях сравнительно небольшой протяженности (до 100 км).

В России и Европе большой популярностью пользуется способ прокладки ВОЛС в грунте в ЗПТ (защитные пластмассовые трубы). ЗПТ изготавливают из высокопрочного полиэтилена длиной от 600 до 4000 метров и поставляются на специальных бухтах или барабанах (Рис. 2.). Оптоволоконный кабель помещается в ЗПТ после укладки трубы, что исключает повреждение кабеля при проведении земляных работ. Также отпадает необходимость в броне для кабеля, и позволяет использовать недорогие кабели. Срок службы кабелей в ЗПТ достигает 50 лет.



**Рисунок 2. Барабан ЗПТ**

Эксплуатация ЗПТ допускается при температуре от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $65^{\circ}\text{C}$ , а прокладка возможна в как открытых траншеях, так бестраншейным способом при температуре от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Недопустимы резкие перегибы, минимальный радиус должен составлять 1,5 м и более.

В свою очередь, прокладка ВОЛС в землю в защитные трубы обычно осуществляется методами ручного затягивания при помощи Устройства закладки кабеля (УЗК); механизированного затягивания при помощи кабельных лебедок; пневматического поршневого или беспоршневого метода.

В целом прокладка ВОЛС в грунт при помощи специальных кабелеукладчиков – самый быстрый способ прокладки ВОЛС. Он обеспечивает значительную степень механизации процесса наряду с оптимальной глубиной трассы (приблизительно 1,2 м). Перед прокладкой грунт прорезывается кабельным ножом, и в полученную прорезь укладывается кабель. Некоторые кабелеукладчики позволяют укладывать одновременно несколько кабелей на разной глубине. Над кабелями требуется укладка сигнальной ленты или установка специальных информационных столбиков. Практики рекомендуют использовать сигнальную ленту, так как столбики в нашей стране порой служат плохую службу, привлекая внимание искателей металла. Сигнальная лента изготовлена из не гниющего материала чаще всего желтого цвета. Технология прокладки ВОЛС требует обеспечения постоянной скорости, а также не допущения резких изгибов и превышения допустимого растяжения кабеля (даже наклон кабелеукладчика должен быть постоянным).

Прокладка ВОЛС в грунте (в земле) может также вестись и методом горизонтального направленного бурения (ГНБ) при строительстве ВОЛС. Этот метод, называемый также «наклонно-направленным бурением» - один из самых распространенных при прокладке стальных футляров для кабелей. При этом длина прокола может превышать 1000 м без выхода на поверхность. Данная технология применяется для пересечения таких препятствий, как сельскохозяйственные угодья, железные и автомобильные дороги, трамвайные пути, водные преграды, на территории аэропортов, под взлетно-посадочными полосами, а также на природоохранных территориях.

### **Выводы**

Несмотря на не самую низкую цену и время прокладки преимущество в надежности является главной причиной, почему прокладка оптических кабелей в грунт останется самым распространенным способом прокладки, и вряд ли в ближайшем будущем ситуация изменится.

### **Список литературы:**

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов. - М: Горячая линия- Телеком, 2012. - 448 с.
2. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В., «Оптические волокна для линий связи», М: ЛЕСАРпт, 2003 г.
3. Горднев И.И., «Волоконно-оптические линии связи» Учебное пособие для ВУЗов, Москва, Радио и связь, 1990 г.
4. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи. Том1-2009г и Том 2 - 2010 г.



## 1.4. ЭЛЕКТРОНИКА

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО EUS В РЕЖИМЕ РОСТА НА INAS (100).

**Яшкина Лидия Константиновна**

*студент,  
Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

**Шульгин Дмитрий Анатольевич**

*канд. физ. – мат. наук, доцент,  
Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

### GROWTH-MODE INVESTIGATION OF EPITAXIAL EUS ON INAS(100)

**Lidia Yashkina**

*student, Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Dmitriy Shulgin**

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor,  
Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Аннотация.** В статье представлено исследование и оптимизация условий, необходимых для качественного роста эпитаксиальных пленок EuS на подходящих подложках, представляют особый интерес для создания эффективных устройств. Представлены результаты исследования в режиме роста с использованием атомно-силовой микроскопии и точно-профильного анализа.

**Abstract.** The article presents the study and optimization of the conditions necessary for the qualitative growth of epitaxial EUS films on suitable substrates, are of particular interest for the creation of effective devices. The results of the study in the growth mode using atomic force microscopy and point-profile analysis are presented.

**Ключевые слова:** проводник; полупроводник; магнитный полупроводник; температура Кюри (ТС); комнатную температуру (RT); Сульфид европия (EuS); низкоэнергетическая электронная дифракция (SPA-LEED).

**Keywords:** conductor; semiconductor; magnetic semiconductor; Curie temperature (TS); room temperature (RT); europium Sulfide (EuS); low-energy electronic diffraction (SPA-LEED).

Интерес к области исследований в области спинтроники не ослабевает и остается таковым в течение нескольких десятилетий [1, с. 294]. Он призван объединить электронные и магнитные свойства носителей заряда для создания новых электронных устройств. Среди ожидаемых преимуществ таких устройств - более быстрая обработка данных и более существенные возможности магнитного хранения. Таким образом, идеальным спинтронным устройством был бы магнитный полупроводник с температурой Кюри (ТС), намного превышающей комнатную температуру (RT). Сульфид европия (EuS) представляет собой такой магнитный полупроводник с очень высоким магнитным моментом 7 мкБ на атом Eu, поступающий из сильно локализованной, наполовину заполненной 4f-оболочки. Энергия запрещенной зоны составляет 1,65 эВ, и было показано, что она перестраивается с помощью эффектов квантового ограничения. В настоящее время основным недостатком EuS является его низкая ТС, равная 16,5 К. Тем не менее, более высокая ТС отмечена для EuS с решеткой, вызванной дислокациями роста или высоким давлением. Кроме того, было обнаружено, что ТС для EuS может быть значительно увеличен до 180 К в наночастицах EuS, встроенных в матрицу Co, или даже выше RT в сочетании с Co или Ni в многослойных структурах [3, с. 109].

Помимо ферромагнитных свойств, качество пленки слоев EuS также будет играть важную роль в будущих устройствах. Наши попытки были сосредоточены на выборе двух полупроводников InP (100) и InAs (100) в качестве подложек из-за минимального несоответствия решетки всего 1,5 %. Для обоих субстратов был подтвержден эпитаксиальный рост EuS, но с различными качествами пленки. Как правило, плёнки, выращенные на InAs, показывают более высокое качество.

Поэтому в данной статье основное внимание будет уделено оптимизации и пониманию эпитаксиального роста пленок EuS на InAs путем изучения режима их роста и качества поверхности при различных параметрах роста.

Существенным параметром для создания потенциальных будущих устройств на основе эпитаксиально выращенных пленок EuS на InAs является зависимость шероховатости и кристалличности пленки, т. е. качества пленки, от условий роста, таких как температуры роста и отжига  $T_g$  и  $T_a$  соответственно.

В целом, пленки с кристаллическими поверхностями низкой шероховатости желательно обеспечить оптимальную эффективность устройства, обеспечивая потенциально высокое качество интерфейса с другими компонентами устройства или электрическими контактами. В исследованиях SPA-LEED интенсивность и ширина регистрируемых дифракционных пятен очень чувствительны к локальной шероховатости поверхности, т. е. к изменению топографии ниже ширины переноса (прибл. 100 нм) установки SPA-LEED [4, с. 38-43]. Определение коэффициента качества  $Q_{hk} = I_{hk} / \text{FWHM}_{hk}$ , т. е. соотношения между интенсивностью и полной шириной-половинным максимумом FWHM конкретного дифракционного пятна с индексами Миллера (hk), поэтому представляет собой полуколичественный подход для сравнения качества поверхности различных образцов. Здесь были проанализированы (00) дифракционные пятна, поскольку дифракционные картины были записаны в их фазовом состоянии.

Таким образом, результирующие Q00-факторы выше для топологий образцов, которые ближе к идеальной гладкой поверхности, определяемой дифракционной картиной, на которую влияет только инструментальное уширение. Интенсивность и ширина пятна были получены путем усреднения параметров подгонки Лоренциан-Гауссовских посадок вертикальных и горизонтальных сканирований через центр (00)-пятен [2, с. 47]. Это объясняет возможный наклон образца и потенциальную асимметрию дифракционных пятен из-за наличия периодических шагов поверхности или аналогичных признаков, которые, как известно, вызывают отклонения от правильной круглой формы пятна [6, с. 67-108]. Дополнительным параметром, используемым для оценки шероховатости поверхности каждого образца, является среднее значение изображений АСМ различных местоположений вокруг центра образца с сопоставимым разрешением. Режим роста для всех выбранных параметров роста могут быть квалифицированы как Странского-Крастановым [5, с. 59], с разной степенью 2D-и 3D-нуклеации в верхней части смачивающего слоя. Толщина смачивающего слоя непосредственно не измерялась.

Однако, оценивая неупругую среднюю свободную траекторию 22, можно сделать вывод о полном покрытии подложек однородным слоем смачивания EuS толщиной приблизительно 2 нм или более, поскольку после испарения EuS не наблюдалось сигнала шнека ни одной из составляющих подложки. Как правило, увеличение охвата наблюдалось для более высоких  $T_g$  и  $T_a$ . Из-за низкого покрытия зерна только смачивающий слой способствовал значениям RMS между  $4,5-5\frac{1}{2}$  и сравнительно низким  $Q00$ -факторами. Индивидуальные средние высоты наблюдаемых зерен колебались до 80 нм. Для других образцов категории 1 аналогичная корреляция не может быть установлена с помощью графического анализа из-за нечастости зерен на любом заданном изображении АСМ и введения довольно значительной относительной ошибки между параметрами зерен при попытке объединить результаты с разных изображений из-за различий в разрешении, скорости сканирования и обработке изображений. Топографии категории 2 имеют высокий охват ( $>50\%$ ) смачивающего слоя с 2D ядрами и спорадическими вхождениями дополнительных 3D-нуклеаций. Эта категория наблюдалась исключительно для образцов, выращенных при RT и 150 XC с температурами отжига до 400 XC. Полученные значения RMS около  $5,5\frac{1}{2}$ , учитывают, как смачивающий слой, так и 2D-рост, а также их разницу в высоте. Топографии категории 3 характеризуются высокой частотой 3D-нуклеации, превышающей одну особенность на  $100\text{нм}\times 100\text{нм}$ . Следовательно, соответствующие СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫЕ значения ( $7-10\frac{1}{2}$ ) были самыми высокими из всех категорий, в то время как коэффициенты  $Q00$  были сравнительно низкими.

Исследована и подтверждена зависимость качества поверхности пленок EuS от InAs(100) от температур роста и отжига  $T_g$  и  $T_a$  с помощью SPA-LEED и AFM. Плёнки были признаны эпитаксии в режиме роста была определена как Странского-Крастановым. Исследуемые топографии образцов были отсортированы по трем категориям, определяемым различной степенью, наблюдаемой 3D и 2D нуклеации. Наиболее перспективная категория для дальнейшего применения наблюдалась для образцов, выращенных на RT и 150 XC с температурами отжига до 400 XC. Он отличал высоким поверхностным охватом с низким ростом острова RMS 2D и высокомарочным фактором. Поэтому дальнейшие попытки оптимизации качества поверхности пленок EuS на InAs рекомендуются для параметров роста вокруг  $T_g = RT / 150\text{ XC}$  и  $T_a = 400\text{ XC}$  с целью увеличения покрытия смачивающего слоя 2D островками и приближения послыонного роста.

### **Список литературы:**

1. Wolf S.A. et al. Spintronics: a spin-based electronics vision for the future // science. – 2001. – Т. 294. – №. 5546. – С. 1488-1495.
2. Kim K.W. et al. Roles of chiral renormalization on magnetization dynamics in chiral magnets //Physical Review B. – 2018. – Т. 97. – № 10. – С. 100402.
3. Goschew A., Scott M., Fumagalli P. Verification of antiferromagnetic exchange coupling at room temperature using polar magneto-optic Kerr effect in thin EuS/Co multilayers with perpendicular magnetic anisotropy // Applied Physics Letters. – 2016. – Т. 109. – №. 6. – С. 062401.
4. Dubrovskii V.G. Nucleation theory and growth of nanostructures. – Heidelberg: Springer, 2014. – С. 1-73.
5. Афанасьев А.В. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы: монография /А.В. Афанасьев, В.П. Афанасьев, Г.Ф. Глинский, С.И. Голудина; под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. — Москва: Физматлит, 2006. — 552 с.
6. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учебное пособие / Э.Л. Дзидзигури, Е.Н. Сидорова. — Москва: МИСИС, 2012. — 71 с.

## **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 2.**

### **МАТЕМАТИКА**

#### **2.1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

#### **ПЯТИТОЧЕЧНАЯ РАЗНОСТНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

***Петросян Ваагн Артакович***

*магистрант  
Российско-Армянский университет  
Армения, г. Ереван*

***Шмавонян Арутюн Арамович***

*магистрант  
Российско-Армянский университет  
Армения, г. Ереван*

#### **FIVE-STAR DIFFERENCE SCHEME FOR SOLVING ELASTIC STABILITY PROBLEMS**

***Vahagn Petrosyan***

*Russian-Armenian university  
Armenia, Yerevan*

***Harutyun Shmavonyan***

*Russian-Armenian university  
Armenia, Yerevan*

**Аннотация.** Рассматривается математическое моделирование колебаний изотропной прямоугольной пластинки в нестационарном магнитном поле. На основе теории тонких пластин получены основные уравнения и граничные условия, описывающие динамическое поведение рассматриваемой магнитоупругой системы. Исходя из полученных уравнений сформулирована соответствующая задача математической физики которая решена численно и разработан алгоритм указанного численного метода.

**Abstract.** Considered mathematical modeling of the oscillations of an isotropic rectangular plate in a non-stationary magnetic field. Based on the theory of thin plates, the basic equations and boundary conditions are obtained that describe the dynamic behavior of the magnetoelastic system under consideration. Initially, from the obtained equations, the corresponding problem of mathematical physics was formulated.

**Ключевые слова:** изотропная пластинка; нестационарное магнитное поле; магнитоупругая система; численные методы.

**Keywords:** isotropic plate; non-stationary magnetic field; magnetoelastic system; numerical methods.

### Введение

Обшивка летательного аппарата — это внешняя оболочка, которая покрывает большую часть крыльев и фюзеляжа. Наиболее часто используемые материалы в обшивке — это материалы из алюминия и сплавов алюминия с другими металлами, в том числе цинка, магния и меди. От качества обшивки во многом зависят аэродинамика летательного аппарата.

В начале двадцатого века алюминий стал незаменимым материалом во самолётостроении. Блок цилиндров двигателя, который питал самолет Китии Хок братьев Райт был из цельной отливки, содержащей 8 % меди. Алюминиевые лопасти для винтов появились еще в 1907 году, алюминиевые крышки, сиденья, капот, литые кронштейны и аналогичные детали были распространены к началу Первой Мировой Войны.

В 1916 году Л. Бреккет разработал разведывательный бомбардировщик, который стал первым самолетом с использованием алюминия в рабочую структуру самолета. К концу войны, союзники и Германия, занялись алюминиевыми сплавами для структуры фюзеляжа и крыльев.

Обшивка не состоит из цельного куска сплавов, а из отдельных маленьких компонент, которые либо приклеены к корпусу летательного аппарата, либо прикручены с помощью винтов впотай. Эти различные компоненты соединены встык.

Однако, возникает серьезная проблема: как выбрать компоненты чтобы обеспечить максимальную живучесть самолета или же как вычислить максимально возможную скорость, которую вытерпит фюзеляж из выбранных компонентов. Колебания инженерных сооружений, отдельных компонентов летательных аппаратов, происходящие при взаимодействии с потоком газа, принято называть «флаттером».

Для решения данной задачи исследована сформулированная и известная в литературе математическая модель, которая является краевой задачей для дифференциального уравнения с частными производными.

Рассмотрим упругую изотропную прямоугольную пластинку постоянной толщины  $2h$  отнесенную к декартовой системе координат  $x_1, x_2, x_3$  так, что срединная плоскость недеформированной пластинки совпадает с координатной плоскостью  $x_1, x_2$ . Пластинка занимает область  $(0 \leq x_1 \leq a_1; 0 \leq x_2 \leq a_2, |x_3| \leq h)$  и находится под действием разного рода внешних воздействий (продольные механические нагружения, температурное поле, магнитное поле и т. д.). Тогда задача устойчивости рассматриваемой пластинки сводится к уравнениям [1]

$$D\Delta^2 w + P\Delta w = 0 \quad (1)$$

где:  $D$  цилиндрическая жесткость,  $P$  неизвестных параметр характеризующий внешнее воздействие. Для ясности и наглядности будем ограничиваться случаем, когда два края пластинки шарнирно оперты, а остальные два - жестко защемлены. Тогда решение поставленной краевой задачи будем искать в следующем виде [1]:

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} W_m(x_1) \sin \mu_m x_2; \quad \mu_m = \frac{m\pi}{a_2}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) получим следующее обыкновенное дифференциальное уравнение относительно неизвестных функции  $W_m(x_1)$  :

$$D \frac{d^4 W_m}{dx_1^4} - (2\mu_m^2 - P) \frac{d^2 W_m}{dx_1^2} + \mu_m^2 (D\mu_m^2 - P) W_m = 0. \quad (3)$$



Представим уравнение (3) и граничные условия в конечных разностях [2]. Для этого на отрезке  $[0, a_1]$  построим сетку  $x_i = i \cdot \tau$ ,  $\tau = a_1 / N$ ,  $i = 0, \dots, N$ .

В общем случае стационарные конечно-разностные уравнения практически всегда являются аппроксимирующими для соответствующих дифференциальных уравнений, причем установить это довольно несложно. Представляя производные искомым функций и граничные условия в конечных разностях и подставляя в уравнение (3) получим следующую систему:

$$\begin{aligned} 4W_m^1 - W_m^2 &= 0 \\ aW_m^{i-2} - (b_m - P\delta)W_m^{i-1} + (c_m - P\gamma_m)W_m^i - \\ &\quad - (b_m - P\delta)W_m^{i+1} + aW_m^{i+2} = 0, \quad \overline{i = 2, N-2} \\ -W_m^{N-2} + 4W_m^{N-1} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где введены следующие обозначения:

$$\begin{aligned} a &= \frac{D}{\tau^4}, \quad b_m = (4 + 2\mu_m^2 \tau^2)a, \quad c_m = (6 + 4\mu_m^2 \tau^2 + \mu_m^4 \tau^4)a, \\ \delta &= \frac{1}{\tau^2}, \quad \gamma_m = 2\delta + \mu_m^2. \end{aligned}$$

Системы вида (4) возникают при пятиточечной аппроксимации краевых задач для однородных обыкновенных дифференциальных уравнений четвертой степени с постоянными и переменными коэффициентами, а также при реализации разностных схем для уравнений в частных производных.

В последнем случае обычно требуется решить не единичную задачу, а серию задач, причем число задач в серии может равняться нескольким десяткам. Поэтому необходимо разработать экономичные методы решения задач вида (4) с малым числом действий. В настоящей работе приведен один из таких методов.

Итак, задача вычисления критического значения параметра  $P$  уравнения (4) сведена к вычислению минимального собственного значения обобщенной задачи собственных значений (4), т. е. нужно вычислить минимальный корень характеристического уравнения

$$\det(A_m - PB_m) = 0, \quad (5)$$



$$\hat{A}_m = \begin{bmatrix} c_m & -b_m & a & & & \\ -b_m & c_m & -b_m & a & & \\ a & -b_m & c_m & -b_m & a & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & a & -b_m & c_m & -b_m \\ & & & & a & -b_m & c_m \end{bmatrix} \quad \hat{B}_m = \begin{bmatrix} -\delta & \gamma_m & -\delta & & & \\ & -\delta & \gamma_m & -\delta & & \\ & & -\delta & \gamma_m & -\delta & \\ & & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & & -\delta & \gamma_m & -\delta \\ & & & & & -\delta & \gamma_m \end{bmatrix}$$

Следовательно, получим следующую задачу:

$$\begin{aligned} 4W_m^1 + e^T \hat{W}_m &= 0 \\ qW_m^1 + \hat{A}_m \hat{W}_m + \ell W_m^{N-1} &= P(rW_m^1 + \hat{B}_m \hat{W}_m + qW_m^{N-1}) \quad (7) \\ d^T \hat{W}_m + 4W_m^{N-1} &= 0 \end{aligned}$$

или

$$\left[ \hat{A}_m - \frac{1}{4}(ge^T + \ell d^T) \right] \cdot \hat{W}_m = P \left[ \hat{B}_m - \frac{1}{4}(re^T + qd^T) \right] \cdot \hat{W}_m \quad (8)$$

Тогда, характеристическое уравнение (5) примет вид

$$\det(H_m - PK_m) = 0, \quad (9)$$

где

$$A_m = \begin{bmatrix} c_m - \frac{b_m}{4} & -b_m & a & & & \\ -b_m + \frac{a}{4} & c_m & -b_m & a & & \\ a & -b_m & c_m & -b_m & a & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & & a & -b_m & c_m - b_m + \frac{a}{4} \\ & & & & a & -b_m & c_m - \frac{b_m}{4} \end{bmatrix} \quad B_m = \begin{bmatrix} \gamma_m - \frac{\delta}{4} & -\delta & & & & \\ -\delta & \gamma_m & -\delta & & & \\ & -\delta & \gamma_m & -\delta & & \\ & & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & & -\delta & \gamma_m & -\delta \\ & & & & & -\delta & \gamma_m - \frac{\delta}{4} \end{bmatrix}$$

Легко доказать, что матрица  $K_m$  положительно определена (согласно критерию Сильвестра), следовательно, можно применить разложение Холеского [2].

Итак, задача устойчивости рассматриваемых пластин сведена к вычислению минимального собственного значения обобщенной задачи собственных значений

$$Ax = \lambda Bx \quad (10)$$

где:  $B = B^T > 0$ . Применяя разложение Холецкого  $B = LU$ , где  $L$  – нижняя треугольная матрица,  $U$  – правая треугольная матрица и обозначения  $z = Ux$  и  $P = L^{-1}AU^{-1}$  получим

$$Pz = \lambda z. \quad (11)$$

Наша цель вычислить минимальное собственное значение задачи (11), которую можно найти используя степенной метод [2]. Для этого перепишем (11) в виде

$$P^{-1}z = \mu z, \quad \mu = \lambda^{-1}. \quad (12)$$

При произвольном начальном векторе  $z_0$  вычислим  $z_1 = P^{-1}z_0, \dots, z_{k+1} = P^{-1}z_k$  последовательные приближения. Следовательно, согласно степенному методу,

$$\frac{(z_{k+1}, z_{k+1})}{(z_k, z_k)} \rightarrow \mu_{\max} = \frac{1}{\lambda_{\min}}. \quad (13)$$

Итак, вычисляя  $\mu_{\max}$  указанным методом, легко получить  $\lambda_{\min}$  минимальное собственное значение задачи (11). Проведен численный анализ для конкретной пластинки. Вычислена критическая нагрузка аналитическим методом  $P_{kr} = 4.822693 * 10^4$  и предложенным численным методом  $P_{kr} = 4.822710 * 10^4$ ,  $N=20$ .

### Список литературы:

1. Г.Е. Багдасарян (1999) Колбания и устойчивость магнитоупругих систем.
2. G. Dahlquist, A. Bjorck (2001) Numerical Mathematics.
3. Шен С., Приближенное исследование нелинейных флаттерных задач, Сб. «Механика», № 4, ИЛ, 1959.
4. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. - М.: Физматгиз, 1961. -339 с.

## РАЗДЕЛ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ

*Заводовский Александр Геннадьевич*

*канд. физ. – мат. наук, доцент,  
Сургутский государственный университет,  
РФ, г. Сургут.*

#### STUDY OF LIQUID EVAPORATION BY THE METHOD OF PIEZOQUARTAN MICROWAVING

*Alexandr Zavodovskiy*

*Cand. Phys. – Mat. Sciences, associate professor,  
Surgut State University,  
Russia, Surgut.*

**Аннотация.** В данной работе были выполнены экспериментальные исследования испарения различных жидкостей с металлической поверхности с помощью метода пьезокварцевого микровзвешивания. Анализ полученных результатов позволил оценить постоянную испарения в рамках простой модели.

**Abstract.** In this work, experimental studies of the evaporation of various liquids from a metal surface using the piezoquartz microweighting method were performed. Analysis of the results obtained allowed us to estimate the evaporation constant in the framework of a simple model.

**Ключевые слова:** жидкость; испарение; пьезокварцевое микровзвешивание; постоянная испарения.

**Keywords:** liquid; evaporation; piezoquartz microweighting; constant evaporation.

Испарение и конденсация играют основополагающую роль в круговороте воды на земле и обеспечении жизнедеятельности растений и животных. Наряду с сублимацией эти процессы широко используются в промышленной практике для очистки веществ, сушки материалов, разделения смесей, нанесения покрытий, кондиционирования воздуха и т. п.

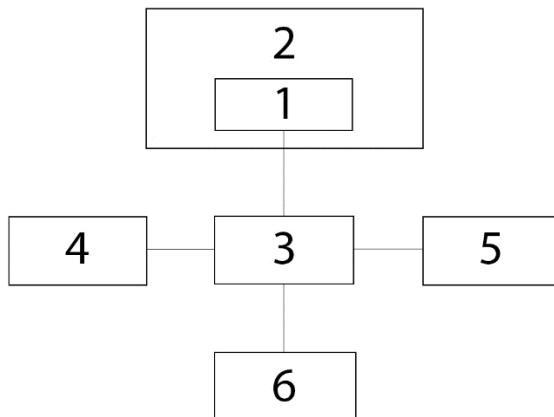
В 1882 г. Герц описал эксперименты, поставленные таким образом, что можно было непосредственно определять скорость испарения жидкости [1]. Теоретический анализ результатов этих экспериментов привел к двум фундаментальным выводам: во-первых, каждое вещество имеет максимум скорости испарения, который определяется только температурой поверхности и свойствами вещества; во-вторых, максимальная скорость испарения не может превышать числа молекул газовой фазы, падающих на поверхность конденсата за единицу времени при равновесных условиях.

В настоящее время для исследования процесса испарения используют различные экспериментальные методы. К ним относятся теневой метод визуализации оптически неоднородных сред, метод интерферометрии и другие [2]. Одним наиболее чувствительных методов исследования является метод пьезокварцевого микровзвешивания [3].

Контроль потери массы материалов традиционным методом непосредственно взвешивания обладает рядом существенных недостатков – это неустойчивость к вибрациям и изменению температуры, строго фиксированное положение в пространстве. Этим недостаткам лишены кварцевые микровесы, чувствительным элементом которых является кварцевый пьезорезонатор.

При определенных условиях эксплуатации с помощью кварцевого пьезорезонатора можно определять абсолютное значение потери массы материалов, а также изучать кинетику испарения материалов в изотермических условиях.

Блок-схема экспериментальной установки, используемой в работе для исследования испарения жидкости, представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Блок-схема установки для исследования процессов испарения методом пьезокварцевого микровзвешивания**

Основой экспериментальной установки является пьезокварцевый резонатор 1, который находится в специальном термостате 2. В работе использовалась пьезокварцевая пластинка АТ-среза с серебряными электродами. На основе этого резонатора, который имел собственную частоту  $f_0=2,65$  МГц, был собран измерительный генератор 3. Питание генератора осуществляется от источника постоянного тока 4. Частота генератора регистрируется с помощью частотомера 5, а сигнал контролируется осциллографом 6.

Изучаемая жидкость наносилась калиброванной каплей на поверхность электрода резонатора с помощью капиллярной иглы. При этом частота его колебаний уменьшалась до значения  $f$ . Это значение фиксировалось с помощью частотомера.

Определялось изменение частоты генератора относительно начального значения:

$$\Delta f_0 = f_0 - f.$$

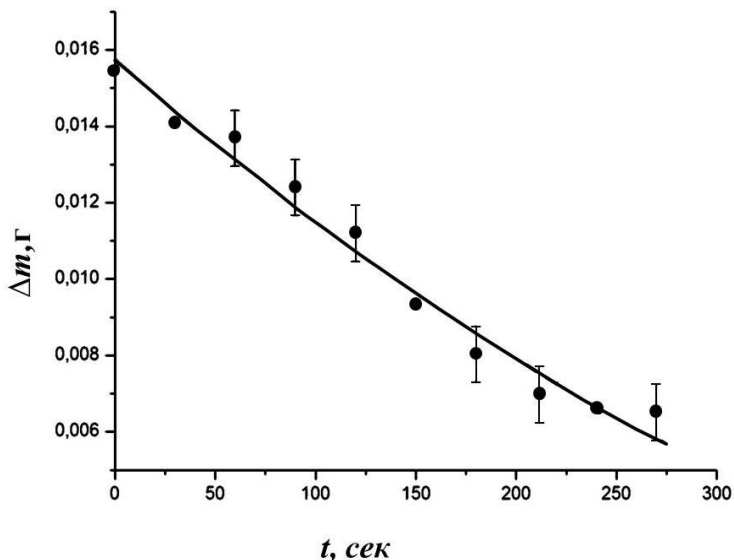
Затем рассчитывалась масса капли на поверхности резонатора по формуле:

$$\Delta m_0 = C_f \Delta f_0,$$

где:  $C_f$  – массовый коэффициент, который определялся экспериментально.

В работе были использованы две жидкости: этиловый спирт и хлороформ.

При испарении жидкости на поверхности электрода резонатора ее масса  $\Delta m = \Delta m(t)$  и с течением времени уменьшается. На рисунке 2 показано изменение массы капли спирта в результате его испарения при температуре 300 К.



**Рисунок 2. Зависимость массы капли спирта от времени при его испарении ( $T=300K$ )**

В рамках простейшей модели предполагалось, что зависимость  $\Delta m = \Delta m(t)$  носит экспоненциальный характер:

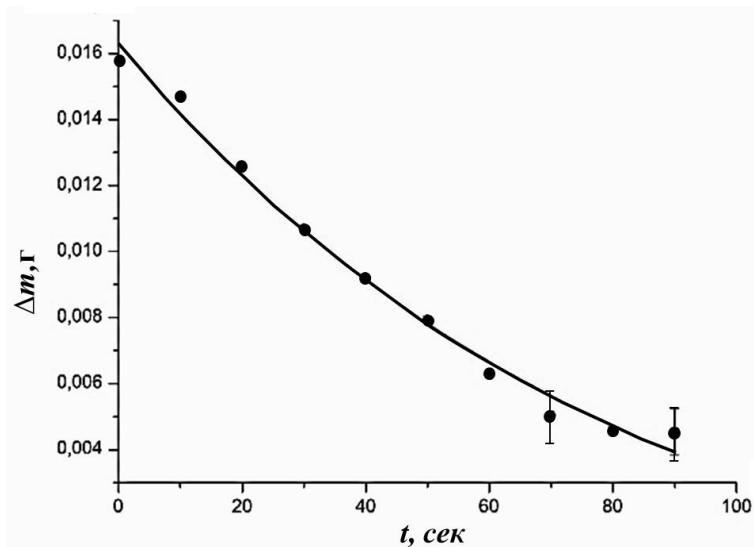
$$\Delta m = \Delta m_0 \times \exp(-\alpha t),$$

где:  $\alpha$  - постоянная испарения жидкости.

На основании анализа опытных данных была определена постоянная испарения спирта. Она оказалась равной  $\alpha = (0,00312 \pm 0,00021) \text{ с}^{-1}$

На рисунке 3 представлены результаты испарения капли хлороформа при температуре 300 К.





**Рисунок 3. Зависимость изменения массы капли хлороформа от времени ( $T=300\text{ K}$ )**

Постоянная испарения хлороформа при данных условиях эксперимента  $\alpha=(0,01337\pm 0,00083)\text{ с}^{-1}$

Анализ полученных результатов показывает, что возможности метода пьезокварцевого микровзвешивания позволяют изучать кинетику испарения жидкости в зависимости от параметров воздушной среды в термостате, а также от температуры и природы поверхности.

### Список литературы:

1. Hertz Н. Ann. Phys. (Leipzig), 17, 177 (1882).
2. Анисимов С.И., Жаховский В.В. Об испарении жидкости. Письма в ЖЭТФ, Т.54, в.2, 1993. С.91-94.
3. Заводовский А.Г., Заводовская О.В. Применение метода пьезокварцевого микровзвешивания для изучения испарения жидкости. // Тезисы докладов НТК «Датчик–2004» Судак. М.: МИЭМ, 2004. С. 112.

## **3.2. ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОСТРУКТУР, АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА**

### **РЕАЛИЗАЦИЯ КВАНТОВО – ТОЧЕЧНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ**

**Закирова Эльвира Рамилевна**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

**Шульгин Дмитрий Анатольевич**

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

### **QCA DEVICE IMPLEMENTATION**

**Elvira Zakirova**

*student, Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Dmitriy Shulgin**

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor,  
Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Аннотация.** В статье представлен обзор методов реализации реальных устройств на квантово – точечных клеточных автоматах. Рассматриваются точно – металлический, полупроводниковый, магнитный и молекулярный методы, а также их преимущества и недостатки.

**Abstract.** The article presents an overview of the methods for implementing real devices on quantum dot cellular automata. The point - metal, semiconductor, magnetic and molecular methods, as well as their advantages and disadvantages are considered.

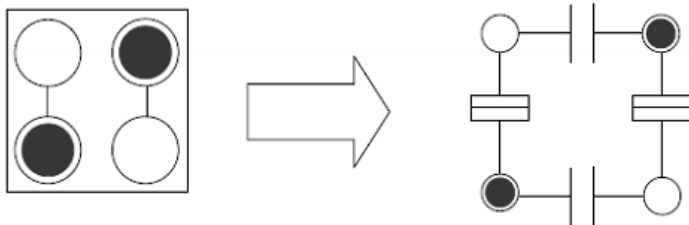
**Ключевые слова:** квантово – точечные клеточные автоматы; КТКА; молекулярные; магнитные; квантовые точки; ячейка; полупроводник; металл; химические связи.

**Keywords:** quantum-dot cellular automata; QCA; molecular; magnetic; quantum dots; cell; semiconductor; metal; chemical bonds.

Квантово – точечные клеточные автоматы – это не только теоретическая модель, но и существующие экспериментально продемонстрированные устройства. Что касается физического внедрения технологии КТКА, многие решения были предложены и реализованы в течение почти двух десятилетий. Среди них выделяются следующие примеры.

#### Реализация металл – точка (точечно – металлическое)

В этом методе реализации точки в КТКА представлены металлическими островками (например, Al), как показано на рис. 1 и эти металлические островки соединены друг с другом посредством туннельных контактов, позволяющих электронам свободно перемещаться [1, с. 5]. Эта базовая ячейка КТКА делится на два полуэлемента, между которыми есть конденсаторы, соединенные внутри, чтобы предотвратить перезарядку островка.



**Рисунок 1. КТКА и его эквивалентная схема, реализованная с металлическими островками**

Решение металл - точка было первой технологией с помощью которой реализовали КТКА. Однако из-за относительно больших размеров точек, реализуемых островками металла и связанной с ними

тепловой энергией, такая система реализации могла работать только при чрезвычайно низкой температуре окружающей среды, т. е. криогенной температуре около десятков мК, для наблюдения квантовых эффектов и ее структурных свойств, не пригодных для масштабируемого проектирования схемотехники. При этом максимальная рабочая частота ограничена в диапазоне МГц.

### **Реализация полупроводник-точка**

Другая идея была основана на полупроводниковой структуре [2, с. 547]. Некоторые возможные реализации были выполнены с использованием полупроводников, таких как кремний [3, с. 27] или гетероструктура GaAs/AlGaAs [3, с. 29].

Полупроводниковые (или твердотельные) реализации КТКА потенциально могут быть использованы для реализации устройств КТКА с такими же высокотехнологичными процессами производства полупроводников, которые используются для реализации КМОП-устройств. Поляризация ячеек кодируется как положение заряда, а квантово-точечные взаимодействия зависят от электростатической связи.

Тем не менее, из-за низкой производительности и чрезвычайно низкой рабочей температуры, по сравнению со стандартной технологией на основе КМОП, от технологий металл-точка, и полупроводниковой довольно быстро отказались.

### **Магнитная реализация**

Другое физическое решение, подходящее для построения устройства КТКА, основано на логике наномагнетиков [3, с. 17], которая является так называемым магнитным КТКА. Точки реализуются магнитными доменами. В отличие от традиционной реализации КТКА, где логические состояния кодируются с точки зрения различных конфигураций мобильных зарядов, содержащихся в ячейках, двоичная информация в магнитном КТКА представлена вектором намагничивания (вверх или вниз) этих наномагнетиков. Вместо эффектов электронного туннелирования термин «квант» относится к квантовомеханическому характеру магнитных обменных взаимодействий. Таким образом, информация распространяется между магнитными устройствами КТКА из-за взаимодействия магнитного поля (ферромагнитного или антиферромагнитного), и устройства, реализованные таким образом, могут работать при комнатной температуре. Реализация магнитного КТКА наиболее изучена и проработана по сравнению с другими.

## Молекулярная реализация

В качестве альтернативы этим упомянутым подходам предлагаемый, но еще не реализованный метод состоит в создании устройств КТКА из отдельных молекул, известных как молекулярный КТКА (МКТКА) [4, с. 2]. Преимущества решения МКТКА, которые делают его превосходящим другие, - это высокосимметричная структура ячейки, сверхвысокие скорости переключения, чрезвычайно высокая плотность устройства, работа при комнатной температуре и даже возможность создания массовых устройств посредством самосборки молекул. Однако ряд технических проблем, включая выбор молекул, разработку правильных механизмов взаимодействия и технологию синхронизации, еще предстоит решить, прежде чем этот подход может быть экспериментально продемонстрирован.

Установлено, что молекулярная КТКА является наиболее перспективной среди всех предлагаемых новых технологий, из-за того, что имеет молекулярные размеры устройства, и позволяет проводить расчеты при комнатной температуре. При этом скорость переключения может достигать ожидаемых высоких рабочих частот (до ТГц), а также высокой плотности устройства [4, с. 10]. В частности, подход МКТКА является аналогом металл-точечной реализации КТКА и оба они используют конфигурацию мобильных зарядов для определения логических состояний и двоичная информация передается через электростатическое взаимодействие.

Внутри МКТКА квантовые точки обслуживаются окислительно-восстановительными центрами молекул в качестве загрузочных контейнеров. Это связано с тем, что центр окислительно-восстановительного потенциала может добавить электрон (восстанавливаться) или потерять электрон (окисляться) без разрушения химических связей [4, с. 6]. Поэтому окислительно-восстановительный центр может характеризоваться низколежащими несвязывающими ( $\pi$  или  $d$ ) орбиталями. Вообще говоря, молекула находится в нейтральной форме, тогда как производительность вычислений МКТКА [может быть повышена, если такая молекула находится в окисленной или восстановленной форме. В окисленной молекуле отсутствует электрон и его чистый заряд положителен; в приведенной форме молекула притягивает электрон, что приводит к отрицательному сетевому заряду. Вследствие этого молекула и соответствующий ей противоион образуют нейтральную систему.

Другим возможным способом окисления молекулы является циклическая вольтамперометрия, поэтому процессы окислительно-восстановительных центров электрически переносятся вне.

### Список литературы:

1. Toth G., Lent C.S. Quasiadiabatic switching for metal-island quantum-dot cellular automata //Journal of Applied Physics. – 1999. – Т. 85. – №. 5. – С. 2977-2984.
2. Lent C.S., Tougaw P.D. A device architecture for computing with quantum dots //Proceedings of the IEEE. – 1997. – Т. 85. – №. 4. – С. 541-557.
3. Wang R. Analysis and Modulation of Molecular Quantum-dot Cellular Automata (QCA) Devices. – 2019.
4. Piccinini G. Effectiveness of Molecules for Quantum Cellular Automata as Computing Devices. – 2019.
5. Афанасьев А.В. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы: монография / А.В. Афанасьев, В.П. Афанасьев, Г.Ф. Глинский, С.И. Голудина; под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. — Москва: Физматлит, 2006. — 552 с.
6. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учебное пособие / Э.Л. Дзидзигури, Е.Н. Сидорова. — Москва: МИСИС, 2012. — 71 с.

## ПОТЕНЦИАЛЬНО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В $K_1-xV_6$ : ПРЕДСКАЗАНИЕ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

*Ишмухаметова Карина Фаритовна*

*студент,*

*Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

*Гайнуллина Наталья Романовна*

*канд. техн. наук, доцент,*

*Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

## POTENTIALLY HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN $K_{1-x}B_6$ : A FIRST-PRINCIPLES PREDICTION

*Karina Ishmukhametova*

*student, Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

*Natalia Gaynullina*

*candidate of Technical Sciences, associate Professor,  
Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Аннотация.** На основе расчетов из первых принципов были получены электронная структура, динамика решетки и сверхпроводящие свойства для  $KB_6$ . Стехиометрические  $KB_6$  имеют слабое электрон-фононное взаимодействие. Полученная сила электрон-фононного взаимодействия  $\lambda$  и температура сверхпроводящего перехода  $T_C$  для  $KB_6$  составляет всего 0,22 и 0,14 К ( $\mu^* = 0,1$ ) соответственно. Однако дырочное легирование может значительно увеличить прочность электрон-фононного взаимодействия для  $KB_6$ . Для  $K_{1-x}B_6$  сила связи электронно-фотонной  $\lambda$  и  $T_C$  может достигать 1,13 и 65,3 К соответственно. Это указывает на то, что  $K_{1-x}B_6$  является потенциально высокотемпературным сверхпроводником.

**Abstract.** Based on calculations from first principles, the electronic structure, lattice dynamics, and superconducting properties for  $KB_6$  were obtained. Stoichiometric  $KB_6$  have a weak electron-phonon interaction. The obtained force of the electron-phonon interaction  $\lambda$  and the temperature of the superconducting transition  $T_C$  for  $KB_6$  is only 0.22 and 0.14 K ( $\mu^* = 0.1$ ), respectively. However, hole doping can significantly increase the strength of the electron-phonon interaction for  $KB_6$ . For  $K_{1-x}B_6$ , the coupling strength of the electron-photon  $\lambda$  and  $T_C$  can reach 1.13 and 65.3 K, respectively. This indicates that  $K_{1-x}B_6$  is a potentially high-temperature superconductor.

**Ключевые слова:** сверхпроводники; электрон-фононные взаимодействия; первые принципы.

**Keywords:** superconductors; electron-phonon interactions; first-principles.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости около 40 К в  $\text{MgB}_2$  [1] возобновило интерес к поиску электрон-фононных (ЭФ) проводников с боридами. Высокое значение  $T_C$  в  $\text{MgB}_2$  обусловлено сильной связью между электронами в  $\sigma$ -состояниях и плоскими колебательными модами колебаний от светового элемента В [2–5]. Второе по величине значение  $T_C$  в боридах составляет 7,2 К в сильнопарном сверхпроводнике  $\text{YB}_6$ . Экспериментальные [6] и теоретические [7, 8] исследования показали, что спаривающиеся электроны в основном опосредованы низколежащими  $\gamma$ -фононными колебаниями. Однако, согласно теории сверхпроводимости BCS, более тяжелые атомы  $\gamma$  препятствуют усилению  $T_C$ . Значения  $T_C$  могут возрасти для других гексаборидов более легких металлов.

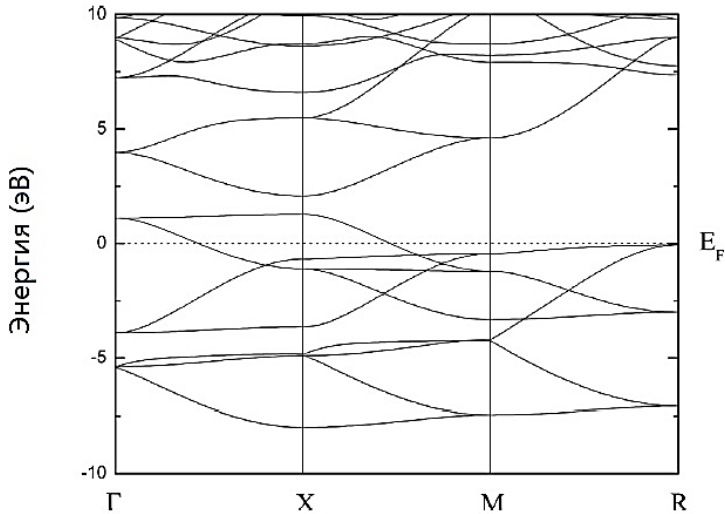
По сравнению с  $\gamma$  калий К имеет меньшую атомную массу.  $\text{KB}_6$  – это один из гексаборидов металлов с нечетным числом валентных электронов на элементарную ячейку, такой же, как у  $\text{YB}_6$ . Ожидалось, что  $\text{KB}_6$  будет металлическим, однако он обладает плохой проводимостью [9]. Предположительно, низкая проводимость в  $\text{KB}_6$  получилась из-за возникновения локализации электронов из локальных ЭФ взаимодействий, приводящих к биполяронам [10]. Исходя из этого, синтезировали порошкообразное анизотропное распределение вакансии К-местоположения  $\text{KB}_6$ , и была упомянута возможность управления электронной структурой для сверхпроводимости путем введения дефицита К-местоположения [11]. Однако это не было основано на количественных расчетах фононной дисперсии и связи ЭФ.

#### Расчетная часть.

Наши расчеты проводились в приближении локальной плотности [12] к теории функционала плотности [13], как это реализовано в коде ABINIT [14]. Полностью электронные потенциалы заменялись псевдопотенциалами, сохраняющими норму, как это было сгенерировано в схеме Трулье – Мартинса [15]. Легирование имитировалось в приближении жестких зон. Плоская волна обрезалась при значении равном 70  $R_y$ , и для полной структурной релаксации интегрирование в  $k$ -пространстве (электроны) аппроксимировалось суммированием по равномерной сетке  $8 \times 8 \times 8$  в обратном пространстве [16]; гораздо более точная ( $16 \times 16 \times 16$ ) сетка использовалась для оценки электронной плотности состояний и ЭФ. Структурная оптимизация была выполнена с использованием минимизации Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно [17], модифицированной для учета как полной энергии, так и градиентов. Колебательные свойства рассчитывались с использованием теории возмущений с функционалом плотности [18–20]. Динамические матрицы и ширины линий ЭФ рассчитывались на равномерной сетке  $4 \times 4 \times 4$  в  $q$ -пространстве; дисперсии фононов и плотности состояний фононов



были затем получены с помощью фурье-интерполяции динамических матриц, а спектральная функция Элиашберга  $\alpha^2F(\omega)$  и полная сила связи ЭФ  $\lambda$  были рассчитаны путем суммирования по отдельным ширинам линий и фононам. Метод тетраэдра использовался для интегрирования поверхности Ферми для ЭФ величин.



**Рисунок 1. Электронная ленточная структура KV<sub>6</sub>.  
Уровень Ферми ( $E_F$ ) установлен на ноль**

Таким образом, мы представляем исследование потенциальной сверхпроводимости KV<sub>6</sub> и K<sub>1-x</sub>V<sub>6</sub> на основе расчетов из первых принципов. ЭФ связь в KV<sub>6</sub> в основном происходит из колебательных мод В. Полученная сила сцепления ЭФ  $\lambda$  и температура  $T_C$  сверхпроводящего перехода для KV<sub>6</sub> составляет всего 0,22 и 0,14 К соответственно, что указывает на то, что это сверхпроводник с низким  $T_C$ . Однако для KV<sub>6</sub><sup>(0.1)</sup> прогнозируется, что  $\lambda$  и  $T_C$  составят 1,13 и 65,3 К соответственно. Следовательно, K<sub>1-x</sub>V<sub>6</sub> является потенциально высокотемпературной сверхпроводящей.

### Список литературы:

1. Nagamatsu J. et al. Superconductivity at 39 K in magnesium diboride //nature. – 2001. – Т. 410. – №. 6824. – С. 63.
2. An J.M., Pickett W.E. Superconductivity of MgB 2: covalent bonds driven metallic // Physical Review Letters. – 2001. – Т. 86. – №. 19. – С. 4366.

3. Bohnen K.P., Heid R., Renker B. Phonon dispersion and electron-phonon coupling in MgB 2 and AlB 2 //Physical review letters. – 2001. – Т. 86. – № 25. – С. 5771.
4. Kortus J.J. Kortus, И Mazin, KD Belashchenko, VP Antropov, and LL Boyer, Phys. Rev. Lett. 86, 4656 (2001) // Phys. Rev. Lett. – 2001. – Т. 86. – С. 4656.
5. Choi H.J. et al. First-principles calculation of the superconducting transition in MgB 2 within the anisotropic Eliashberg formalism // Physical Review B. – 2002. – Т. 66. – № 2. – С. 020513.
6. Lortz R. et al. Superconductivity mediated by a soft phonon mode: Specific heat, resistivity, thermal expansion, and magnetization of Y B 6 // Physical Review B. – 2006. – Т. 73. – № 2. – С. 024512.
7. Schell G. et al. Electronic structure and superconductivity in metal hexaborides // Physical Review B. – 1982. – Т. 25. – № 3. – С. 1589.
8. Xu Y. et al. First-principles study of the lattice dynamics, thermodynamic properties and electron-phonon coupling of Y B 6 // Physical Review B. – 2007. – Т. 76. – № 21. – С. 214103.
9. Naslain R., Etourneau J., Hagenmuller P. Alkali metal borides //Boron and refractory borides. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1977. – С. 262-292.
10. Ammar A. et al. Investigation of the electronic and structural properties of potassium hexaboride, KB6, by transport, magnetic susceptibility, EPR, and NMR measurements, temperature-dependent crystal structure determination, and electronic band structure calculations // Inorganic chemistry. – 2004. – Т. 43. – № 16. – С. 4974-4987.
11. Katsura Y. et al. On the possibility of MgB2-like superconductivity in potassium hexaboride //Physica C: Superconductivity and its applications. – 2010. – Т. 470. – С. S633-S634.
12. Hohenberg P., Kohn W. Inhomogeneous electron gas // Physical review. – 1964. – Т. 136. – № 3B. – С. B864.
13. Kohn W., Sham L.J. Self-consistent equations including exchange and correlation effects // Physical review. – 1965. – Т. 140. – № 4A. – С. A1133.
14. Gonze X.X. Gonze, B. Amadon, P. Anglade, J.-M. Beuken, F. Bottin, P. Boulanger, F. Bruneval, D. Caliste, R. Caracas, M. Côté, T. Deutsch, L. Genovese, P. Ghosez, M. Giantomassi, S. Goedecker, D. Hamann, P. Hermet, F. Jollet, G. Jomard, S. Leroux, M. Mancini, S. Mazevet, M. Oliveira, G. Onida, Y. Pouillon, T. Rangel, G.-M. Rignanese, D. Sangalli, R. Shaltaf, M. Torrent, M. Verstraete, G. Zerah, and J. Zwanziger, Comput. Phys. Commun. 180, 2582 (2009) // Comput. Phys. Commun. – 2009. – Т. 180. – С. 2582.
15. Troullier N., Martins J.L. Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations // Physical review B. – 1991. – Т. 43. – № 3. – С. 1993.
16. Monkhorst H.J., Pack J.D. Special points for Brillouin-zone integrations // Physical review B. – 1976. – Т. 13. – № 12. – С. 5188.
17. Schlegel H.B. Optimization of equilibrium geometries and transition structures // Ab Initio Methods in Quantum Chemistry. – 1987. – № Part I. – С. 249-286.

18. Baroni S. et al. Phonons and related crystal properties from density-functional perturbation theory // *Reviews of Modern Physics*. – 2001. – Т. 73. – № 2. – С. 515.
19. Gonze X. First-principles responses of solids to atomic displacements and homogeneous electric fields: Implementation of a conjugate-gradient algorithm // *Physical Review B*. – 1997. – Т. 55. – № 16. – С. 10337.
20. Gonze X., Lee C. Dynamical matrices, Born effective charges, dielectric permittivity tensors, and interatomic force constants from density-functional perturbation theory // *Physical Review B*. – 1997. – Т. 55. – № 16. – С. 10355.

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА И РАЗМЕРНО-ЗАВИСИМОЙ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ НА ТЕПЛОВУЮ ПРОВОДИМОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

*Лобанова Ладонна Анатольевна*

*студент,*

*Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

*Шульгин Дмитрий Анатольевич*

*канд. физ.-мат. наук, доцент,*

*Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

## **EFFECT OF SIZE AND DIMENSION DEPENDENT SPECIFIC HEAT ON THERMAL CONDUCTIVITY OF NANOSTRUCTURED SEMICONDUCTORS**

*Ladonna Lobanova*

*student, Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Dmitriy Shulgin**

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor,  
Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Аннотация.** Теплопроводность и коэффициент диффузии уменьшаются с увеличением размера и увеличивается при движении к зеркальным поверхностям. Включение размера и размерного эффекта удельной теплоемкости с рассеиванием фононного состава дает лучшее объяснение теплопроводности, тогда как один классический подход неадекватен. Чтобы подтвердить полученные результаты, мы сравнили наши результаты с экспериментальными данными и другими моделями, представленными в литературе.

**Abstract.** Thermal conductivity and diffusivity decreases with size and increases while moving towards the specular surfaces. Incorporation of size and dimension effect of specific heat capacity with phonon interface scattering gives the better explanation of thermal conductivity, whereas classical approach alone is inadequate. To validate the obtained results, we have compared our results with the experimental data and other model reported in literature.

**Ключевые слова:** теплопроводность; коэффициент диффузии; полупроводники; размерный эффект.

**Keywords:** thermal conductivity; diffusivity; semiconductors; size effect.

Большой интерес к изучению электрических, оптических, механических свойств, а также теплового транспорта в полупроводниковых наноматериалах вызван эффектом квантования размеров. Из-за удержания электронов и дырок с уменьшающимся размером материала произойдет последующее изменение электронной структуры. Зависимая от размера люминесценция, синий сдвиг в спектре оптического поглощения, увеличенная ширина запрещенной зоны – все это примеры глубоких модификаций физических свойств наноструктурированных полупроводников. Они используются в датчиках, транзисторах, полевых излучателях и в исключительно небольших электронных схемах с улучшенными свойствами и новыми функциями в различных областях техники. Эти материалы ведут себя как строительные блоки или как инструменты для наноэлектроники. Теплопроводность очень чувствительна к размеру, толщине и составу материала. Более того, температура, шероховатость поверхности, форма и размеры наноматериалов влияют на перенос тепла. Полупроводниковые наноматериалы

обладают новыми оптическими и электронными свойствами благодаря своей уникальной электронной структуре и широкой запрещенной зоне. В последние годы материалы с желаемыми термическими свойствами привлекают все больше внимания. Эффективность любого материала определяется безразмерным параметром, известным как показатель качества. Материалы с низкой теплопроводностью желательны для повышения эффективности любого материала или повышения добротности материалов (FOM), которая определяется  $FOM (ZT) = S^2T / K\rho$ .

$S$ ,  $\rho$ ,  $T$  и  $K$  представляют коэффициент Зеебека (или термоэлектрическую мощность), удельное электронное сопротивление, температуру и общую теплопроводность соответственно. Следовательно, производительность термоэлектрического материала зависит от трех величин: электропроводности, коэффициента Зеебека и теплопроводности. Для максимального электрического преобразования любой материал должен иметь высокий коэффициент Зеебека и низкую теплопроводность. Обратное влияние электрической проводимости и коэффициента Зеебека является препятствием для достижения качественных характеристик материалов. Задача состоит в том, чтобы увеличить удельное значение FOM; что может быть возможно за счет использования наноструктурированных термоэлектрических материалов из-за их значительного снижения теплопроводности. Исследователи разрабатывают различные способы снижения теплопроводности наноматериалов с помощью некоторых теоретических и экспериментальных методов, таких как разработка шероховатости поверхности, использование каналов оболочки ядра и суперрешеток, таких как геометрия. Аллон и др. синтезировали 20-300 Нм (диаметр) грубых нанопроводов Si, которые показали большое снижение теплопроводности, не влияя на величину коэффициента Зеебека и электрического сопротивления. Влияние шероховатости на нанорешетчатые пленки кремния также показывает существенное уменьшение за счет пор шероховатых поверхностей. Значительное снижение теплопроводности также было обнаружено при легировании при различных температурах, как для сплава Si-Ge, составляющее приблизительно  $9 \text{ Вт}\cdot\text{м}\cdot\text{К}^{-1}$ . Используя многослойную технику, ученые также продемонстрировали сверхнизкое удельное теплопроводность, используя многослойные Au и Si с сильно разнородной температурой Дебая. Дефекты линий, хиральность и границы зерен также влияют на теплоперенос в материале и являются одной из основных причин снижения теплопроводности в нанодиапазоне. В различных моделях зависимость теплопроводности от размера обсуждалась для наноматериалов [1-5]. Помимо показа зависимости от размера, изменение размера также приводит к изменению теплопроводности из-за изменения

удержания заряженных частиц. Нанопровода имеют более выгодные и отличные свойства, чем нанопленка; следовательно, они лучше используются для улучшения производительности устройства. Следовательно, было бы полезно изучить изменение теплопроводности не только в зависимости от размера, но и в зависимости от размера, обусловленного изменением процесса теплопередачи в зависимости от размера. Другим важным фактором, который необходимо учитывать при термическом изучении наноматериалов, является удельная теплоемкость, так как экспериментально и теоретически подтверждено, что она является обширным свойством наноматериалов.

Значительное увеличение удельной теплоемкости наноматериалов является обнадеживающей инновацией для их применения в системах аккумуляции тепловой энергии. Экспериментальные измерения показывают, что удельная теплоемкость наноматериалов увеличивается по сравнению с объемным материалом. Дж. Рапп и Р. Биррингер изучали удельную теплоемкость нанометаллов меди и палладия. Для обоих нанометаллов удельная теплота больше, чем у соответствующего объемного металла; для палладия прирост составляет от 29 до 53 %, а для меди – от 9 до 11% в зависимости от температуры. В отличие от различных экспериментальных исследований, некоторые теоретические модели были также разработаны для анализа влияния размера на удельную теплоемкость. Увеличение удельной теплоты потенциально связано с большим количеством поверхностных атомов в нанодиапазоне, что увеличивает его поверхностную энергию; поэтому удельная теплоемкость. Следовательно, при расчете теплопроводности; удельная теплоемкость не может рассматриваться как величина, не зависящая от размера наноматериалов.

Наноматериалы полезны для преобразования энергии, а также для хранения, которые зависят от морфологических эффектов, таких как площадь поверхности, энергия и шероховатость. Диапазон свойств наноматериалов зависит от размера и размера, таких как энергия когезии, температура плавления, температура Дебая, поверхностная энергия и т. д. Количественное понимание влияния размера, размера, фоновое рассеяние поверхности на теплопроводность может предоставить более качественные критерии для проектирования и изготовления наноразмерных устройств.

Общая теплопроводность любого материала – это сумма решетчатой и электронной теплопроводности  $K = K_{\text{lattice}} + K_{\text{electronic}}$ .

В полупроводниках решеточный или фононный вклад более заметен, чем электронный вклад в перенос тепла. В чистых полупроводниках наиболее коммерчески важными полупроводниками

являются Si и Ge. Эти полупроводники являются основным компонентом для разработки многих электронных устройств, таких как транзисторы, солнечные элементы, компьютеры и т. д. Некоторые свойства составных полупроводников лучше, чем у собственных полупроводников; подобно GaAs имеют более широкую запрещенную зону энергии, из-за чего они относительно нечувствительны к перегреву и также имеют тенденцию создавать меньше шума, в то время как чистый элемент свободен от стехиометрического дисбаланса. Точно так же AlAs является полупроводниковым материалом, который имеет почти такую же постоянную решетки, как у арсенида галлия, но с большей шириной запрещенной зоны. Это также полезно в оптоэлектронных устройствах, солнечных элементах, устройствах с квантовыми ямами и транзисторах с высокой подвижностью электронов.

Целью настоящего исследования является учет влияния зависящей от размера и размера удельной теплоемкости на теплопроводность наноструктурированных полупроводников с различной шероховатостью. В этой работе была выбрана базовая модель Ци, так как она состоит из меньшего количества входных параметров. Недавно Ци разработал модель энергии связи, которая зависит от нового фактора, называемого фактором релаксации ( $\delta$ ), поскольку последняя модель  $\delta = 1/2$  Ци [6] эквивалентна предыдущей модели Ци. Точность разработанной модели была проверена путем сравнения с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными наряду с классической моделью.

### Список литературы:

1. Н. Минго, Д.А. Бройдо, Решетчатые пересечения теплопроводности в полупроводниковых нанопроводах, *Phys. Rev. Lett.*, 93 (2004) 246106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.93.246106>.
2. Л.Х. Лян, Б. Ли, Размерно-зависимая теплопроводность наноразмерных полупроводниковых систем, *Phys. Rev. B*, 73 (2006) 153303. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.73.153303>.
3. Л.Х. Лян, Ю.Г. Вэй, Б. Ли, Теплопроводность композитов с наноразмерными включениями и зависящей от размера перколяцией, *J. Phys.: Condens. Matter*, 20 (2008) 365201. <http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/20/36/365201>.
4. Л.Х. Лян, Ю.Г. Вей, Б. Ли, Размерно-зависимая межфазная передача фононов и теплопроводность наноламинататов, *J. Appl. Phys.*, 103 (2008) 84314. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2910828>.
5. Х. Ли, Р. Чжан, Размерно-зависимые структурные характеристики и фононный теплообмен в нанокластерах кремния, *AIP Advances*, 3 (2013) 082114. <https://doi.org/10.1063/1.4818591>.
6. W H Qi, Наноскопическая термодинамика, *Асс. Химреагент Местожительство* 49 (2016), 1587. DOI:10.1021/acs.accounts.6b00205.

## ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ РАСТВОРОМ ПОЛИМЕРНЫЕ СВЕТОДИОДЫ

**Узенбаева Сабина Ахмадуллаевна**

*студент,  
Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

**Шульгин Дмитрий Анатольевич**

*канд. физ. – мат. наук, доцент,  
Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ,  
РФ, г. Казань*

## POLYMER LIGHT-EMITTING DIODES

**Sabina Uzenbaeva**

*student,  
Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Dmitriy Shulgin**

*candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
associate Professor, Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev — KAI,  
Russian, Kazan*

**Аннотация.** В статье представлен обзор обрабатываемых раствором полимерных светодиодов (PLED) и основных способов их получения. PLED представляются как органические электролюминесцентные материалы следующего поколения. В ходе исследования были проанализированы основные достижения в области молекулярных критериев проектирования и применения различных материалов в качестве излучателей в полимерных светодиодах.



**Abstract.** The article contains an extensive overview of polymer light-emitting diodes (PLEDs) and the main methods for their production. PLEDs are presented as next-generation organic electroluminescent materials. In a study the prerequisites for the development of the main achievements in the field of molecular design criteria and the application of different materials as emitters in polymer light-emitting diodes.

**Ключевые слова:** полимерный светодиод; дырочно-транспортный слой; полистиролсульфонат; поливинилкарбазол; инжекция носителей заряда; инжекция дырок; излучающий слой; фотолюминесценция; максимальная яркость; электролюминесценция.

**Keywords:** polymer light-emitting diodes; hole transport layer; polystyrene sulfonate; polyvinylcarbazole; carrier injection; hole injection; emissive layer; photoluminescence; maximum luminance; electroluminescent.

В последнее время огромный интерес привлекают обрабатываемые раствором полимерные светодиоды (PLED), благодаря их большому спросу в плоскопанельных дисплеях и твердотельных источниках освещения. По сравнению с высокоэффективными фосфоресцентными излучателями с зеленым и красным светом, развитие видов с синим светом остается большой проблемой. В первую очередь из-за их относительно глубоких высших уровней энергии на молекулярной орбите (HOMO) и мелких низких уровней энергии на незанятой молекулярной орбите (LUMO), которые не благоприятно влияют на инжекцию носителей заряда. Для решения данной проблемы считается эффективной стратегия: в основную цепь синих светоизлучающих полимеров включить ароматический гетероциклический фрагмент - полимер 9,9-диоктилфлуорена, что позволит облегчить инжекцию носителей заряда, а вследствие чего улучшатся и характеристики устройства. Одним из наиболее интересных примеров, позволяющим повысить эффективность электролюминесцентного анализа и спектральной стабильности, является добавление молекул: дибензотиофен-S, S-диоксида (SO). Однако молекула SO может одновременно снизить уровни энергии как HOMO, так и LUMO, что благоприятно для инжекции электронов, но неблагоприятно для дырок, но в результате это приводит к несбалансированной инжекции носителей заряда в полимере [(9,9-диоктил-2, 7-флуорен) + (дибензотиофен-S, S-диоксид)] (PFSO). Для достижения сбалансированности в излучающем слое желательно в состав добавить дополнительный дырочно-транспортный слой (HTL) между полистиролсульфонатом (PEDOT:PSS) и светоизлучающим слоем на основе сополимера PFSO.

Стандартные материалы для переноса дырок (НТМ) изготавливаются из производных карбазола или триариламина, которые имеют соответствующие уровни энергии НОМО, которые облегчают инжекцию дырок от анода. Наиболее популярным материалом НТЛ является поливинилкарбазол (PVK), который образывает прочную пленку при термическом отжиге и обеспечивает последовательное осаждение светоизлучающего слоя с помощью технологии обработки раствора. Тем не менее, PVK имеет относительно глубокий уровень энергии НОМО и относительно низкую подвижность дырок из-за несопряженной структуры, что приводит к повышению напряжения возбуждения. Данные недостатки поливинилкарбазола могут быть устранены путем изменения его молекулярной структуры, но сложный синтез и остаточные примеси значительно уменьшают интерес к разработке производных. В качестве простого решения можно смешать определенное количество НТМ в PVK, что повысит подвижность дырок.

Например, для получения эффективного дырочно-транспортного слоя можно добавить коммерчески доступный материал BCFN (N - ([1,1'-бифенил] -4-ил) -9,9-диметил-N- (4- (9-фенил-9H-карбазол-3-ил) фенил) -9H-флуорен- 2-амин) в классическую дырочную транспортровку поливинилкарбазола.

Светоизлучающие устройства синего цвета на основе PFSO, сконструированные с использованием недавно разработанного дырочного транспортного слоя, состоящего из PVK и BCFN в соответствующих весовых соотношениях, продемонстрировали замечательную световую эффективность и электролюминесцентную стабильность.

Значительно улучшенные электролюминесцентные характеристики устройств на основе смешанной пленки PVK: BCFN по сравнению с устройствами управления могут быть отнесены к соответствующему уровню энергии НОМО, который может привести к инжекции в каскадные отверстия и образованию однородного и надежного покрытия. Особенно важным является тот факт, что спектры электролюминесценции остаются почти неизменными при увеличении рабочего напряжения с 5 до 15 В, что свидетельствует о превосходной стабильности получаемых устройств. Поглощение ультрафиолетового света в PVK, BCFN and PFSO находятся на 370, 400 и 426 нм соответственно, что указывает на больший оптический интервал для BCFN, чем для PFSO, и, таким образом, BCFN можно использовать в качестве эффективного материала для переноса дырок в PFSO [2, с. 12]. Профиль поглощения смешанной пленки PVK:BCFN имеет такое же начало поглощения в точке 400 нм, как и BCFN. Особое значение имеет то, что перекрытие поглощения НТЛ и излучения PFSO незначительно, что указывает на то, что смешанная пленка PVK: BCFN не приведет к потере фотонов из эмиссионного слоя.

Наилучшие характеристики пленки PVK: BCFN были получены с весовым соотношением 3: 7, максимальная внешняя квантовая эффективность ( $EQE_{\max} = 8,6\%$ ) и максимальная яркость ( $L_{\max} = 14\,965$  кд м<sup>-2</sup>), максимальная световая отдача 7,2 кд А<sup>-1</sup> при яркости 100 кд м<sup>-2</sup> и 6,8 кд А<sup>-1</sup> при 1000 кд м<sup>-2</sup>. На данный момент, это самая высокая световая отдача при высокой яркости 1000 кд м<sup>-2</sup>, которая может быть достигнута с помощью синих светодиодов [1, с. 540].

Интенсивность фотолюминесценции PFSO значительно улучшается за счет включения HTL, так как происходит гашение экситонов на границе раздела двух материалов. Например, пленка PFSO, нанесенная на PEDOT: PSS, имеет относительно низкие значения квантового выхода ФЛ (18,3%). После добавления PVK или PVK: BCFN (с массовым соотношением 3: 7) в качестве дырочно-транспортного слоя показатели увеличиваются до 49,2% и 52,6%, соответственно [3, с. 303].

Данные наблюдения показывают, что недавно разработанный PVK: BCFN может быть эффективным транспортным слоем дырок для строительства высокоэффективных синих полимерных светодиодов.

### Список литературы:

1. J.H. Burroughes, D.D. C. Bradley, A.R. Brown, R.N. Marks, K. Mackay, R.H. Friend, P.L. Burns and A.B. Holmes // Nature. -1990. -№ 347, P. 539–541.
2. Kong X. et al. Structure-property relationship of phosphine oxide based thermally activated delayed fluorescence molecules: First-principles study // Organic Electronics. – 2018. – № 59. – P. 7-14.
3. Zhang W. et al. Revealing the influence of hole injection material's molecular orientation on OLED's performance // Organic Electronics. – 2018. – № 59. – P. 301-305.
4. Dubey D.K. et al. Simple-structured efficient white organic light emitting diode via solution process // Microelectronics Reliability. – 2018. – № 83. – P. 293-296.
5. Афанасьев А.В. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы: монография / А.В. Афанасьев, В.П. Афанасьев, Г.Ф. Глинский, С.И. Голудина; под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. — Москва: Физматлит, 2006. — 552 с.
6. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учебное пособие / Э.Л. Дзидзигури, Е.Н. Сидорова. — Москва: МИСИС, 2012. — 71 с.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

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

*Сборник статей по материалам XXIII международной  
научно-практической конференции*

№ 4 (23)  
Апрель 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 11.04.19. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 4,75. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5  
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



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru