

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Т. Г. ШЕВЧЕНКО

# ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научно-методический журнал  
Основан в июле 1993 г.

**№ 3(72), 2022**  
*Выходит три раза в год*

Тирасполь  
*Издательство  
Приднестровского  
Университета*

2022

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
Серия: ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Государственное образовательное учреждение  
«Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

В. В. СОКОЛОВ, д-р экон. наук, проф. (ответственный редактор)  
И. П. КАПИТАЛЬЧУК, канд. геогр. наук, доц. (зам. ответственного редактора)  
К. Д. ЛЯХОМСКАЯ, канд. физ.-мат. наук, доц. (ответственный секретарь)

С. И. БЕРИЛ, д-р физ.-мат. наук, проф.  
М. В. КИОРСАК, д-р техн. наук, проф.  
А. И. ДИКУСАР, д-р хим. наук, проф.  
Л. Г. СЕНОКОСОВА, д-р экон. наук, проф.  
Ф. Ю. БУРМЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
А. С. СТАРЧУК, канд. физ.-мат. наук, доц.  
В. М. ИШИМОВ, канд. физ.-мат. наук, доц.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

В. И. ДАНЕЛЮК, канд. техн. наук, доц. каф. технологии строительного производства Одесской государственной академии строительства и архитектуры  
В. И. АВЕРЧЕНКОВ, канд. техн. наук, проф., зав. каф. компьютерных технологий и систем Брянского государственного технического университета  
Т. В. ВОРОНЧЕНКО, д-р экон. наук, проф., Российская таможенная академия  
Л. Б. ВАРДОМСКИЙ, д-р экон. наук, проф., руководитель Центра постсоветских исследований Института экономики Российской академии наук  
В. Т. ЕРЕМЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф. электроники и информационной безопасности Орловского государственного университета им. И. С. Тургенева  
В. А. ЩЕРБАКОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. Института математики Академии наук Республики Молдова

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом по информации и печати ПМР 25.04.1997 г.  
Регистрационный № 29/97

**Вестник** Приднестровского университета [Электронное издание] / Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2022. – Текст. Изображение: электронные.

Сер.: Физико-математические и технические науки: № 3(72), 2022. – 188 с.  
Системные требования: Windows OS, HDD, 64 Mb, Adobe Acrobat.  
E-ISSN 2345-1548

5:378.4(478-24)(082)

П 71

АДРЕС РЕДАКЦИИ:  
3300, г. Тирасполь, 25 Октября, 107

E-ISSN 2345-1548

© ПГУ им. Т.Г. Шевченко, 2022

## ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

УДК 378.147

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДАЛЬНЕЙШЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

*С. И. Берил, В. В. Соколов, А. Ю. Долгов, М. Д. Иванова*

*Обобщен опыт Приднестровского государственного университета по применению современных дистанционных образовательных технологий в условиях карантина. Сделаны выводы о результатах образовательного процесса по итогам массового применения дистанционных образовательных технологий в 2020–2022 учебных годах и перспективах применения накопленного опыта в постпандемийный период.*

**Ключевые слова:** *интерактивный образовательный портал «Электронный университет ПГУ», электронная образовательная среда, электронный учебный курс, электронные и дистанционные образовательные технологии.*

### EXPERIENCE OF APPLICATION OF ELECTRONIC AND REMOTE TECHNOLOGIES DURING THE PANDEMIC AND PROSPECTS OF ITS USE IN FURTHER ACTIVITIES OF THE UNIVERSITY

*S.I. Beril, V.V. Sokolov, A.Y. Dolgov, M. D. Ivanova*

*There is summarized the experience of Pridnestrovian State University on the use of modern remote educational technologies in the context of quarantine measures. The conclusions were made about the results of the educational process based on the results of the mass use of remote educational technologies in 2020–2022 and the prospects for applying the accumulated experience in the post-pandemic period.*

**Keywords:** *interactive educational portal "Electronic University of PSU", electronic educational environment, e-learning course, electronic and distance education technologies.*

Любые потрясения в жизни личности неизбежно приводят ее к решению экзистенциального вопроса: «Изменяться или умирать?» Такая аллегория вполне примени-

ма к системе высшего образования на постсоветском пространстве, которая, пережив полный переход на дистанционный формат обучения вследствие мировой пандемии, должна решить, как ей интегрировать полученный опыт для того, чтобы достойно продолжить свое поступательное развитие.

Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко, как и все вузы стран, объявивших борьбу с пандемией в 2020–2022 годах, вынужден был перестроить свой образовательный процесс в соответствии с требованиями ВОЗ и государственного оперативного штаба по борьбе с пандемией и фактически перейти на дистанционное обучение, также используя и комбинированный формат при улучшении эпидемической обстановки.

Цель статьи – описать опыт применения дистанционных технологий в образовательной деятельности вуза в период пандемии для разных форм и видов обучения, а также представить основные успешные направления развития информационно-образовательной среды (ИОС) для их закрепления в виде стандартов университета.

Для адаптации к новым условиям управленческие структуры вуза разработали и внедрили положения, ориентированные на создание информационно-образовательного пространства, совмещающего в себе как традиционные, так и новые (электронные и дистанционные) формы обучения.

Электронная информационно-образовательная среда включает в себя электронные информационные и образовательные ресурсы, совокупность информационных технологий, телекоммуникационных технологий, соответствующих технологических средств и обеспечивает освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме независимо от места нахождения обучающихся. В Приднестровском государственном университете, согласно положению, ИОС представлена сайтом и образовательным порталом.

Традиционно образовательный процесс в вузе включает в себя аудиторную и внеаудиторную работу, промежуточную и итоговую аттестацию, курсовые работы и проекты, а также практическую подготовку. В дистанционном формате все эти виды учебной работы потребовали пол-

ной трансформации с применением новых форм и методов работы, а также внедрения средств и возможностей образовательного портала «Электронный университет ПГУ» и ведущих платформ видеоконференций, таких как *Zoom*, *Jitsi Meet*, Яндекс.

В период полного перехода на дистанционный формат обучения педагогами вуза был выстроен новый цифровой педагогический дизайн, который состоял в комбинировании форм асинхронной (студенты самостоятельно) и синхронной (вместе со студентами, например, на вебинаре) работы со студентами. Мониторинг факультетов и институтов по поводу внедрения новых форм работы в дистанционном формате показал ключевые дистанционные образовательные цепочки. Например, для изучения нового материала – сочетание асинхронного формата (просмотра обучающих скринкастов) с синхронным вариантом (практические консультации на вебинаре). В асинхронном формате – просмотр вебинара в записи с выполнением домашнего задания, далее в синхронном варианте – вопросы и ответы на вебинаре.

Для отработки практических навыков – в асинхронном формате просмотр обучающего видео с примерами, далее в синхронном – проведение мастер-классов онлайн, отработка практических упражнений в группах. Для получения обратной связи от студентов широко применялись различные мессенджеры и электронная почта.

Среди применяемых форм, методов и обучающих технологий чаще всего применяли имитационные модели и компьютерные тренажеры; технологии «перевернутый класс»; веб-квесты; блоги; влоги; онлайн-доски; платформы для создания интеллект-карт и онтологии, QR-кодов; образовательные ресурсы и порталы как Приднестровского университета, так и ключевых российских платформ; марафоны; батлы; скринкасты; лендинговые страницы; лонгриды; квизы и онлайн-опросы; виктори-

ны; видео с элементами анимации; интерактивные вебинары; видеомосты; записанные видеолекции и видеоролики, выложенные на платформах видеохостингов и открытых электронных лекториях университетов разных стран; программы удаленного доступа к компьютерам студентов для мониторинга состояния системы и выполняемых в ней процессов в непрерывном онлайн-режиме.

За период пандемии стали широко применяться дистанционные методы обучения, связанные с предоставлением образовательного контента вузами-партнерами по консорциуму в виде отдельных электронных курсов, а также обучение на платформах массовых онлайн-образовательных курсов, таких как «Открытое образование» (<https://opened.ru>), «Университет без границ» (<https://distant.msu.ru>).

Основой для перестройки процесса обучения стало наполнение контентом образовательного ресурса «Электронный университет ПГУ» на платформе *Moodle*. Преподаватели создали электронные учебные курсы, соответствующие учебным дисциплинам основных образовательных программ. Сочетание основного текстового или графического контента, календарного планирования, встроенной системы онлайн-тестирования делает «Электронный университет ПГУ» современным комплексным средством обеспечения учебного процесса как в обычное время, так и при любых внешних вызовах [1].

После перевода образовательного процесса в марте 2020 года в дистанционный формат также встал вопрос об обеспечении текущих и промежуточных контролей в рамках зачетно-экзаменационной сессии, защит курсовых работ и проектов. Достаточно широкий инструментарий платформы *Moodle* позволил организовать контрольное тестирование различных форм и видов, т. е. дать преподавателям удобный инструмент для организации и обеспечения текущих и промежуточных контролей по естественно-

научным, инженерным и гуманитарным направлениям обучения. Это стало возможно благодаря многолетней работе по созданию электронной информационно-образовательной среды вуза, основным элементом которой является интерактивный образовательный портал ПГУ [2].

«Электронный университет ПГУ» оказался практически единственным действенным инструментом для обеспечения образовательного процесса в период локдауна в первой половине 2020 года. Он взял на себя основную тяжесть образовательного процесса, так как в силу своей функциональной структуры максимально охватывал потребности учебно-методического процесса. На портале воссоздана структура основных образовательных подразделений: институт/факультет/филиал/кафедра. Каждый преподаватель, зарегистрированный на портале «Электронный университет ПГУ», имеет свой личный кабинет, в котором он создает структуру методических материалов, необходимых для полноценного изучения преподаваемых дисциплин, а также управляет учебным процессом. Для овладения навыками работы в «Электронном университете» преподаватели прошли курсы повышения квалификации по работе с платформой *Moodle*, также проводилась и проводится методическая работа с кафедрами и другими подразделениями университета по оказанию практической помощи в процессе освоения навыков работы в среде *Moodle*, разработке и проведению контрольных мероприятий для оценки качества обучения студентов и т. п.

Наполняемость портала за прошедшие два года увеличилась до 1653 дисциплин, изучаемых в рамках 82 направлений подготовки бакалавриата, магистратуры и специалитета. Общий объем методических материалов превысил 500 Гб на дисковом пространстве основных серверов ПГУ. В 4 раза выросло количество проводимых на портале контрольных тестовых мероприя-

тий с использованием инструментария среды *Moodle*. Многие преподаватели успешно освоили аппарат среды разработки электронных учебных курсов (ЭУК), создали свои авторские курсы с применением эффективных видеопрезентаций, системы тестирования, интерактивного опроса обучающихся, а также накопления, обработки и последующего хранения информации о результатах образовательного процесса. Любой студент, имеющий возможность подключения к сети Интернет, может с большой долей успешности продолжать обучение на избранной специальности (направлении).

С целью повышения качества предоставляемого преподавателями электронного контента по дисциплинам образовательных программ университета, на образовательном портале членами Совета по инновационной образовательной деятельности было разработано Положение об электронных учебных курсах для утверждения единых требований к электронным образовательным курсам, обеспечивающим электронное и/или дистанционное обучение, и определения последовательности этапов, необходимых для признания таких курсов электронными образовательными ресурсами университета.

За эти годы разработаны рекомендации для профессорско-преподавательского состава университета, регламентирующие процесс применения интерактивных электронных и дистанционных программ, методов и технологий в учебном процессе, которые позволили бы компенсировать отсутствие возможности использования специализированных лабораторных и технологических площадок для проведения практических и лабораторных занятий. Кроме того, были разработаны рекомендации по проведению практик в тех случаях, когда предприятия – базы практик отказывают студентам в допуске на свою территорию в связи с карантинном. Можно отметить Инженерно-технический институт и неко-

торые другие подразделения университета, которые провели практики в распределенном формате, что позволило выполнить учебный план в полном объеме в течение учебного года. Однако когда эпидемическая обстановка позволяла, студенты направлялись для прохождения практики непосредственно на базы практик.

Опыт применения дистанционных образовательных технологий позволил полностью перестроить процесс обучения студентов заочной и очно-заочной форм обучения: в 2020 году они приказом ректора были полностью переведены на дистанционный формат обучения [3].

Сегодня для организации образовательного процесса по очно-заочной форме применяется комбинированный формат, который достаточно успешно сочетает аудиторные и дистанционные образовательные мероприятия, а также позволяет студентам, используя материалы образовательного портала «Электронный университет ПГУ», проводить самоподготовку в случае пропуска занятий. Этот же инструментарий позволяет работающим студентам заочной формы обучения не терять контакт с образовательной организацией, выполнять учебные программы дисциплин, быть на связи с вузом по принципу 24/7 из любой географической точки, где имеется подключение к всемирной сети Интернет. Например, для прохождения ознакомительной практики студентов направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» в Рыбницком филиале ПГУ использовали платформу видеоконференций, с помощью которой сотрудник предприятия проводил виртуальные экскурсии по цехам и производственным площадкам. Это позволило студентам получить наглядное представление о структуре производства, технологических цепочках, оборудовании и выполняемых операциях на каждом этапе изготовления и контроля выпускаемой продукции.

Для инженерных, естественно-научных, психологических, медицинских и химико-биологических направлений обучения, которые требуют проведения лабораторных работ и практикумов в специальных лабораториях, на полигонах и технологических площадках для получения практических навыков и формирования профессиональных компетенций, полный переход на дистанционный формат невозможен [4]. Для нивелирования возникающих негативных факторов применяется комбинированный формат учебного процесса, в рамках которого предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий на специализированных площадках, так как все студенты перечисленных направлений получили возможность присутствовать на практических и лабораторных занятиях в предназначенных для этого аудиториях, своевременно направлялись на практики в профильные организации. Это позволяет формировать профессиональные компетенции соответствующего направления обучения, что особенно важно при подготовке специалистов, не только работающих за компьютером, но и ежедневно решающих практические профессиональные задачи.

Наряду с организационно-методическими проблемами внедрение дистанционного обучения в вузе сопровождается заметными изменениями в организации процесса обучения и поднимает ряд технических и психолого-педагогических проблем. Одной из таких проблем становится самостоятельное освоение студентами огромного массива информации, поступающей по всем учебным дисциплинам. С одной стороны, это накладывает обязательства на преподавателей, которым для успешного обучения необходимо систематизировать и упростить учебный материал, с другой – предъявляет высокие требования к развитию определенных способностей и видов мышления у студентов, которые необходимы для овладения новыми знаниями [5].

От личности и индивидуальности преподавателя, от принятия профессионалом сущности и необходимости инноваций зависит развитие всей системы образования. Обычно процессы принятия изменений сотрудниками связаны как с объективными, так и с субъективными факторами. Основными психологическими проблемами становятся отсутствие понимания природы вуза как организации особого типа и недооценка препятствий на пути внедрения инноваций [6].

Так, основными педагогическими проблемами внедрения дистанционных образовательных технологий стали управление групповой динамикой онлайн, удержание внимания студентов на вебинарах, низкий уровень цифровой грамотности, неумение перестроить формат образовательного процесса – «цифровое насилие». Психологические проблемы: отсутствие инновационности как свойства личности у педагогов, отсутствие мотивации к работе в цифровом формате, профессиональный и информационный стресс и, как следствие, эмоциональное выгорание, проблемы тайм-менеджмента в новых условиях труда.

Приднестровский государственный университет находится под постоянным патронатом своего учредителя. Для развития вуза и оснащения его новой техникой, не только компьютерной, но и научной, учебной приняты несколько программ на государственном уровне.

Одна из них – Государственная целевая программа «Стратегия развития ПГУ им. Т. Г. Шевченко на период 2019–2023 гг.». Согласно этой программе для нужд подразделений ПГУ ежегодно приобретается компьютерная и офисная техника, прокладываются новые коммуникации, выполняются отдельные инфраструктурные проекты.

Вторая – программа реконструкции учебных корпусов ПГУ в рамках Фонда



капитальных вложений. В 2021–2022 годах были выполнены работы по реконструкции учебного корпуса с одновременной заменой телекоммуникационных линий связи, в том числе оптоволоконной, что повысило пропускную способность магистрали и дало возможность поднять скорость конечным потребителям. Кроме того, в 2021 году в студенческом городке ПГУ был реализован проект информационно-компьютерной сети «Кампус», которая позволила подключить к интернету по технологии Wi-Fi все общежития и ряд структурных подразделений. В период пандемии, когда университет был вынужден перейти на дистанционное обучение, эти средства в дополнение к имеющемуся интерактивному образовательному portalу «Электронный университет ПГУ» позволили сохранить непрерывность и качество процесса обучения, что было подтверждено при прохождении процедуры аккредитации ПГУ Федеральным агентством по надзору в сфере образования РФ (Рособрнадзор), а также при проведении Федерального интернет-экзамена для бакалавров, по итогам которого наши студенты получили серебряные и бронзовые сертификаты, что указывает на соответствие качества выпускаемых специалистов профессиональным компетенциям, предъявляемым Федеральными государственными образовательными стандартами РФ.

Безусловно, опыт, полученный за период пандемии, является ценным, поэтому целесообразно наиболее важные результаты и опыт работы в экстремальных условиях, накопленный различными структурными подразделениями университета, обобщить с целью дальнейшего использования в практике работы университета.

Основные направления дальнейшей работы по оптимизации образовательного процесса в комбинированном формате:

1) совершенствование нормативной документации Приднестровского государственного университета по вопросам

приема, информирования об особенностях образовательного процесса и обучения граждан по программам высшего образования с применением дистанционных технологий;

2) регламентация наполнения образовательного портала в соответствии с требованиями инструктивных документов Рособрнадзора;

3) расширение функциональных возможностей образовательного портала – включение собственного сервиса для проведения видеоконференций, который расширит коммуникативные возможности «Электронного университета ПГУ»;

4) регламентация включения в образовательный процесс Приднестровского государственного университета дистанционных онлайн-курсов ведущих университетов России и площадок MOOC;

5) регламентация и сотрудничество в области сетевого обучения с ведущими вузами Российской Федерации;

6) внедрение комплекса мероприятий педагогической поддержки педагогов: обучение цифровой дидактике через курсы повышения квалификации, мастер-классы; обучение работе с новыми ресурсами и платформами, через воркшопы, систему цифрового волонтерства, создание цифрового портрета и т. д.;

7) внедрение комплекса мероприятий психологического сопровождения педагогов: разработка системы повышения мотивации работы с дистанционными технологиями через конкурсы по педагогическому мастерству; установление надбавок за разработку и внедрение электронных учебных курсов; учет достижений педагогов при прохождении аттестационно-конкурсных мероприятий; разработка и внедрение системы психологических мероприятий, направленной на изменение установок по отношению к новым форматам обучения, на развитие цифровой культуры и этики педагогов;



8) внесение дополнений в стандарты университета с учетом нововведений, связанных с внедрением дистанционного и электронного обучения.

Опыт внедрения и функционирования электронной образовательной среды вуза, особенно в период пандемии, позволил сделать выводы, что для эффективного ее использования необходимо в дальнейшем постоянно совершенствовать методологию разработки образовательного контента, повышать уровень профессиональной квалификации педагогов, опираться на разработанные и внедренные в ПГУ электронные образовательные ресурсы, привлекать интеллектуальный потенциал вузов-партнеров, создавать совместные образовательные программы на основе дистанционных технологий с другими вузами по принципу сетевого образования, а также в перспективе открывать профильные кафедры российских вузов по укрупненным группам направлений обучения.

### Цитированная литература

1. **Берил, С. И.** Опыт перехода к комбинированному формату обучения в условиях пандемии на примере ПГУ им. Т.Г. Шевченко / С. И. Берил, А. Ю. Долгов. – Текст : непосредственный // Информатизация образования – 2021: сборник материалов Международной научно-практической конференции к 85-летию со дня рождения Я. А. Ваграменко, к 65-летию ЛГТУ, г. Липецк, 23–25 июня 2021 года. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2021. – С. 24–32.

2. **Берил, С. И.** Особенности развития электронной информационно-образовательной среды Приднестровского государственного университета / С. И. Берил, А. Ю. Долгов. – Текст : непосредственный // Грани познания. – 2019. – № 2(61). – С. 17–22.

3. **Берил, С. И.** Особенности учебного процесса в условиях карантинных мероприятий в Приднестровском государственном университете / С. И. Берил, А. Ю. Долгов. – Текст : непосредственный // Информатизация образования – 2020 [29–31 октября 2020 года, Орел]: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию со дня рождения патриарха российского образования, великого педагога и математика, академика РАН С. М. Никольского (1905–2012 гг.) / под редакцией доктора педагогических наук, кандидата физико-математических наук, профессора А. А. Русакова. – Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 2020. – С. 13–18.

4. **Долгов, А. Ю.** Применение образовательного портала «Электронный университет ПГУ» в учебном процессе / А. Ю. Долгов. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии в современном образовании: III Республиканская научно-практическая конференция (с международным участием): сборник материалов. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2021. – С. 9–18.

5. **Иванова М. Д.** Развитие критического мышления студентов современными методами работы с информацией / М. Д. Иванова. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии в современном образовании: III Республиканская научно-практическая конференция (с международным участием): сборник материалов. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2021. – С. 108–112.

6. **Иванова, М. Д.** К вопросу о психолого-педагогических аспектах внедрения инновационных образовательных технологий (на примере Приднестровья) / М. Д. Иванова, В. Ю. Могилевская. – Текст : непосредственный // Горизонты и риски развития образования в условиях системных изменений и цифровизации: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции. – Москва : Некоммерческое партнерство «Международная академия наук педагогического образования», 2020. – С. 725–729.

## О БИПОЛЯРОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В «СЭНДВИЧАХ ГИНЗБУРГА»

### ЧАСТЬ I. ТЕОРИЯ БИПОЛЯРОННЫХ СОСТОЯНИЙ БОЛЬШОГО РАДИУСА В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ

С. И. Берил, А. С. Старчук

*На основе точного гамильтониана электрон-фононного взаимодействия для многослойных структур построена теория биполяронных состояний большого радиуса, которая применена для исследования куперовского спаривания поляронов в монослоях FeSe на подложках SrTiO<sub>3</sub> и в трехслойных структурах SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub>.*

**Ключевые слова:** биполяроны, электрон-фононное взаимодействие, многослойные структуры.

## ON THE BIPOLARONIC MECHANISM OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN "GINZBURG SANDWICHES"

### PART I. THEORY OF LARGE-RADIUS BIPOLARONIC STATES IN MULTILAYER STRUCTURES WITH QUANTUM WELLS

S. I. Beril, A. S. Starchuk

*Based on the exact Hamiltonian of the electron-phonon interaction for multilayer structures, a theory of large-radius bipolaronic states is constructed, which is applied to the study of Cooper pairing of polarons in FeSe monolayers on SrTiO<sub>3</sub> substrates and in three-layer structures SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub>.*

**Keywords:** bipolarons, electron-phonon interaction, multilayer structures.

### Введение

Биполяронный подход к исследованию явления сверхпроводимости впервые применил Шафрот [1]. В работах Бардина, Купера, Шриффера [2, 3], Боголюбова [4] были установлены природа и механизмы возникновения сверхпроводимости, основанные на феномене образования элементарных возбуждений в результате спаривания электронов (куперовские пары). Однако в однородных и изотропных материалах критическая температура ( $T_c$ ) сверхпроводящего перехода оказалась очень низкой по сравнению с темпера-

турой кипения жидкого азота. Как было показано в ряде работ, началом которых послужило исследование Литтла [5], повышению  $T_c$  могли бы способствовать неоднородность и анизотропия среды. В работах Гинзбурга [6–8], Аллендера и др. [9], Филлипса [10] рассматривались многослойные структуры, состоящие из металлических и диэлектрических слоев с экситонным, плазмонным и фононным механизмами образования электронных пар, находящихся как в одном, так и в разных слоях структуры.

Обнаружение высоких  $T_c$  в слоистых халькогенидах (FeSe) породило большой интерес исследователей в связи с тем, что природа высокотемпературной сверх-

проводимости (ВТСП) в этих материалах, а также ряд их физических свойств существенно отличаются от соединений  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , в которых впервые была обнаружена ВТСП с  $T_c$  выше температуры кипения азота.

Детальные экспериментальные исследования в интеркалированных соединениях FeSe, а также в однослойных пленках FeSe на подложках типа  $\text{SrTiO}_3$  и обнаружение в них ВТСП с  $T_c \sim 100$  К потребовали разработки новых теоретических представлений о механизмах ВТСП, поскольку существовавшие ранее теории, в том числе для соединений  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , не позволяли объяснить высокие значения  $T_c$  в монослоях FeSe на подложках  $\text{SrTiO}_3$  ( $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ).

В обзоре Садовского [11] было проведено системное рассмотрение ВТСП в этих материалах, проанализированы возможные механизмы, объясняющие высокие значения  $T_c \sim 110$  К в монослоях FeSe на подложках  $\text{SrTiO}_3$ , полученные в экспериментальных работах [12–15]. Принципиально важным результатом в достижении высоких  $T_c$  в экспериментальных исследованиях [13, 15] стало установление важной роли подложек  $\text{SrTiO}_3$  ( $\text{BaTiO}_3$ ), на которые осаждались однослойные пленки FeSe. Как было показано в работе [16], нанесение однослойной пленки FeSe на подложку из графита снизило  $T_c$  до значений порядка  $(8 \div 10)$  К, соответствующих объемному кристаллу FeSe.

Следует отметить, что предсказанный Гинзбургом в работах [6–8] путь к усилению электрон-фононного взаимодействия за счет разделения областей, в которых находятся электроны, образующие куперовские пары, с областями, в которых возбуждаются экситоны (либо индуцируется поляризация), оказалось возможным реализовать в многослойных структурах за счет подбора оптимальных геометрических (толщины слоев) и материальных (диэлек-

трические проницаемости, оптические частоты, эффективные массы) параметров, что позволяет удовлетворить критерии формирования биполярных состояний с большой энергией связи [17–25].

Возможность образования биполяронов в ионных кристаллах впервые была рассмотрена Пекаром [18] в рамках континуальной теории поляронов. Гинзбургом биполяроны рассматривались при исследовании сверхтекучести [19], Винецкий и Пашицкий исследовали сверхтекучесть заряженного бозе-газа и биполяронный механизм сверхпроводимости [20, 21]. Несмотря на то, что механизмы образования биполяронов и спаривания электронов в куперовские пары различаются методами описания, по сути основой обоих эффектов является электрон-фононное взаимодействие.

В работах Винецкого и Пашицкого [22], Александрова и Раннингера [23], Адамовского [24] были исследованы условия стабильности биполярона в однородной среде при различных значениях силы электрон-фононного взаимодействия, которые позволили установить, что критерии существования стабильного биполярона накладывают строгие, трудновыполнимые ограничения на значения параметров кристаллов и структур на их основе.

В частности, в работе Винецкого и Пашицкого [22] были получены критерии образования биполяронов большого радиуса в полярных кристаллах:

$$\frac{\epsilon_0}{\epsilon_\infty} > 20, \quad \alpha \geq 10, \quad (1)$$

которые были несколько ослаблены за счет усовершенствования вариационного метода Адамовским [24]:

$$\frac{\epsilon_0}{\epsilon_\infty} > 10, \quad \alpha \geq 7,3, \quad (2)$$

где:  $\epsilon_0$ ,  $\epsilon_\infty$  – статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости соот-

ветственно;  $\alpha$  – фрелиховская константа электрон-фононного взаимодействия.

Следует отметить, что как критерий (1), так и неравенства (2) трудно реализуемы для большинства полярных полупроводниковых кристаллов, поэтому образование стабильных биполярных состояний с высокими значениями энергии связи в однородных полярных средах проблематично.

В настоящей работе на основе теории биполярных состояний большого радиуса с использованием точного гамильтониана электрон-фононного взаимодействия для произвольных многослойных структур [25–27] исследован биполярный подход к описанию высокотемпературной сверхпроводимости в монослоях FeSe на полярных подложках SrTiO<sub>3</sub> и в трехслойных структурах SrTiO<sub>3</sub>-FeSe-SrTiO<sub>3</sub>, представляющих собой «сэндвичи Гинзбурга» [6].

### 1. Базовые положения теории биполяронов большого радиуса в трехслойной структуре с квантовой ямой

Рассматривается трехслойная структура  $\langle 10|2|30 \rangle$ , состоящая из двух полубесконечных полярных кристаллов  $\langle 10 \rangle$ ,  $\langle 20 \rangle$  и неполярного полупроводникового квантового слоя  $\langle 2 \rangle$  толщиной  $d$  ( $d \sim \lambda$ ,  $\lambda$  – де-бройлевская длина волны электрона в слое  $\langle 2 \rangle$ ), расположенного между ними и имеющего диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_2$ .

Высокочастотные и статические диэлектрические проницаемости полярных кристаллов соответственно равны:  $\epsilon_{i\infty} \equiv \epsilon_i$ ,  $\epsilon_{i0}$  ( $i = 1, 3$ ).

#### 1.1. Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия

В основу теории положен точный гамильтониан электрон-фононного взаимо-

действия для произвольных многослойных систем [25, 26].

Применительно к рассматриваемой системе с двумя электронами в слое (2), граничащем с полубесконечными полярными кристаллами  $\langle 10 \rangle$ ,  $\langle 30 \rangle$ , гамильтониан взаимодействия электронов в слое  $\langle 2 \rangle$  с поверхностными оптическими фононами полярных кристаллов  $\langle 10 \rangle$  и  $\langle 30 \rangle$  имеет вид:

$$\begin{aligned} \hat{H}_{e_n-ph}^s = & \sum_{\substack{\eta,s=1,2, \\ n=1,2}} C(\eta) e^{i\eta z_{e_n}} \times \\ & \times \left\{ \left[ B_1 K_{13,22} + B_2 K_{13,24} F_{21} \right] \text{ch } \eta z_{e_n} + \right. \\ & + \left[ B_1 K_{23,22} + B_2 K_{23,34} F_{21} \right] \text{sh } \eta z_{e_n} \left( \hat{b}_{1,-\eta}^+ + \hat{b}_{1,\eta} \right) + \\ & + \left[ B_3 K_{13,12} + B_4 K_{13,24} F_{21} \right] \text{ch } \eta z_{e_n} + \\ & + \left. \left[ B_3 K_{23,22} F_{12} + B_4 K_{23,34} \right] \text{sh } \eta z_{e_n} \right\} \times \\ & \times \left( \hat{b}_{2,-\eta}^+ + \hat{b}_{2,\eta} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$C(\eta) = \frac{e\sqrt{\hbar}}{4\sqrt{\epsilon_0 \eta L_x L_y \text{sh} \left( \frac{\eta d}{2} \right)}}; \quad (4)$$

$$B_{1,2} = \frac{\omega_{1,3} \sqrt{2(\epsilon_{1,30} - \epsilon_{1,3})}}{\sqrt{\Omega_1 (1 + F_{21}^2)}};$$

$$B_{3,4} = \frac{\omega_{1,3} \sqrt{2(\epsilon_{1,30} - \epsilon_{1,3})}}{\sqrt{\Omega_2 (1 + F_{12}^2)}}; \quad (5)$$

$$K_{13,22} = -\frac{\text{th } \frac{\eta d}{2}}{B} \left( \epsilon_3 \text{cth } \frac{\eta d}{2} + \epsilon_3 \right);$$

$$K_{23,22} = \frac{\epsilon_2 \text{th } \frac{\eta d}{2} + \epsilon_3}{B}; \quad (6)$$

$$K_{13,24} = \frac{\text{th } \eta d}{\tilde{B}} \left( \varepsilon_2 \text{cth } \frac{\eta d}{2} + \varepsilon_1 \right);$$

$$K_{23,24} = \frac{\varepsilon_2 \text{th } \frac{\eta d}{2} + \varepsilon_1}{\tilde{B}}; \quad (7)$$

$$F_{12} = - \left( \omega_1 \omega_3 \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_{10} - \varepsilon_1} \cdot \sqrt{\varepsilon_{30} - \varepsilon_3} \right) \times$$

$$\times \left( \text{sh } \eta d \left[ \tilde{B} \Omega_2^2 - \omega_1^2 \left[ \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_3 + \varepsilon_{10}) + \varepsilon_{10} \varepsilon_{30} \right] \right] \right)^{-1}; \quad (8)$$

$$F_{21} = - \left( \omega_1 \omega_3 \varepsilon_2 \sqrt{\varepsilon_{10} - \varepsilon_1} \cdot \sqrt{\varepsilon_{30} - \varepsilon_3} \right) \times$$

$$\times \left( \text{sh } \eta d \left[ \tilde{B} \Omega_1^2 - \omega_3^2 \left[ \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_{30}) + \varepsilon_{10} \varepsilon_{30} \right] \right] \right)^{-1}; \quad (9)$$

$$\Omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} p_1 \pm \sqrt{\frac{1}{4} p_1^2 - p_2}; \quad (10)$$

$$p_1 = \frac{1}{\tilde{B}} \left\{ \omega_1^2 \left[ \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_3 + \varepsilon_{10}) + \varepsilon_3 \varepsilon_{10} \right] + \right.$$

$$\left. + \omega_3^2 \left[ \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_{30}) + \varepsilon_{30} \varepsilon_1 \right] \right\}; \quad (11)$$

$$p_2 = \frac{\omega_1^2 \omega_3^2}{\tilde{B}} \left[ \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30}) + \varepsilon_{30} \varepsilon_{10} \right]; \quad (12)$$

$$\tilde{B} = \varepsilon_2^2 + \hat{\varepsilon}_2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + \varepsilon_1 \varepsilon_3;$$

$$\hat{\varepsilon}_2 = \varepsilon_2 \text{cth } 2\eta d. \quad (13)$$

Полный гамильтониан рассматриваемой системы с двумя электронами в слое  $\langle 2 \rangle$  имеет вид:

$$\hat{H} = \hat{K}_{e_1} + \hat{K}_{e_2} + V_{e_1-e_2} + V_{Sd}(z_1, z_2) +$$

$$+ \hat{H}_{ph}^S + \hat{H}_{e-ph}^S + V_B. \quad (14)$$

В формуле (14) приняты следующие обозначения:  $\hat{K}_{e_n}$  ( $n=1,2$ ) – операторы кинетических энергий электронов:

$$\hat{K}_{e_n} = \frac{\hat{P}_{\parallel e_n}^2}{2m_{e_{\parallel}}^*} + \frac{\hat{P}_{\perp e_n}^2}{2m_{e_{\perp}}^*}, \quad n=1,2 \quad (15)$$

(обозначения « $\parallel$ » и « $\perp$ » относятся соответственно к параллельному и перпендикулярному оси  $z$  направлениям; последняя перпендикулярна границам слоя  $\langle 2 \rangle$ , а начало координат находится в его центре).

Потенциальная энергия электронов, обусловленная как прямым электрон-электронным взаимодействием, так и взаимодействием каждого из электронов с быстрой поляризацией слоя и граничащих с ним кристаллов, имеет вид [28]:

$$V_{e_1-e_2} \equiv V_{e_1-e_2}(\rho, z_{e_1}, z_{e_2}) =$$

$$= \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_2} \int_0^\infty d\eta J_0(\eta\rho) \left\{ e^{-\eta|z_{e_1}-z_{e_2}|} + \right.$$

$$+ \frac{2}{e^{2\eta d} - \delta_1 \delta_3} \left[ \delta_1 \delta_3 \text{ch}(\eta(z_{e_1} - z_{e_2})) + e^{\eta d} \times \right.$$

$$\left. \left. \times (f_1 \text{ch}(\eta(z_{e_1} + z_{e_2})) + f_2 \text{sh}(\eta(z_{e_1} + z_{e_2}))) \right] \right\}; \quad (16)$$

где введены следующие обозначения:

$$\delta_{1,3} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_{1,3}}{\varepsilon_2 + \varepsilon_{1,3}}, \quad f_1 = \frac{\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1 \varepsilon_3}{(\varepsilon_2 + \varepsilon_1)(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)},$$

$$f_2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)\varepsilon_2}{(\varepsilon_2 + \varepsilon_1)(\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}, \quad (17)$$

$J_0(x)$  – функция Бесселя нулевого порядка;

$$\hat{H}_{ph}^S = \sum_{\mathbf{n}, s=1,2} \hbar \Omega_s \hat{b}_{\mathbf{n},s}^\dagger \hat{b}_{\mathbf{n},s} \quad (18)$$

– оператор энергии поверхностных оптических фононов;  $\hat{H}_{e_n-ph}^S$  ( $n=1,2$ ) – гамильто-

ниан взаимодействия электронов в слое  $\langle 2 \rangle$  с поверхностными оптическими фононами полярных кристаллов  $\langle 10 \rangle$  и  $\langle 30 \rangle$ , имеющий вид (3) – (13).

Потенциальная энергия взаимодействия каждого электрона с наведенной им быстрой поляризацией слоя и соседних кристаллов (так называемая энергия самовоздействия) может быть записана в виде:

$$V_{SA}(z_{e_n}) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_2} \int_0^\infty \frac{d\eta}{e^{2\eta d} - \delta_1\delta_3} \times \left\{ \delta_1\delta_3 + e^{2\eta d} (f_1 \text{ch}(2\eta z_{e_n}) + f_2 \text{sh}(2\eta z_{e_n})) \right\}. \quad (19)$$

Потенциальная энергия электронов в прямоугольной яме с бесконечными барьерами равна

$$V_B(z_{e_n})|_{n=1,2} = \begin{cases} 0, -\frac{d}{2} < z_{e_n} < \frac{d}{2}; \\ \infty, z_{e_n} \leq -\frac{d}{2}, z_{e_n} \geq \frac{d}{2}. \end{cases} \quad (20)$$

### 1.2. Эффективный гамильтониан системы

Будем считать, что толщина  $d$  слоя  $\langle 2 \rangle$  столь мала, что энергия размерного квантования намного больше энергии фононов и электрон-фононного взаимодействия. В этом приближении движение электрона вдоль оси  $z$  может рассматриваться как быстрое, и волновые функции могут быть выбраны в виде, описывающем основное размерно-квантованное состояние:

$$\psi(z_{e_1}, z_{e_2}) = \left(\frac{2}{d}\right) \cos\left(\frac{\pi z_{e_1}}{d}\right) \cos\left(\frac{\pi z_{e_2}}{d}\right). \quad (21)$$

После усреднения гамильтониана (14)–(20) на волновой функции (21) исключаем переменные  $z_{e_1}$  и  $z_{e_2}$  и получа-

ем квазидвумерную задачу с гамильтонианом

$$\hat{H}_1(\rho) = \left\langle \psi(z_{e_1}, z_{e_2}) \left| \hat{H}(\rho, z_{e_1}, z_{e_2}) \right| \psi(z_{e_1}, z_{e_2}) \right\rangle. \quad (22)$$

Поместим начало системы координат  $XOY$  в центр масс электронной системы (радиус-векторы электронов соответственно обозначим  $\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}$ ).

Выполним над гамильтонианом  $\hat{H}_1(\rho)$  унитарное преобразование

$$\hat{H}_2(\rho) = \hat{U}_1^{-1} \hat{H}_1 \hat{U}_1, \quad (23)$$

где оператор преобразования  $\hat{U}_1$  имеет вид

$$\hat{U}_1 = \exp \left\{ \sum_{\mathbf{n}, s=1,2} f(\mathbf{n}, \mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) \hat{b}_{s,\mathbf{n}}^+ \hat{b}_{s,\mathbf{n}} \right\}; \quad (24)$$

здесь:  $f(\mathbf{n}, \mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2})$  – вариационные амплитуды смещения операторов фононных мод.

При усреднении полученного гамильтониана  $\hat{H}_2$  по фононному вакууму  $|\Phi_0\rangle$  получим эффективный гамильтониан, не содержащий фононных переменных:

$$\hat{H}_3(\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}) = \langle \Phi_0 | \hat{H}_2 | \Phi_0 \rangle. \quad (25)$$

Выберем вариационные амплитуды смещения в формуле (24) в виде, аналогичном [17, 24]:

$$f(\mathbf{n}, \mathbf{p}_{e_n})|_{n=1,2} = \frac{C(\eta)F_n(\eta)}{\hbar\Omega_s} \times \left\{ \frac{e^{i\mathbf{n}\mathbf{p}_{e_1}} + e^{i\mathbf{n}\mathbf{p}_{e_2}}}{1 + \eta^2 R_s^2} + \frac{\lambda}{(1 + \beta^2 \eta^2 R_s^2)^2} \right\}, \quad (26)$$

где  $\lambda$  и  $\beta$  – вариационные параметры,



$$R_s = \left( \frac{\hbar}{2m^* \Omega_s} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad s = 1, 2.$$

При  $\lambda = 0$  функция  $f(\boldsymbol{\eta}, \boldsymbol{\rho}_1, \boldsymbol{\rho}_2)$  принимает форму амплитуды Хакена [29], с учетом специфического характера рассматриваемой системы. Множитель  $F_n(\boldsymbol{\eta})|_{n=1,2}$  имеет вид:

$$F_1(\boldsymbol{\eta}) = \frac{\pi^2 \text{sh} \left( \frac{\eta d}{2} \right) [B_1 K_{13,22} + B_2 F_{21} K_{13,24}]}{\frac{\eta d}{4} \left( \frac{\eta^2 d^2}{16} + \pi^2 \right) \sqrt{\hbar \Omega_1}}; \quad (27a)$$

$$F_2(\boldsymbol{\eta}) = \frac{\pi^2 \text{sh} \left( \frac{\eta d}{2} \right) [B_3 K_{13,22} F_{12} + B_4 K_{13,24}]}{\frac{\eta d}{4} \left( \frac{\eta^2 d^2}{16} + \pi^2 \right) \sqrt{\hbar \Omega_2}}. \quad (27b)$$

Второе слагаемое в формуле (26) введено в работах [24, 30, 31] согласно теории объемных биполярных и экситонных состояний в полярных кристаллах с целью более точного описания распределения медленной поляризации, индуцированной полем двухзарядовой системы: два электрона в биполяроне [17, 24] или электрон и дырка в экситоне [28, 32]. Следует отметить, что вариационный параметр  $\lambda$  описывает величину поляризационного заряда, возникающего в двухэлектронной системе в дополнение к полярному, который локализован вблизи центра масс, вариационный параметр  $\beta$  учитывает размеры области, в которой распределены индуцированные полярные заряды. В результате получаем эффективный гамильтониан системы:

$$\hat{H}_{eff} = E_0(d) - \sum_{n=1,2} \frac{\hbar^2}{2m_{e_n \perp}} \Delta_{e_n} + W_{eff}(\boldsymbol{\rho}, d) + W_p(\boldsymbol{\rho}_{e_1}, \boldsymbol{\rho}_{e_2}, d) + E_p(d). \quad (28)$$

Слагаемое

$$E_0(d) = \frac{\pi^2 \hbar^2}{m_{e_{\parallel}} d^2} + \langle V_{SA} \rangle \quad (29)$$

включает в себя энергию основного уровня размерного квантования и энергию самовоздействия:

$$\langle V_{SA} \rangle = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_2 d} \times \int_0^{\infty} \frac{dx}{e^{2x} - \delta_1 \delta_3} \left\{ \delta_1 \delta_3 + f_1 \frac{\pi^2 e^x \text{sh } x}{x(x^2 + \pi^2)} \right\}.$$

Слагаемое  $W_{eff}(\boldsymbol{\rho}, d)$  представляет собой эффективный потенциал электрон-фононного взаимодействия и включает в себя энергию  $V_{e_1-e_2}(\boldsymbol{\rho}, d)$  после усреднения (14) на волновой функции (21) и энергию электрон-фононного взаимодействия, описывающую взаимодействие каждого из электронов с индуцированной поляризацией другого:

$$W_{eff}(\boldsymbol{\rho}, d) = V_{e_1, e_2}(\boldsymbol{\rho}, d) + \frac{e^2}{16\pi \epsilon_0 d} \int_0^{\infty} J_0 \left( \frac{x\rho}{d} \right) \{ F_1^2(x) a_{11} (a_{11} - 2) + F_2^2(x) a_{12} (a_{12} - 2) \} dx, \quad (30)$$

где:

$$a_{1s}(x) = \left( 1 + \frac{R_s^2 x^2}{d^2} \right)^{-1}, \quad s = 1, 2. \quad (31)$$

Слагаемое  $W_p(\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}, d)$  в правой части (28)

$$W_p(\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}, d) = \sum_{\eta, n=1,2} |C(\eta)F_n(\eta)|^2 \times \\ \times \left\{ (2a_{1s} - 1)2a_{2s} \cos(\eta \mathbf{p}_{e_n}) \right\} \quad (32a)$$

определяется вторым членом в формуле (26):

$$a_{2s} = \lambda (1 + \beta^2 \eta^2 R_s^2)^{-2}. \quad (32b)$$

Оно описывает потенциальную энергию взаимодействия электрона с поляризованным зарядом, индуцированным совместным действием обоих электронов, который расположен в области центра масс двухэлектронной системы.  $W_p(\mathbf{p}_{e_1}, \mathbf{p}_{e_2}, d)$  вносит дополнительный вклад в притяжение электронов и образование биполярона.

Независящая от координат часть потенциальной энергии  $E_p(d)$  в формуле (28) имеет вид:

$$E_p(d) = \sum_{\substack{\eta, n=1,2, \\ s=1,2}} |C(\eta)F_n(\eta)|^2 \times \\ \times \left( 2a_{1s}^2 - 4a_{1s} + 2a_{1s}^2 R_s^2 \eta^2 + a_{2s}^2 \right) \quad (33)$$

и учитывает поляронную энергию, а также взаимодействие каждого из электронов с созданной им поляризацией и энергию упруго деформированной решетки.

### Цитированная литература

1. **Schafroth M. R.** Superconductivity of a charged in ideal Bose Gas // Phys. Rev. B. – 1955. – Vol. 100, № 2. – P. 463–475.

2. **Bardeen J., Cooper L. N. and Schrieffer J. R.** Microscopic Theory of Superconductivity // Phys. Rev. – 1957. – Vol. 106. – P. 162–164.

3. **Bardeen J., Cooper L. N. and Schrieffer J. R.** Theory of Superconductivity // Phys. Rev. – 1957. – Vol. 108. – P. 1175–1109.

4. **Боголюбов, Н. Н.** Новое приближение в теории сверхпроводимости / Н. Н. Боголюбов, В. В. Толмачев, Д. В. Ширков. – Москва: Физматгиз, 1958. – Текст : непосредственный.

5. **Little W. A.** Possibility of Synthesizing an Organic Superconductor // Phys. Rev. – 1964. – Vol. 134. – P. A1416–A1425.

6. **Гинзбург, В. Л.** К вопросу о высокотемпературной и поверхностной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург, Д. А. Киржниц. – Текст : непосредственный // Доклад Академии Наук СССР. – 1967. – Т. 176. – С. 553–555.

7. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // УФН. – 1968. – Т. 95. – С. 91–95.

8. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. II / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // УФН. – 1970. – Т. 101. – С. 185–215.

9. **Allender D., Bray Y. and Bardeen J.** Model for an Exciton Mechanism of Superconductivity // Phys. Rev. B. – 1973. – Vol. 7. – P. 1020–1028.

10. **Phillips J. C.** Superconductivity Mechanisms and Covalent Instabilities // Phys. Rev. Lett. – 1972. – Vol. 29 – P. 1551–1555.

11. **Садовский, М. В.** Высокотемпературная сверхпроводимость в монослоях FeSe / М. В. Садовский. – Текст : непосредственный // УФН. – 2016. – Т. 186, № 10. – С. 1035–1057.

12. **Ge Jian-Feng, Liu Zhi-Long, Liu Canhua, GaO Chun-Lei et al.** Superconductivity above 100 K in single-layer FeSe films on doped SrTiO<sub>3</sub> // Nature Materials (Letters). – 2015. – Vol. 14. – P. 285–289.

13. **Zhang Shuyuan, Guan Jiagi et al.** Role of SrTiO<sub>3</sub> phonon penetrating into thin FeSe films in the enhancement of superconductivity // Phys. Rev. B. – 2016. – Vol. 94. 081116(R).

14. **Wang Q.-Y., Zhi L., Wen-Hao Z. et al.** Вызванная интерфейсом ВТСП в пленках FeSe с одиночной элементарной ячейкой на SrTiO<sub>3</sub> // *Chin. Phys. Lett.* – 2012. – Vol. 29. – 037402.
15. **Wang Y., Linscheid et al.** Ab initio study of cross-interface electron-phonon coupling in FeSe thin films on SrTiO<sub>3</sub> and BaTiO<sub>3</sub> // *Phys. Rev. B.* – 2015. – Vol. 93. – 134513.
16. **Song C.-L. et al.** Molecular-beam epitaxy and robust superconductivity of stoichiometric FeSe crystalline films on bilayer graphene // *Phys. Rev. B.* – 2011. – Vol. 84. – 0200503(R).
17. **Pokatilov E. P., Beril S. I., Fomin V. M., and Ryabukhin G. Ju.** Bipolaron states in multilayer structures with quantum wells (part I) // *Phys. Stat. Sol. (b).* – 1992. – Vol. 169. – P. 429–441.
18. **Пекар, С. И.** Исследования по электронной теории кристаллов / С. И. Пекар. – Москва: Гостехиздат, 1951. – Текст : непосредственный.
19. **Гинзбург, В. Л.** Современное состояние теории сверхпроводимости. II. Микроскопическая теория / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // *УФН.* – 1952. – Т. 48. – С. 25–118.
20. **Винецкий, В. Л.** Сверхтекучесть заряженного бозе-газа и биполяронный механизм сверхпроводимости / В. Л. Винецкий, Э. А. Пашицкий. – Текст : непосредственный // *Украинский физический журнал.* – 1974. – № 20. – С. 338.
21. **Винецкий, В. Л.** К теории взаимодействия «лишних» зарядов в ионных кристаллах / В. Л. Винецкий, М. Ш. Гитерман. – Текст : непосредственный // *ЖЭТФ.* – 1957. – Т. 33. – С. 730–734.
22. **Винецкий, В. Л.** О биполяронных состояниях носителей тока в ионных кристаллах / В. Л. Винецкий, Э. А. Пашицкий. – Текст : непосредственный // *ЖЭТФ.* – 1961. – Т. 40. – Выпуск 5. – С. 1459–1468.
23. **Aleksandrov A. S., Ranniger J.** Bipolaronic superconductivity // *Phys. Rev. B.* – 1981. – Vol. 24. – P. 1164–1170.
24. **Adamowski J.** Formation of Fröhlich bipolarons // *Phys. Rev. B.* – 1989. – Vol. 39. – P. 3649–3653.
25. **Fomin V. M., Pokatilov E. P.** Phonons and the electron-phonon interaction in multilayer systems // *Phys. Stat. Sol. (b).* – 1985. – Vol. 132, № 1. – P. 69–82.
26. **Покатилов, Е. П.** Колебательные возбуждения, поляроны и экситоны в многослойных структурах и сверхрешетках / Е. П. Покатилов, В. М. Фомин, С. И. Берил. – Кишинев: Штиинца, 1990. – Текст : непосредственный.
27. **Берил, С. И.** Теория поляронов, экситонов, биполяронов и кинетические эффекты в многослойных структурах различных геометрий и сверхрешетках / С. И. Берил, В. М. Фомин, А. С. Старчук. – Тирасполь : Издательство Приднестр. ун-та. – 2020. – 696 с. – Текст : непосредственный.
28. **Берил, С. И.** Экситоны Ванье – Мотта в многослойных системах / С. И. Берил, Е. П. Покатилов, В. М. Фомин, Г. А. Погорилко. – Текст : непосредственный // *ФТП.* – 1985. – Т. 19. – С. 412–417.
29. **Haken H.** Zur Quantumtheorie des Mehreelectronen System im swingenden Gitter // *Zeitschrift für Physik.* – 1956. – Vol. 146. – P. 527–554.
30. **Bednarek S., Adamowski J., and Sufczynski M.** Effective Hamiltonian for few-particle systems in polar semiconductors // *Solid State Commun.* – 1971. – Vol. 21. – P. 1–3.
31. **Adamowski J.** Energy spectrum of the bound polaron // *Phys. Rev. B.* – 1985. – Vol. 32. – P. 2588–2595.
32. **Pokatilov E. P., Beril S. I., Semenovskaya N. N., Fahood M.** Charge energy spectrum in multilayer structures and superlattices in a field of self-action potentials // *Phys. Stat. Sol. (b).* – 1990. – Vol. 158. – P. 165–174.

## О БИПОЛЯРОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В «СЭНДВИЧАХ ГИНЗБУРГА»

ЧАСТЬ II. ИССЛЕДОВАНИЕ КУПЕРОВСКОГО СПАРИВАНИЯ ПОЛЯРОНОВ  
В МОНОСЛОЯХ FeSe НА ПОДЛОЖКАХ SrTiO<sub>3</sub>  
И В ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub>

С. И. Берил, А. С. Старчук

*Исследовано куперовское спаривание поляронов в монослоях FeSe на подложках SrTiO<sub>3</sub> и в трехслойных структурах SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub>.*

*Теория применена для интерпретации экспериментально наблюдаемой высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в структурах, представляющих собой типичные «сэндвичи Гинзбурга».*

**Ключевые слова:** *высокотемпературная сверхпроводимость, куперовское спаривание биполяронов.*

## ON THE BIPOLARONIC MECHANISM OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY IN "GINZBURG SANDWICHES"

PART II. INVESTIGATION OF COOPER PAIRING OF POLARONS  
IN FeSe MONOLAYERS ON SrTiO<sub>3</sub> SUBSTRATES  
AND IN THREE-LAYER SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub> STRUCTURES

S. I. Beril, A. S. Starchuk

*Cooper pairing of polarons in FeSe monolayers on SrTiO<sub>3</sub> substrates and in three-layer SrTiO<sub>3</sub> – FeSe – SrTiO<sub>3</sub> structures has been investigated.*

*The theory is applied to interpret experimentally observed high-temperature superconductivity (HTS) in structures representing typical "Ginzburg sandwiches".*

**Keywords:** *high-temperature superconductivity, Cooper pairing of bipolarons.*

### 1.3. Исследование эффективного потенциала электрон- электронного взаимодействия

Представляет интерес исследовать профиль эффективного потенциала электрон-фононного взаимодействия, определенный формулами (30), (31), для двух актуальных случаев, в которых ВТСП наблюдалась экспериментально:

1) в монослое FeSe, нанесенном на массивную полярную подложку SrTiO<sub>3</sub>;

2) в монослое FeSe, разделяющем массивные кристаллы SrTiO<sub>3</sub>.

Оба рассматриваемых случая представляют собой типичные структуры – «сэндвичи Гинзбурга», в которых два свободных электрона в монослое FeSe будут взаимодействовать с поверхностными продольными оптическими фононами подложки SrTiO<sub>3</sub> (случай 1) и граничащих с монослоем FeSe полярных кристаллов SrTiO<sub>3</sub> (случай 2).

Как было показано в [1–3], в силу граничных условий объемные продольные

оптические колебания  $\text{SrTiO}_3$  не создают электрических полей в соседних средах (эффект конфинмента), в данном случае – в монослое  $\text{FeSe}$ , в котором свободные электроны будут взаимодействовать только с поверхностными оптическими фононами  $\text{SrTiO}_3$ . Будем считать, что монослой  $\text{FeSe}$  представляет собой квантовую яму с бесконечными стенками.

Для первого случая эффективный потенциал электрон-фононного взаимодействия может быть получен из формул (30), (31) в пределе  $d \rightarrow 0$ :

$$W_{eff}^{2D}(\rho) = \frac{e^2}{2\pi\epsilon_0(\epsilon_1+1)\rho} + \frac{e^2}{2\pi\epsilon_0 R_s} \left( \frac{1}{\epsilon_1+1} - \frac{1}{\epsilon_{10}+1} \right) \times \int_0^\infty J_0 \left( \frac{\rho x}{R_s} \right) \left( \frac{x^2-1}{x^2+1} \right) dx, \quad (34)$$

где:

$$R_s = \left( \frac{\hbar}{2m_e^* \Omega_s} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad \Omega_s = \omega_1 \sqrt{\frac{\epsilon_{10}+1}{\epsilon_1+1}}; \quad (34a)$$

$\Omega_s$  – частота продольного поверхностного оптического фонона.

Проводя интегрирование, получаем:

$$W_{eff}^{2D}(\rho) = \frac{e^2}{2\pi\epsilon_0\rho} \left( \frac{2}{\epsilon_1+1} - \frac{1}{\epsilon_{10}+1} \right) - \frac{e^2}{2\epsilon_0 R_s} \left( \frac{1}{\epsilon_1+1} - \frac{1}{\epsilon_{10}+1} \right) \times \left\{ I_0 \left( \frac{\rho}{R_s} \right) - L_0 \left( \frac{\rho}{R_s} \right) \right\}. \quad (34б)$$

Здесь  $I_0(x)$ ,  $L_0(x)$  – модифицированные функции Бесселя и Струве нулевого порядка соответственно.

Тогда эффективный гамильтониан системы имеет вид:

$$\hat{H}_{eff}^{2D} = -\frac{\hbar^2}{2m_{e_1}^*} \Delta_{\rho_1} - \frac{\hbar^2}{2m_{e_2}^*} \Delta_{\rho_2} - W_{eff}^{2D}(\rho), \quad (34в)$$

На рис. 1 представлены графики зависимости  $W_{eff}(\rho)$  для случая 1: вакуум– $\text{FeSe}$ – $\text{SrTiO}_3$  для трех различных значений эффективной массы электрона.

Для второго случая эффективный потенциал электрон-фононного взаимодействия получен из формул (30), (31) с учетом симметричности структуры  $\text{SrTiO}_3$ – $\text{FeSe}$ – $\text{SrTiO}_3$ :

$$W_{eff}(\rho) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\rho} \left( \frac{3}{\epsilon_1} - \frac{2}{\epsilon_{10}} \right) - \frac{e^2}{2\epsilon_0 R_s} \left( \frac{1}{\epsilon_1} - \frac{1}{\epsilon_{10}} \right) \left\{ I_0 \left( \frac{\rho}{R_s} \right) - L_0 \left( \frac{\rho}{R_s} \right) \right\}, \quad (35)$$

где

$$\Omega_s = \omega_1 \sqrt{\frac{\epsilon_{10} + \epsilon_1}{2\epsilon_1}}. \quad (36)$$

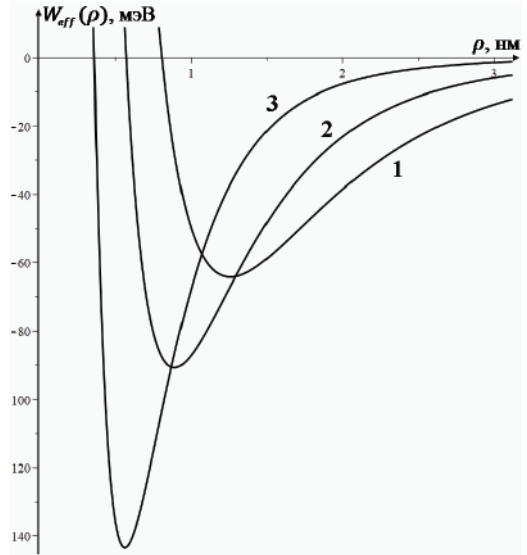


Рис. 1. Графики зависимостей эффективной потенциальной энергии для случая  $\text{SrTiO}_3$ – $\text{FeSe}$ –вакуум ( $\epsilon_1 = 5$ ,  $\epsilon_{10} = 1000$ ,  $\omega_1 = 1,42 \cdot 10^{13}$  Гц,  $R_s = 0,562$  нм). Кривая 1 соответствует массе свободного электрона, кривая 2 – двукратной массе, кривая 3 – пятикратной массе. По горизонтальной оси –  $\rho$ , нм; по вертикальной оси –  $W_{eff}(\rho)$ , мэВ

Отметим, что в случае симметричной структуры  $\text{SrTiO}_3\text{-FeSe-SrTiO}_3$  при условии электроны в слое  $\langle 2 \rangle$  будут взаимодействовать только с одной поверхностной оптической модой каждого из кристаллов  $\text{SrTiO}_3$  ( $\Omega_{S_1} = \Omega_{S_2} \equiv \Omega_S$ ;  $\alpha_{S_1} = \alpha_{S_2} \equiv \alpha_S$ ).

График зависимости  $W_{\text{eff}}(\rho)$  для различных значений эффективной массы представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 1, 2, в пределах  $\rho \ll R_S$  и  $\rho \gg R_S$  потенциал  $W_{\text{eff}}(\rho)$  взаимодействия между электронами имеет отталкивательный характер, но в интервале значений  $\rho \sim nR_S$  ( $n \geq 1 \div 5$ )  $W_{\text{eff}}(\rho)$  изменяет характер поведения с отталкивания на притяжение.

Анализ аналогичного выражения для массивного кристалла, полученного на основе метода Хакена в работе [4],

$$W_{\text{eff}}^{3D}(r) = \frac{e^2}{\epsilon r} - \frac{e^2}{r} \left( \frac{1}{\epsilon} - \frac{1}{\epsilon_0} \right) \left\{ 1 - e^{-\frac{r}{R_V}} \right\}, \quad (37)$$

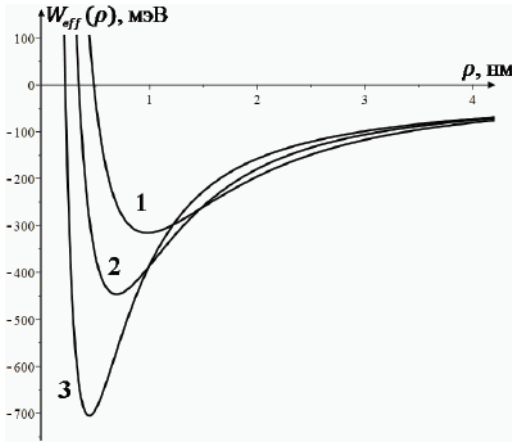


Рис. 2. Графики зависимостей эффективной потенциальной энергии для случая  $\text{SrTiO}_3\text{-FeSe-SrTiO}_3$  ( $\epsilon_1 = 5$ ,  $\epsilon_{10} = 1000$ ,  $\omega_1 = 1,42 \cdot 10^{13}$  Гц). Кривая 1 соответствует массе свободного электрона ( $R_S = 0,638$  нм), кривая 2 — двукратной массе ( $R_S = 0,451$  нм), кривая 3 — пятикратной массе ( $R_S = 0,285$  нм).

По горизонтальной оси —  $\rho$ , нм;  
по вертикальной оси —  $W_{\text{eff}}(\rho)$ , мэВ

показывает, что ни при каких значениях параметров  $\epsilon$ ,  $\epsilon_0$  (безынерционная и статическая диэлектрические проницаемости соответственно)  $W_{\text{eff}}^{3D}$ , как функция  $r$ , не изменяет своего знака.

В общем случае, когда полярные кристаллы являются различными, а слой между ними имеет конечную толщину, расчет профиля потенциала  $W_{\text{eff}}^{2D}(\rho)$  следует выполнять по общим формулам (27)–(31).

Появление тенденции к ослаблению отталкивания и возникновению притяжения между ними электронов на расстояниях порядка их полярных радиусов ( $\rho \sim R_S$ ) является важным условием образования биполяронов.

В эффективном гамильтониане (28) слагаемое  $W_p(\rho_e, \rho_e, d)$  (формула (31)–(32)) описывает потенциальную энергию взаимодействия электрона с дополнительным поляризационным зарядом, индуцированным совместным действием обоих электронов и расположенным в области центра масс двухэлектронной системы. Для первого случая оценка величины положительного эффективного электрического заряда  $e_{\text{eff}} \equiv e^*$ , индуцированного электронами в подложке  $\text{SrTiO}_3$ , дает:

$$e^* = \frac{e(\epsilon_{10} - \epsilon_1)}{(\epsilon_1 + 1)(\epsilon_{10} + 1)}. \quad (38)$$

Так как  $\epsilon_{10} \gg \epsilon_1 > 1$ , то из формулы (37) получаем для эффективного заряда:

$$e^* \approx e / (\epsilon_1 + 1).$$

## 2. Вариационный расчет энергии связи биполярона

Энергию основного состояния биполярона найдем вариационным методом.

Вариационную волновую функцию электронно-пары выберем в виде:

$$\psi(\rho) = 2(3\pi)^{-1/2} \gamma^2 \rho e^{-\gamma\rho}, \quad (39)$$

где  $\gamma$  — вариационный параметр.



Энергию основного состояния биполярона найдем путем минимизации вариационного функционала энергии:

$$E(\gamma, \beta, \lambda) = \langle \psi(\rho) | \hat{H}_{eff}(\rho, \rho_1, \rho_2, d) | \psi(\rho) \rangle. \quad (40)$$

Подставляя (34б), (34в), (35), (39) в (40) и проводя интегрирование, получаем явное выражение для вариационного функционала энергии биполяронного состояния в двух случаях:

а) для контакта SrTiO<sub>3</sub>-FeSe- вакуум

$$E(\gamma) = \frac{\hbar^2 \gamma^2}{6m^*} + \frac{e^2 \gamma}{3\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{\epsilon_1 + 1} - \left( \frac{1}{\epsilon_1 + 1} - \frac{1}{\epsilon_{10} + 1} \right) \right] \times \\ \times (4\gamma^2 R_S^2 - 1)^{-7/2} (384\gamma^6 R_S^6 + 144\gamma^4 R_S^4) \times \\ \times \arctg \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1} - \\ - (64\gamma^6 R_S^6 + 240\gamma^4 R_S^4 - 8\gamma^2 R_S^2 + 1) \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1}; \quad (40a)$$

б) для симметричной структуры SrTiO<sub>3</sub>-FeSe-SrTiO<sub>3</sub>

$$E(\gamma) = \frac{\hbar^2 \gamma^2}{6m^*} + \\ + \frac{e^2 \gamma}{3\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{2\epsilon_1} - \left( \frac{1}{\epsilon_1} - \frac{1}{\epsilon_{10}} \right) \right] (4\gamma^2 R_S^2 - 1)^{-7/2} \times \\ \times (384\gamma^6 R_S^6 + 144\gamma^4 R_S^4) \arctg \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1} - \\ - (64\gamma^6 R_S^6 + 240\gamma^4 R_S^4 - 8\gamma^2 R_S^2 + 1) \sqrt{4\gamma^2 R_S^2 - 1}. \quad (40б)$$

Энергия связи биполярона определяется выражением:

$$W_b = E_b - 2E_p, \quad (41)$$

где  $E_b$  – минимальное значение  $E(\gamma, \beta, \lambda)$ , т. е. энергия биполяронной системы;  $E_p$  –

энергия отдельного полярона. При  $d \rightarrow 0$  и  $\gamma \rightarrow \infty$  для  $E_p$  получаем выражение:

$$E_p = -\frac{\pi}{2} \sum_{s=1,2} \alpha_s \hbar \Omega_s. \quad (42)$$

На основе вариационного расчета энергии связи  $W_b$  биполярона в слое FeSe на подложке SrTiO<sub>3</sub> для значений параметров  $m_e^* = m_0$ ;  $R_S = 5,62 \cdot 10^{-8}$  см;  $d = 0$  по формуле (40а) получено:  $E_b = -10,8$  мэВ. При этом для радиуса биполярона получено:  $R_{bp} = \gamma_{\min}^{-1} = 15,6 \cdot 10^{-8}$  см; для значений параметров  $m_e^* = 2m_0$ ;  $R_S = 3,97 \cdot 10^{-8}$  см;  $d = 0$  по формуле (40а) получено:  $E_b = -17,6$  мэВ; для радиуса биполярона получено:  $R_{bp} = \gamma_{\min}^{-1} = 10,6 \cdot 10^{-8}$  см; для значений параметров  $m_e^* = 5m_0$ ; см  $R_S = 2,51 \cdot 10^{-8}$ ;  $d = 0$  по формуле (40а) получено:  $E_b = -31,3$  мэВ; для радиуса биполярона получено:  $R_{bp} = \gamma_{\min}^{-1} = 6,44 \cdot 10^{-8}$  см.

В трехслойной структуре SrTiO<sub>3</sub>-FeSe-SrTiO<sub>3</sub> расчет выполнен по формуле (40б) для значений параметров  $m_e^* = m_0$ ;  $R_S = 6,38 \cdot 10^{-8}$  см;  $d = 0$  были получены следующие результаты:  $E_b \approx -185$  мэВ;  $R_{bp} \approx 8,48 \cdot 10^{-8}$  см; для значений параметров  $m_e^* = 2m_0$ ;  $R_S = 4,51 \cdot 10^{-8}$  см;  $d = 0$  были получены следующие результаты:  $E_b \approx -269$  мэВ;  $R_{bp} \approx 5,86 \cdot 10^{-8}$  см; для значений параметров  $m_e^* = 5m_0$ ;  $R_S = 2,85 \cdot 10^{-8}$  см;  $d = 0$  были получены следующие результаты:  $E_b \approx -436$  мэВ;  $R_{bp} \approx 3,63 \cdot 10^{-8}$  см.

Из полученных результатов следует, что для реальных значений параметров двух- и трехслойных структур SrTiO<sub>3</sub> и SrTiO<sub>3</sub>-FeSe-SrTiO<sub>3</sub> энергия связи биполярона составляет от нескольких десятков до сотен мэВ, что соответствует температурам от  $10^2$  до  $10^3$  К. Взаимодействие электронов с индуцированным поляризационным зарядом, расположенным вблизи центра масс системы, играет главную роль в формировании биполяронных состояний. Спариванию поляронов способствует ос-

лабление отталкивания между электронами, которое при благоприятном соотношении параметров переходит в притяжение. Энергия связи биполярона увеличивается с уменьшением толщины слоев ( $d/R_S \leq 1$ ). Большие значения  $E_b$  получаются уже при  $d/R_S \sim 0,5$ . Максимальное значение энергии связи получено для полярона, возникающего в монослое FeSe ( $d=0$ ). Поскольку эффективное значение константы ЭФВ  $\alpha \approx 1$ , теория биполяронов, относящаяся к области промежуточной связи, дает хорошие результаты.

Представляет интерес провести аналогию между кристаллической структурой слоистых ВТСП, таких как  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  – с одной стороны, и кристаллической структурой композиционной сверхрешетки – с другой. При этом двумерные слои  $CuO_2$  в сверхпроводнике  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  соответствуют проводящим полупроводниковым слоям в сверхрешетке, а слои  $BaO$  играют роль полярных кристаллических слоев в сверхрешетке. В рамках этой аналогии на основе выполненных расчетов можно утверждать, что такие моды колебаний в ВТСП-материалах, которые в макроскопическом пределе являются «поверхностными волнами», могут играть важную роль в эффекте электронного спаривания.

Для установления такого механизма спаривания в соединениях, в которых реализуется ВТСП, необходимы специальные экспериментальные и теоретические исследования спектров колебаний этих соединений для выявления в них колебательных возбуждений со специфическими предельными свойствами.

Открытие нового класса сверхпроводников на основе пниктидов железа, таких как FeSe, выявило качественно новые перспективы не только для исследования ВТСП, но и для экспериментального моделирования многослойных структур типа композиционных сверхрешеток с  $T_c \geq 300$  К.

### 3. Оценка критической температуры ( $T_c$ ) в структурах $SrTiO_3$ – монослой FeSe и $SrTiO_3$ – монослой FeSe – $SrTiO_3$

Для оценки величины  $T_c$  при наличии фононного и экситонного механизмов притяжения в работе Аллендера, Брэя и Бардина [5] была предложена простая формула, дающая хорошее приближение к результатам численного решения уравнений Элиашберга:

$$T_c = \frac{\omega_D}{1,45} \exp\left\{-\frac{1}{g_{eff}}\right\}, \quad (43)$$

где  $T_D = \hbar\omega_D$  – температура Дебая;  $g_{eff}$  – эффективная константа взаимодействия:

$$g_{eff} = \lambda_{ph}^* + \frac{\lambda_{ex}^* - \mu^*}{1 - (\lambda_{ex}^* - \mu^*) \ln\left(\frac{\omega_g}{\omega_D}\right)}; \quad (44)$$

$$\mu^* = \frac{1}{1 + \mu \ln\left(\frac{E_F}{\hbar\omega_g}\right)}, \quad (45)$$

причем константы электрон-фононного и экситонного притяжений берутся в перенормированном виде:

$$\lambda_{ph}^* = \frac{\lambda_{ph}}{1 + \lambda_{ph}}; \quad \lambda_{ex}^* = \frac{\lambda_{ex}}{1 + \lambda_{ex}}, \quad (46)$$

качественно учитывающем эффекты сильной связи;  $E_F$  – энергия Ферми в металлической пленке.

В работе Садовского [6] была приведена оценка  $T_c \sim 10$  К на основе экситонного механизма, предложенного в работе [5], которая указывает на его неэффективность при объяснении высоких  $T_c$ , наблюдаемых экспериментально ( $T_c^{эксип} \approx 75$  К). В этой же работе была также приведена оценка критической температуры перехода монослоя FeSe, нанесенного на подложку  $SrTiO_3$ , в сверхпроводящее состояние, ко-

торое обеспечивается взаимодействием свободных электронов в монослое с оптическими фононами подложки.

Заменяя в формулах (43)–(46)  $\omega_g$  на  $\Omega_S$ ,  $\lambda_{ph}$  – на  $\alpha_S$ ,  $\lambda_{ex} = \alpha_{op}$ , где  $\Omega_S$  – частота поверхностных оптических колебаний подложки;  $\alpha_S$  – константа взаимодействия поверхностных оптических фононов подложки SrTiO<sub>3</sub> с электронами в пленке FeSe,  $\alpha_{op}$  – безразмерная константа взаимодействия оптического фонона с электронами в монослое FeSe. Энергия поверхностных оптических фононов SrTiO<sub>3</sub> в разных экспериментах определена в интервале  $\hbar\Omega_S \approx (90 \div 100)$  мэВ.

3.1. *Безразмерные константы электрон-фононного взаимодействия для системы:* монослой FeSe, нанесенный на полупроводниковую подложку SrTiO<sub>3</sub>, для различных эффективных масс электрона, рассчитанные по формуле

$$\alpha_{S_i} = \frac{e^2}{\hbar} \left( \frac{1}{\varepsilon_1 + 1} - \frac{1}{\varepsilon_{10} + 1} \right) \left( \frac{m_{e_i}^*}{2\hbar\Omega_S} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (47)$$

соответственно равны:

$$m_{e_1}^* = m_0, \quad \alpha_{S_1} = 1,84; \quad m_{e_2}^* = 2m_0,$$

$$\alpha_{S_2} = 2,60; \quad m_{e_3}^* = 5m_0, \quad \alpha_{S_3} = 4,10.$$

3.2. *Соответствующие значения энергии связи биполярона  $E_b$ , полученные в результате минимизации вариационного функционала (40а), равны:*

$$\text{для } m_{e_1}^* = m_0 \quad E_b = -10,8 \text{ мэВ};$$

$$\text{для } m_{e_2}^* = 2m_0 \quad E_b = -17,6 \text{ мэВ};$$

$$\text{для } m_{e_3}^* = 5m_0 \quad E_b = -31,3 \text{ мэВ}.$$

3.3. *Эффективные значения  $\alpha_S^*$  константы электрон-фононной связи рассчитываются по формуле (46) с учетом замены  $\lambda_{ex}$  на  $\alpha_S$ :*

$$m_{e_1}^* = m_0, \quad \alpha_{S_1}^* = 0,65; \quad m_{e_2}^* = 2m_0,$$

$$\alpha_{S_2}^* = 0,72; \quad m_{e_3}^* = 5m_0, \quad \alpha_{S_3}^* = 0,80.$$

3.4. *Оценка  $T_c$  на основе формул (43)–(46) с учетом замен  $\lambda_{ph}^* \rightarrow \alpha_S^*$ ,  $\lambda_{ex}^* \rightarrow \alpha_{op}^*$ ;  $\omega_g \rightarrow \Omega_S$ :*

$$g_{eff} = \alpha_S^* + \frac{\alpha_{op}^* - \mu^*}{1 - (\alpha_{op}^* - \mu^*) \ln \left( \frac{\Omega_S}{\omega_D} \right)}, \quad (48)$$

где:

$$\mu^* = \frac{1}{1 + \mu \ln \left( \frac{E_F}{\hbar\Omega_S} \right)}. \quad (49)$$

3.5. *Полагая, что  $\hbar\Omega_S = 100$  мэВ,  $\alpha_{op} = 0,6$  [6] ( $\alpha_{op}^* = 0,38$ ), получаем для  $T_c$ :*

$$T_{c_1} (m_{e_1}^* = m_0) = 37,3 \text{ К}; \quad T_{c_2} (m_{e_1}^* = 2m_0) = 42 \text{ К};$$

$$T_{c_1} (m_{e_3}^* = 5m_0) = 63 \text{ К}. \quad (50)$$

Полученные значения  $T_c$  для монослоя FeSe, осажденного на подложку SrTiO<sub>3</sub>, коррелируют с экспериментальными результатами, приведенными в работе [6].

3.6. *Оценка  $T_c$  для случая б):* SrTiO<sub>3</sub>–FeSe–SrTiO<sub>3</sub> проводится аналогично по формуле (48) и дает следующие результаты:

$$T_{c_1} (m_{e_1}^* = m_0) \approx 108 \text{ К}; \quad (51a)$$

$$T_{c_2} (m_{e_1}^* = 2m_0) \approx 124 \text{ К}; \quad (51б)$$

$$T_{c_1} (m_{e_3}^* = 5m_0) \approx 186 \text{ К}. \quad (51в)$$

3.7. *Увеличение значений  $T_c$  в монослое FeSe для случая б) обусловлено усилением электрон-электронного притяжения вследствие роста величины эффективного положительного заряда между электронами в монослое FeSe, индуцированного поверхностными оптическими фононами граничащих с монослоем кристаллов SrTiO<sub>3</sub>.*

3.8. Представляет интерес провести оценку  $T_c$ , опираясь на биполярный механизм сверхпроводимости в случае а) в монослое FeSe, нанесенном на сильно полярную подложку SrTiO<sub>3</sub>.

Температуру  $T_c$  конденсации бозе-частиц (биполяронов) с концентрацией  $n$  оценим по формуле:

$$k_0 T_c \approx 3,31 \frac{\hbar^2 n_V^{2/3}}{m_b^*}, \quad (52)$$

в которой:

$n_V^{2/3} \rightarrow n_{bS} \approx 10^{14} \text{ см}^{-12}$  – концентрация биполяронов в плоскости слоя FeSe [7];  $m_b^* \approx (1 \div 5)m_0$ ,  $m_0$  – масса свободного электрона:

$$T_c \approx (100 \div 300) \text{ К}, \quad (53)$$

для указанного интервала значений эффективной массы биполярона и радиусов биполярона в интервале  $(15, 60 \div 6, 44) \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

Отметим, что увеличение толщины слоя FeSe, как следует из формул (31)–(32), ведет к экспоненциальному уменьшению энергии связи биполярона в сравнении с монослоем FeSe ( $E_b \sim \exp(-d/R_S)$ ) и соответственно к экспоненциальному уменьшению  $T_c$  ( $T_c \sim \exp(-d/R_S)$ ).

### Анализ результатов расчетов и выводы

Приведенные результаты расчетов на основе теории биполяронов, построенной с использованием точного гамильтониана ЭФВ для произвольных многослойных структур, выполнены для двух актуальных случаев систем, которые были исследованы экспериментально (монослойная пленка FeSe, нанесенная на массивную подложку SrTiO<sub>3</sub> в вакууме; монослойная пленка FeSe, разделяющая два полярных массивных кристалла SrTiO<sub>3</sub>), и позволяют сделать следующие выводы:

1. Для реальных значений параметров, рассмотренных для двух случаев, энергия связи биполяронов находится в интервале значений от нескольких десятков до нескольких сотен миллиэлектронвольт, т. е. биполяроны могут существовать в этих структурах при температурах  $T \approx (10^2 \div 10^3) \text{ К}$ .

2. Главную роль в образовании биполяронных состояний в этих структурах («сэндвичи Гинзбурга») играет взаимодействие электронов с наведенным дополнительным поляризационным зарядом, возникающим в центре масс системы, в формировании которого определяющая роль принадлежит подложке (контактным средам), которая имеет значение константы электрон-фононного взаимодействия в области промежуточной связи ( $\alpha_S \sim 1 \div 3$ ).

3. Как показывают расчеты, энергия связи биполярона в квантовом слое, в котором находятся электроны, сильно зависит от толщины слоя: биполяронные состояния имеют максимально высокие значения энергии связи  $E_{bp}$  в монослоях ( $d \rightarrow 0$ ), нанесенных на сильнополярные подложки. При этом  $E_{bp}$  экспоненциально уменьшается с ростом толщины слоя FeSe ( $\sim \exp(-d/R_S)$ ).

4. Высокие значения  $T_c$  в исследованных системах можно объяснить на основе биполяронного механизма, возникающего благодаря определяющей роли подложки, представляющей собой сильнополярный полупроводниковый сегнетоэлектрик SrTiO<sub>3</sub>, что подтверждает справедливость вывода Гинзбурга [8–10] о важной роли контактных сред в достижении высоких  $T_c$ .

5. Теория позволяет провести моделирование системы и определить область значений параметров слоев, из которых они сделаны (материальные и геометрические параметры слоев многослойной структуры), в которых могут быть достигнуты  $T_c$  в области комнатных температур, т. е. возможно создание многослойных

структур типа композиционных сверхрешеток, строительным элементом которых будет трехслойная структура  $\text{SrTiO}_3\text{-FeSe-SrTiO}_3$ . Более сложные структуры могут представлять собой «столбики» из таких трехслойных фрагментов ( $\text{SrTiO}_3\text{-FeSe-TiO}_2\text{-SrO-TiO}_2\text{-FeSe...}$ ).

6. В многослойных периодических структурах, представляющих собой композиционные сверхрешетки с полярными и полупроводниковыми или металлическими монослоями (типа  $\text{FeSe}$ ,  $\text{CuO}_2$ ), важную роль в формировании биполяронов будут играть пространственно протяженные поверхностные фононы – новые элементарные возбуждения, которые были предсказаны теоретически в работах [11–12] и обнаружены экспериментально в работах [13–16].

### Цитированная литература

1. **Покатилов, Е. П.** Колебательные возбуждения, полярны и экситоны в многослойных структурах и сверхрешетках / Е. П. Покатилов, В. М. Фомин, С. И. Берил. – Кишинев: Штиинца, 1990. – Текст : непосредственный.

2. **Берил, С. И.** Теория полярнонов, экситонов, биполярнонов и кинетические эффекты в многослойных структурах различных геометрий и сверхрешетках / С. И. Берил, В. М. Фомин, А. С. Старчук. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та. – 2020. – 696 с. – Текст : непосредственный.

3. Экситоны Ванье–Мотта в многослойных системах / С. И. Берил, Е. П. Покатилов, В. М. Фомин, Г. А. Погорилко. – Текст : непосредственный // ФТП. – 1985. – Т. 19. – С. 412–417.

4. **Pokatilov E. P., Beril S. I., Semenovskaya N. N., Fahood M.** Charge energy spectrum in multilayer structures and superlattices in a field of self-action potentials // Phys. Stat. Sol. (b). – 1990. – Vol. 158. – P. 165–174.

5. **Allender D., Bray Y. and Bardeen J.** Model for an Exciton Mechanism of Superconductivity // Phys. Rev. B. – 1973. – Vol. 7. – P. 1020–1028.

6. **Садовский, М. В.** Высокотемпературная сверхпроводимость в монослоях  $\text{FeSe}$  / М. В. Садовский. – Текст : непосредственный // УФН. – 2016. – Т. 186, № 10. – С. 1035–1057.

7. **Gor'kov Lev P.** Peculiarities of superconductivity in the single-layer  $\text{FeSe/SrTiO}_3$  interface // Phys. Rev. B. – 2016. – Vol. 93. – № 6. – 060507(R).

8. **Гинзбург, В. Л.** К вопросу о высокотемпературной и поверхностной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург, Д. А. Киржниц. – Текст : непосредственный // Доклад Академии Наук СССР. – 1967. – Т. 176. – С. 553–555.

9. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // УФН. – 1968. – Т. 95. – С. 91–95.

10. **Гинзбург, В. Л.** Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. II / В. Л. Гинзбург. – Текст : непосредственный // УФН. – 1970. – Т. 101. – С. 185–215.

11. **Pokatilov E. P., Beril S. I.** Spatially Extended Optical Interface Modes in a Two-Layer Periodic Structure // Phys. Stat. Sol. (b). – 1982. – Vol. 110. – P. 75–78.

12. **Pokatilov E. P., Beril S. I.** Electron-Phonon Interaction in Periodic Two-Layer Structures // Phys. Stat. Sol. (b). – 1983. – Vol. 118. – P. 567–573.

13. **Sood A. K., Menendez J., Cardona M., Ploog K.** Interface vibrational modes in  $\text{GaAs-AlAs}$  superlattices // Phys. Rev. Lett. – 1985. – Vol. 54, № 19. – P. 2115–2118.

14. **Klein M. V.** Phonons in semiconductor superlattices // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1986. – Vol. QE-22, n. 9. – P. 1760–1770.

15. **Schwartz G. P., Gualtieri G. J., Sander W. A., Farrow L. A.** Light scattering from confine and interface optical vibrational modes in strained-layer  $\text{GaSb/AlSb}$  superlattices // Phys. Rev. B. – 1987. – Vol. 36, № 9. – P. 4868–4877.

16. **Esaki L. A.** Berds-Eye view on the evolution of semiconductor superlattices and quantum wells // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 1986. – Vol. QE-22, № 9. – P. 1611–1624.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ТРЕХКАНАЛЬНОМ НЕЛИНЕЙНОМ ОТВЕТВИТЕЛЕ С УЧЕТОМ ПОГЛОЩЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

*К. Д. Ляхомская, М. А. Обезвенко*

*Исследованы особенности распространения лазерного излучения в трехканальном нелинейном направленном ответвителе при учете поглощения и усиления света. Проведен численный анализ решения системы дифференциальных уравнений, описывающих поле распространяющегося излучения. Показано, что пространственные профили интенсивности распространяющегося излучения в зависимости от значений параметров нелинейности и коэффициента поглощения (усиления) характеризуются периодическим или аperiodическим режимом.*

**Ключевые слова:** *световод, керровская нелинейность, пространственный профиль интенсивности.*

## FEATURES OF RADIATION PROPAGATION IN A THREE-CHANNEL NONLINEAR COUPLER TAKING INTO ACCOUNT THE ABSORPTION AND AMPLIFICATION OF THE PROPAGATING RADIATION

*K. D. Lyakhomskaia, M. A. Obezvenko*

*The features of the propagation of laser radiation in a three-channel nonlinear directional coupler are investigated, taking into account the absorption and amplification of light. A numerical analysis of the solution of a system of differential equations describing the field of propagating radiation is carried out. It is shown that the spatial profiles of the intensity of the propagating radiation, depending on the values of the nonlinearity parameters and the absorption coefficient (gain), are characterized by a periodic or aperiodic mode.*

**Keywords:** *light guide, Kerr nonlinearity, spatial intensity profile.*

### Введение

Стремительное развитие оптико-волоконных систем связи, основным компонентом которых являются световоды, вызывает повышенный интерес к изучению процессов распространения и взаимодействия излучения в них. Наиболее интересными считаются задачи управления локализацией распространяющегося излучения как в системах световодов, состоящих из конечного числа волокон, так и в различных полу- и бесконечных массивах световодов, которые

являются аналогами периодических структур. Конечно, математические основы описания распространения света в таких системах существенно различаются, причем для нелинейных систем конечного числа световодов может оказаться невозможным нахождение аналитического решения, описывающего закономерности распространяющегося излучения в зависимости от типа нелинейности, вида постоянной распространения, коэффициентов связи между световодами и других факторов. Так, аналитические решения получены только для нелинейного направленного ответвителя (ННО), состоящего из двух световодов с



керровскими нелинейностями. Что касается ННО, состоящих из большого числа световодов, то особенности распространения света в них изучались преимущественно численными методами с использованием системы нелинейных уравнений для связанных волн [1–7]. Однако удалось получить точные аналитические решения системы нелинейных дифференциальных уравнений для интенсивностей волн, распространяющихся в трехканальном нелинейном направленном ответвителе с керровской нелинейностью и различными константами связи между световодами [8].

В последние годы появились работы, посвященные изучению распространения излучения в среде с РТ-симметрией. В качестве такой среды рассматривают систему из двух световодов, один из которых характеризуется усилением распространяющегося излучения, другой – потерями. В работах [9–11] для таких систем были построены решения солитонного типа, исследована их устойчивость и динамика. Особенности распространения лазерного излучения в РТ-симметричном двухканальном нелинейном направленном ответвителе, один из световодов которого характеризуется усилением распространяющегося излучения, другой – потерями, изучены в [12].

В данной работе получены численные решения системы нелинейных уравнений для интенсивностей распространяющихся волн в симметричном трехканальном ННО с керровскими нелинейностями постоянных распространения при учете усиления распространяющегося излучения в одном из световодов, наличии потерь в двух других.

### Постановка задачи. Основные уравнения

Рассмотрим систему из трех нелинейных световодов, один из которых ( $n = 2$ )

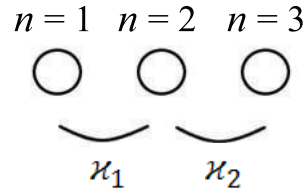


Рис. 1. Схема задачи

характеризуется усилением распространяющегося излучения, два других ( $n = 1, n = 3$ ) – потерями (рис. 1).

Система дифференциальных уравнений, описывающих амплитуды поля волны, которая распространяется в каждом из световодов, имеет вид:

$$\begin{cases} i\dot{U}_1 = -\kappa_1 U_2 - \delta|U_1|^2 U_1 - \beta|U_2|^2 U_1 - i\gamma U_1, \\ i\dot{U}_2 = -\kappa_1 U_1 - \kappa_2 U_3 - \beta|U_2|^2 U_2 - \delta|U_1|^2 U_2 - \\ \quad - \theta|U_3|^2 U_2 + i\gamma U_2, \\ i\dot{U}_3 = -\kappa_2 U_2 - \theta|U_3|^2 U_3 - \beta|U_2|^2 U_3 - i\gamma U_3, \end{cases} \quad (1)$$

где  $U_1, U_2, U_3$  – амплитуды поля волн в первом, втором и третьем световоде, точка обозначает дифференцирование по координате  $z$ , вдоль которой происходит распространение излучения;  $\delta, \beta$  и  $\theta$  – коэффициенты керровских нелинейностей соответственно в  $n = 1, n = 2$  и  $n = 3$  световодах;  $\gamma$  – коэффициент усиления (затухания);  $\kappa_1, \kappa_2$  – константы связи между соседними световодами.

Решение системы (1) ищем в виде

$$U_1 = A_1 e^{i\varphi_1}, \quad U_2 = A_2 e^{i\varphi_2}, \quad U_3 = A_3 e^{i\varphi_3}, \quad (2)$$

где  $A_1, A_2, A_3$  – амплитуды полей распространяющегося излучения в  $n = 1, n = 2, n = 3$  световодах;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – фазы полей распространяющегося излучения в соответствующих световодах.

Подставляем (2) в (1), получаем систему дифференциальных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{A}_1 = -\kappa_1 A_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) - \gamma A_1, \\ \dot{A}_2 = -\kappa_1 A_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - \\ - \kappa_2 A_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + \gamma A_2, \\ \dot{A}_3 = -\kappa_2 A_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) - \gamma A_3, \\ \dot{\psi}_1 = \kappa_1 \left( \frac{A_2}{A_1} - \frac{A_1}{A_2} \right) \cos \psi_1 - \\ - \kappa_2 \frac{A_3}{A_2} \cos \psi_2 - \theta n_3, \\ \dot{\psi}_2 = \kappa_1 \frac{A_1}{A_2} \cos \psi_1 + \\ + \kappa_2 \left( \frac{A_3}{A_2} - \frac{A_2}{A_3} \right) \cos \psi_2 + \delta n_1. \end{array} \right. \quad (3)$$

Для решения систем уравнений (2) и (3) удобно ввести разность фаз:

$$\Psi_1 = \varphi_1 - \varphi_2, \quad \Psi_2 = \varphi_2 - \varphi_3 \quad \text{и} \quad (4)$$

$$I_i = |A_i|^2, \quad (5)$$

где  $I_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  – интенсивности поля излучения в  $n = 1$ ,  $n = 2$ ,  $n = 3$  световодах соответственно. Для пространственных скоростей изменения интенсивностей распространяющегося излучения  $\dot{I}_i$  можно получить следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{I}_1 = -2\kappa_1 A_1 A_2 \sin \psi_1 - 2\gamma n_1, \\ \dot{I}_2 = 2\kappa_2 A_2 A_3 \sin \psi_2 - \\ - 2\kappa_1 A_1 A_2 \sin \psi_1 + 2\gamma n_2, \\ \dot{I}_3 = -2\kappa_2 A_2 A_3 \sin \psi_2 - 2\gamma n_3. \end{array} \right. \quad (6)$$

Найти аналитические решения системы (1) или ее аналога (6) через известные функции в общем случае не представляется возможным. Поэтому дальнейший анализ задачи был проведен с помощью численных методов.

## Обсуждение полученных результатов

В отличие от аналитических решений, полученных в [12], когда значение

потенциальной энергии при заданных начальных условиях позволяло предсказать характер поля распространяющегося излучения, в нашем, более сложном случае это невозможно. Однако анализ численных решений системы уравнений (1) при изменении параметров нелинейностей  $\delta$ ,  $\beta$  и  $\theta$  и коэффициента усиления (затухания)  $\gamma$  позволяет предсказать наличие периодического и аperiodического режимов поведения функций интенсивностей поля в зависимости от продольной координаты. Приведем наиболее интересные, на наш взгляд, результаты.

Рассмотрим случай накачки излучения в световод  $n = 1$ .

На рис. 2 представлены пространственные профили распространяющегося излучения в системе трех световодов для самого простого случая, когда выполняются условия:  $\delta = \beta = \theta = \gamma = 0$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 1$ , что позволяет проверить следствие закона сохранения энергии распространяющегося излучения. Из рис. 2 видно, что в любой произвольной точке  $z$  сумма интенсивностей излучения  $I_1 + I_2 + I_3 = 1$ , где единица – это нормированная интенсивность накачиваемого световода  $n = 1$  на торце в  $z = 0$ .

На рис. 3 представлены пространственные профили распространяющегося излучения для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = 0,5$  и  $\gamma = 0,01$ . Из рис. 3 видно, что при заданных значениях параметров, когда в системе (1) включены в работу все механизмы нелинейности и затухание (усиление) очень слабое, имеет место периодический режим поведения пространственных профилей интенсивностей. При этом наблюдается практически полная перекачка накачиваемого излучения из световода  $n = 1$  в два других световода системы. Отметим колебательный характер огибающей для функции  $I_2(z)$ .

С ростом коэффициента усиления (затухания) в интервале значений

$0,01 < \gamma < 0,1$  качественных изменений в поведении пространственных профилей интенсивностей не происходит. При дальнейшем увеличении  $\gamma$  наблюдается постепенная трансформация поведения пространственных профилей распространяющегося излучения сначала на больших расстояниях от торца световодов, и, для случая  $\gamma = 0,75$  ( $\delta = \beta = \theta = 0,5$ ), представленного на рис. 4, видно, что периодический режим сменился на аperiodический в области, не сильно удаленной от торца световодов. Амплитуда колебаний функции  $I_2(z)$  по мере удаления от торца уменьшается, но наблюдается рост значений интенсивности, больший по сравнению с двумя другими функциями  $I_1(z)$  и  $I_3(z)$  вследствие процесса усиления излучения (вклад слагаемого  $+i\gamma U_2$  в системе уравнений (1)) и с большей близостью к накачиваемому световоду, чем для световода  $n = 3$ .

При этом в области  $0 < z < 5$  пространственные профили интенсивностей света, распространяющиеся в световодах  $n = 2$  и  $n = 3$ , отличаются друг от друга, когда для области  $z > 5$  они сливаются в одну функцию координаты.

На рис. 5 представлены пространственные профили распространяющегося излучения для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = 0,5$ ,  $\gamma = 0,75$  и  $\kappa_1 = 2$ ,  $\kappa_2 = 1$ . Из рис. 5 видно, что усиление взаимодействия между световодами  $n = 1$  и  $n = 2$  за счет роста коэффициента связи по сравнению со случаем, представленным на рис. 4, приводит к увеличению амплитуд колебаний профилей интенсивностей этих световодов и ослаблению усиления излучения во всей системе. При этом в выбранном масштабе ( $0 \leq z < 20$ ) амплитуда колебаний функции  $I_3(z)$  практически не меняется и равна 0,17.

Следовательно, увеличение значений коэффициентов связи приводит к компенсации коэффициента усиления, но не

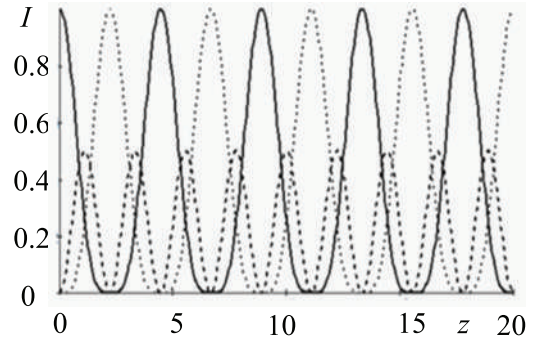


Рис. 2. Пространственные профили интенсивности в первом ( $I_1(z)$  – сплошная), во втором ( $I_2(z)$  – пунктир) и в третьем световоде ( $I_3(z)$  – точки) для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = \gamma = 0$ ,  $\kappa_1 = \kappa_2 = 1$

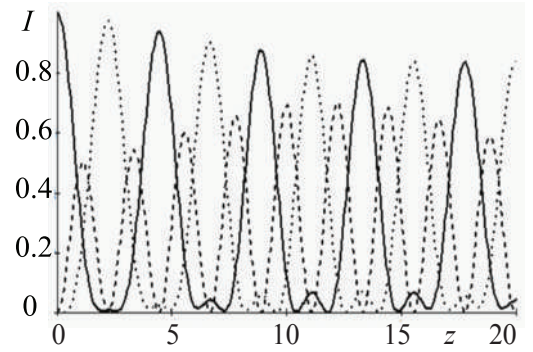


Рис. 3. Пространственные профили интенсивности в первом ( $I_1(z)$  – сплошная), во втором ( $I_2(z)$  – пунктир) и в третьем световоде ( $I_3(z)$  – точки) для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = 0,5$ ,  $\gamma = 0,01$  и  $\kappa_1 = \kappa_2 = 1$

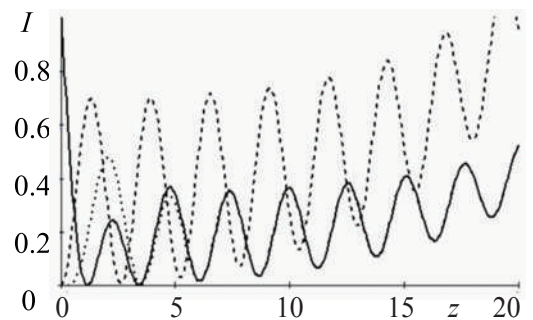


Рис. 4. Пространственные профили интенсивности в первом ( $I_1(z)$  – сплошная), во втором ( $I_2(z)$  – пунктир) и в третьем световоде ( $I_3(z)$  – точки) для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = 0,5$ ,  $\gamma = 0,75$  и  $\kappa_1 = \kappa_2 = 1$

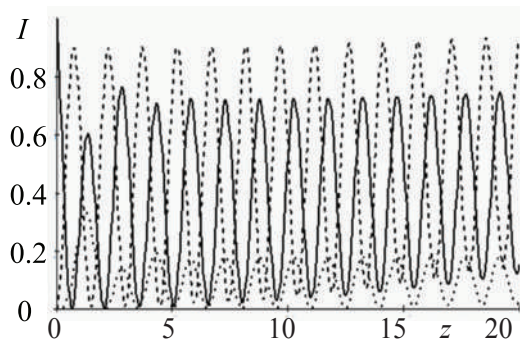


Рис. 5. Пространственные профили интенсивности в первом ( $I_1(z)$  – сплошная), во втором ( $I_2(z)$  – пунктир) и в третьем световоде ( $I_3(z)$  – точки) для следующих значений параметров:  $\delta = \beta = \theta = 0,5$ ,  $\gamma = 0,75$  и  $\kappa_1 = 2$ ,  $\kappa_2 = 1$

влияет на смену режима колебаний пространственных профилей интенсивностей распространяющегося излучения.

### Заключение

Таким образом рассмотрены особенности распространения излучения в трехканальном ответвителе, представленном системой трех нелинейных световодов, один из которых характеризуется усилением распространяющегося излучения, а два других – потерями. Получены численные решения системы дифференциальных уравнений, описывающих поле распространяющегося излучения при накачке одного из световодов. Показано, что пространственные профили интенсивности распространяющегося излучения в зависимости от величин параметров нелинейностей, коэффициента усиления (поглощения) могут быть как периодическими, так и аperiodическими функциями.

### Цитированная литература

1. Майер, А. А. Оптическое самопереключение однонаправленных распределенно-связан-

ных волн / А. А. Майер. – Текст : непосредственный // УФН. – 1995. – Т. 165. – С. 1037–1075.

2 Майер, А. А. О самопереключении излучения в трех туннельно-связанных волноводах / А. А. Майер. – Текст : непосредственный // Квантовая электроника. – 1991. – С. 1264–1266.

3 Schmidt-Hattenberger, S. Nonlinear switching in multiple-core couplers / S. Schmidt-Hattenberger, U. Trutschel, F. Lederer // Opt. Lett. – 1991. – P. 294–296.

4 Soto-Crespo, J. M. Directional couplers with linear and nonlinear elements / J. M. Soto-Crespo, E. M. J. Wright // Appl. Phys. – 1991. – P. 2471–2473.

5 Christodoulides, D. N. Discrete self-focusing in nonlinear arrays of coupled waveguides / D. N. Christodoulides, R. I. Joseph // Opt. Lett. – 1988. – P. 794–796.

6 Eisenberg, H. S. Discrete Spatial Optical Solitons in Waveguide Arrays / H. S. Eisenberg, Y. Silberberg, R. Morandotti [et al.] // Phys. Rev. Lett. – 1998. – P. 3383.

7 Peschel, U. Optical Bloch oscillations in waveguide arrays / U. Peschel, T. Pertsch, F. Lederer // Opt. Lett. – 1998. – P. 1701–1703.

8 Хаджи, П. И. Некоторые особенности распространения света в трехканальном нелинейном направленном ответвителе / П. И. Хаджи, К. Д. Ляхомская, Л. Ю. Надькин. – Текст : непосредственный // Квантовая электроника. – 2017. – № 3. – С. 285–291.

9 Solitons in a chain of parity-time-invariant dimers. / S. V. Suchkov, B. A. Malomed, S. V. Dmitriev, Yu. S. Kivshar // Phys. Rev. – 2011. – E 84. – P. 046609.

10 Scattering of linear and nonlinear waves in a waveguide array with a PT-symmetric defect / S. V. Dmitriev, S. V. Suchkov, A. A. Sukhorukov, Yu. S. Kivshar. // Phys. Rev. – 2011. – A 84. – P. 013833.

11. Binary parity-time-symmetric nonlinear lattices with balanced gain and loss. / S. V. Dmitriev, A. A. Sukhorukov, Yu. S. Kivshar // Opt. Lett. – 2010. – P. 2976–2978.

12 Ляхомская, К. Д. Распространение излучения в нелинейном двухканальном PT-симметричном световоде / К. Д. Ляхомская, О. А. Обручков. – Текст : непосредственный // Вестник ПГУ. – 2019. – № 3 (63). – С. 31–36.

УДК 537.632

## ОПТИЧЕСКИЕ ВЕНТИЛИ НА ОСНОВЕ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОРЕЗОНАТОРАХ

О. Ф. Васильева, А. П. Зинган, О. С. Герб, А. В. Стица

*Изучен процесс параметрического рассеяния поляритонных мод в полупроводниковом микрорезонаторе в зависимости от расстройки резонанса и начальных значений, соответствующих поляритонных состояний. Получены периодические процессы превращения поляритонов, а также осцилляционное возрастание амплитуды колебаний экситон-поляритонов.*

**Ключевые слова:** поляритоны, периодический режим эволюции, логический вентиль.

## OPTICAL GATES BASED ON EXCITON-POLARITONS IN SEMICONDUCTOR MICROCAVITIES

O. F. Vasilieva, A. P. Zigan, O. S. Gerb, A. V. Stitsa

*The process of parametric scattering of polariton modes in a semiconductor microresonator is studied depending on the detuning of the resonance and the initial values of the corresponding polariton states. Periodic processes of polariton transformation, as well as an oscillatory increase in the amplitude of exciton-polariton oscillations, are obtained.*

**Keywords:** polaritons, periodic mode of evolution, logic gate.

### Введение

Для достижения высокой скорости и энергоэффективности фотонные системы являются оптимальными [1–8]. В электронных устройствах связь требует зарядки емкости соединительных проводов каждого бита информации, что приводит к значительному рассеиванию энергии. При очень высоких скоростях передачи это приводит к неотъемлемым с практической точки зрения потерям. Эта проблема отсутствует в случае оптических каналов связи, где информация распространяется со скоростью света и практически без затрат энергии. По этой причине электронные провода заменяются оптическими соединениями во все меньших и меньших масштабах: от оптических волокон большой протяженности до межсоединений в центрах обработки данных и прямых оптических соединений

на кристалле. Это также стимулировало недавний интерес к оптическим вычислениям, что привело к высоким достижениям и созданию нейронных сетей [9]. Одним из основных препятствий их применения на практике при реализации оптической обработки данных является слабость нелинейного отклика оптических сред или, что то же самое, фотон-фотонного взаимодействия, необходимого для реализации функции активации нейрона или транзистора. С этой точки зрения исключительно многообещающим направлением являются полупроводниковые экситон-поляритоны, в которых фотоны и материальные возбуждения (экситоны) сосуществуют в состоянии квантовой суперпозиции [10]. Экситонная составляющая обеспечивает сильные взаимодействия, необходимые для низкопороговой нелинейной работы [11]. Благодаря фотонной составляющей они способны обрабатывать данные в очень короткие промежутки времени и передавать данные со скоростью света [12].



Экситон-поляритоны микрорезонаторов представляют собой квазичастицы, возникающие в результате режима сильной связи между фотонами, заключенными внутри полупроводниковых микрорезонаторов, и экситонами, заключенными в квантовых ямах. Эти поляритоны представляют собой гибридные частицы света и материи, которые имеют световую эффективную массу и могут распадаться на внешние фотоны за несколько пикосекунд, а поскольку фотонная компонента не полностью связана, поляритоны имеют конечное время жизни, и поэтому их распределение является лишь квазиравновесным. Полупроводниковый микрорезонатор на основе экситон-поляритонов образуется на основе брегговских зеркал, которые представляют собой стопки чередующихся полупроводниковых гетерослоев размером порядка  $1/4$  длины волны, различающихся показателем преломления; квантовая яма (или несколько квантовых ям) располагается внутри микрорезонатора в области пучности стоячей световой волны (рис. 1).

Многие экспериментальные работы, посвященные экситон-поляритонам, в настоящее время сосредоточены на поляритонных лазерах, оптически адресованных

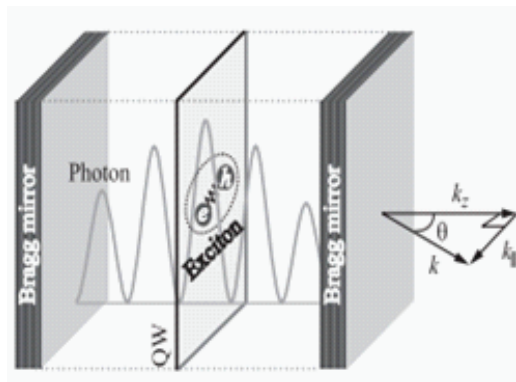


Рис. 1. Полупроводниковый микрорезонатор на основе экситон-поляритонов

транзисторах [12], логических вентилях [13, 14], переключателях [15], топологических изоляторах [16].

Для функциональной архитектуры схемы логического вентиля должны быть выполнены пять критериев [17]:

- 1) требуются универсальные логические элементы и логические элементы типа И и НЕ (или эквивалентный набор);
- 2) каскадность: выход одного вентиля должен управлять следующим;
- 3) Fan-Out (нагрузочная способность выхода), должна быть возможность разделения и дублирования сигналов;
- 4) потери усиления должны быть полностью компенсированы, чтобы сигналы сохранялись на логическом уровне;
- 5) изоляция входа-выхода: схема должна работать только в одном направлении, без существенного эффекта обратной связи от выхода.

Начиная с первого критерия, необходимым является нелинейный элемент. В экситон-поляритонных системах гибридные состояния света, заключенные в микрорезонатор с экситонами в квантовых ямах, проявляют нелинейные взаимодействия керровского типа [10], которые позволили получить оптические модуляторы, транзисторы и усилители [18–21]. В [22] показано, что запаздывающие нелинейные эффекты в экситон-поляритонах могут быть использованы для построения нейронных сетей, в которых информация закодирована в оптических импульсах, последовательно поступающих на образец. Нелинейные эффекты вызваны зависящими от времени взаимодействиями с экситонным резервуаром. Данные нелинейности позволяют создать нелинейный логический элемент – исключающее ИЛИ, который может выполнять операции в пикосекундном интервале времени. Оптоэлектронная нейронная сеть на основе построенного логического элемента работает с высокой точностью.



## Постановка задачи. Основные уравнения

Чтобы реализовать один логический вентиль с квантовым управлением НЕ, который является универсальным элементом в квантовых вычислениях, позволяющих реализовать любой квантовый алгоритм, рассмотрим гамильтониан [23]:

$$H = H_{int} + H_o, \quad (1)$$

где

$$H_{int} = \hbar\alpha \left( \psi^{*2} \widehat{a}_1 \widehat{a}_2 + \psi^2 \widehat{a}_1^+ \widehat{a}_2^+ \right) - J \left( \widehat{a}_1^+ \widehat{a}_2 + \widehat{a}_2^+ \widehat{a}_1 \right), \quad (2)$$

$$H_o = \omega_1 \widehat{a}_1 \widehat{a}_1^+ + \omega_2 \widehat{a}_2 \widehat{a}_2^+ + \omega_0 \psi^* \psi. \quad (3)$$

Гамильтониан (1) описывает процесс параметрического рассеяния поляритонных мод с равными  $\widehat{a}_1$  и противоположными  $\widehat{a}_2$  волновыми векторами,  $\psi$  – поле экситон-поляритонов с нулевым волновым вектором,  $\alpha$  – постоянная поляритон-поляритонного взаимодействия,  $J$  – константа линейной связи поляритонов  $a_1$  и  $a_2$ . Будем предполагать, что поле экситон-поляритонов  $\psi$  с нулевым волновым вектором можно задавать и оптически контролировать.

Из (1) получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений для комплексных амплитуд поляритонов:

$$\begin{cases} i \frac{da_1}{dt} = \omega_1 \widehat{a}_1 + \alpha \psi^2 \widehat{a}_2^+ - J \widehat{a}_2 \\ i \frac{da_2}{dt} = \omega_2 \widehat{a}_2 + \alpha \psi^2 \widehat{a}_1^+ - J \widehat{a}_1 \\ i \frac{d\psi}{dt} = \omega_0 \psi + 2\alpha \psi^* \widehat{a}_1 \widehat{a}_2. \end{cases} \quad (4)$$

Далее введем, что  $\widehat{a}_1 = a_{11} + ia_{12}$ ;  $\widehat{a}_2 = a_{21} + ia_{22}$ ;  $\psi = \psi_{11} + i\psi_{12}$ , тогда получим следующую систему нелинейных

дифференциальных уравнений для действительных и мнимых компонент амплитуд соответствующих поляритонных состояний:

$$\begin{aligned} \frac{da_{11}}{dt} &= -2\alpha\psi_{11}\psi_{12}a_{21} - Ja_{22} + \\ &+ \alpha\psi_{12}^2 a_{22} + \omega_1 a_{12} - \alpha\psi_{11}^2 a_{22}, \\ \frac{da_{12}}{dt} &= -\alpha\psi_{11}^2 \psi_{12} a_{21} - \omega_1 a_{11} + \alpha\psi_{12}^2 a_{21} + \\ &+ 2\alpha\psi_{11}\psi_{12} a_{22} + Ja_{21}, \\ \frac{da_{21}}{dt} &= -2\alpha\psi_{11}\psi_{12} a_{11} - Ja_{12} + \alpha\psi_{12}^2 a_{12} + \\ &+ \omega_2 a_{22} - \alpha\psi_{11}^2 a_{12}, \\ \frac{da_{22}}{dt} &= -\alpha\psi_{11}^2 a_{11} - \omega_2 a_{21} + \alpha\psi_{12}^2 a_{11} + \\ &+ 2\alpha\psi_{11}\psi_{12} a_{12} + Ja_{11}, \\ \frac{d\psi_{11}}{dt} &= 2\alpha\psi_{11} a_{11} a_{22} + 2\alpha\psi_{11} a_{12} a_{21} - \omega_0 \psi_{12} + \\ &+ 2\alpha\psi_{12} a_{11} a_{21} - 2\alpha\psi_{12} a_{12} a_{22}, \end{aligned} \quad (5)$$

Введем следующие нормированные величины:  $A_{11} = a_{11}J$ ;  $A_{12} = a_{12}J$ ;  $A_{22} = a_{22}J$ ;  $A_{21} = a_{21}J$ ;  $\beta = \frac{\alpha}{J^3}$ ;  $\delta_1 = \frac{\omega_1}{J}$ ;  $\delta_2 = \frac{\omega_2}{J}$ ;  $\delta_0 = \frac{\omega_0}{J} B_{12} = \psi_{12}J$ ;  $B_{11} = \psi_{11}J$ , получим следующую систему нелинейных дифференциальных уравнений для нормированных величин

$$\begin{aligned} \frac{dA_{11}}{dt} &= -A_{22} - 2A_{21}B_{11}B_{12}\beta + A_{22}B_{12}^2\beta + \\ &+ A_{12}\delta_1 - A_{22}B_{11}^2\beta, \\ \frac{dA_{12}}{dt} &= A_{21} + 2A_{22}B_{11}B_{12}\beta + \\ &+ A_{21}B_{12}^2\beta - A_{11}\delta_1 - A_{21}B_{11}^2\beta, \\ \frac{dA_{21}}{dt} &= -A_{12} - 2A_{11}B_{11}B_{12}\beta + \\ &+ A_{12}B_{12}^2\beta + A_{22}\delta_2 - A_{12}B_{11}^2\beta, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dA_{22}}{dt} &= A_{11}B_{12}^2\beta + 2A_{12}B_{11}B_{12}\beta + \\ &+ A_{11} - A_{11}B_{11}^2\beta - A_{21}\delta_2, \\ \frac{dB_{11}}{dt} &= 2A_{21}A_{11}B_{12}\beta + 2A_{11}A_{22}B_{11}\beta + \\ &+ 2A_{21}A_{12}B_{11}\beta - 2A_{12}A_{22}B_{12}\beta - B_{12}\delta_0, \\ \frac{dB_{12}}{dt} &= -2A_{21}A_{11}B_{11}\beta + 2A_{12}A_{22}B_{11}\beta - \\ &- B_{11}\delta_0 + 2A_{12}A_{21}B_{12}\beta + 2A_{11}A_{22}B_{12}\beta. \end{aligned}$$

Рассмотрим случай, когда  $|a_1|^2 = |a_2|^2 \ll |\psi|^2$  (рис. 2). В условиях точного резонанса ( $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0$ ) происходит периодический процесс превращения поляритонов с нулевым волновым вектором в поляритоны с равными, но

противоположными по знаку волновыми векторами. При этом модули  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  принимают максимальные значения, когда  $|\psi|^2$  достигает своего минимального значения (рис. 2, а). При  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 \neq 0$  амплитуда колебаний  $|\psi|^2$  с течением времени уменьшается, а амплитуды  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  увеличиваются (рис. 2, б, в).

Если в начальный момент времени начальные плотности экситон-поляритонов равны друг другу, то, как видно из рис. 3, в условиях точного резонанса плотность экситон-поляритонов с нулевым волновым вектором  $|\psi|^2$  вначале убывает, в то время как плотности  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  достигают своего максимального значения. Со временем плотности экситон-поляритонов с равными, но противоположными волновыми векторами  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  осцилляционно убы-

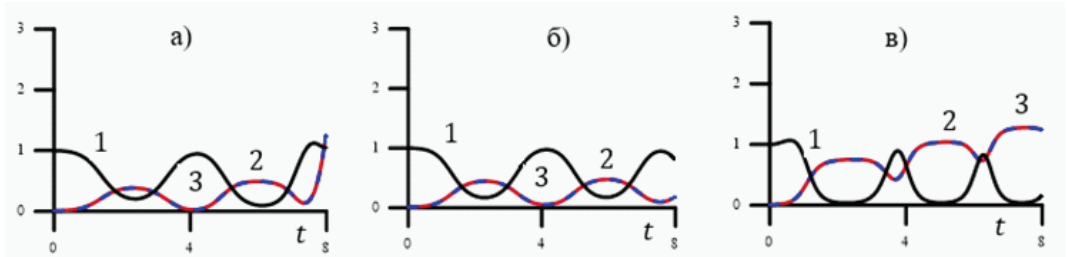


Рис. 2. Временная эволюция экситон-поляритонов при фиксированных значениях параметров системы:

$A_{11} = 0,1, A_{12} = 0, A_{21} = 0,1, A_{22} = 0, B_{11} = 1, B_{12} = 0, \beta = 2$  и различных расстройках резонанса

а)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0$ , б)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,1$ , в)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,5$ . Здесь 1 —  $|\psi|^2$ , 2 —  $|a_1|^2$ , 3 —  $|a_2|^2$

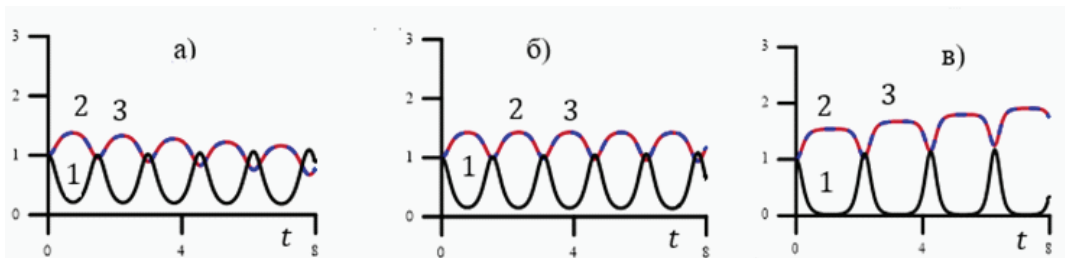


Рис. 3. Временная эволюция экситон-поляритонов при фиксированных значениях параметров системы:

$A_{11} = 1, A_{12} = 0, A_{21} = 1, A_{22} = 0, B_{11} = 1, B_{12} = 0, \beta = 2$  и различных расстройках резонанса

а)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0$ , б)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,1$ , в)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,5$ . Здесь 1 —  $|\psi|^2$ , 2 —  $|a_1|^2$ , 3 —  $|a_2|^2$

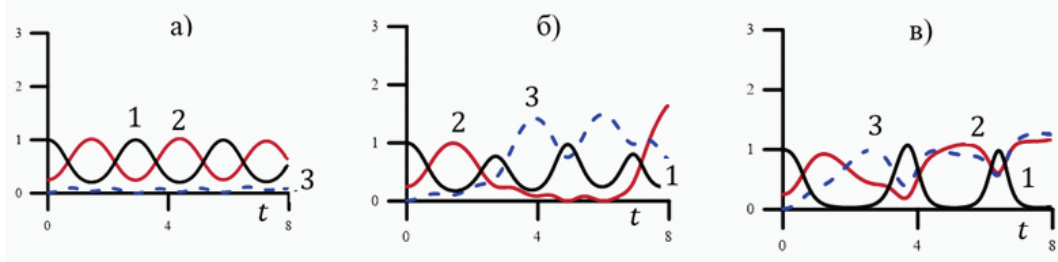


Рис. 4. Временная эволюция экситон-поляритонов при фиксированных значениях параметров системы:

$A_{11} = 0,5$ ,  $A_{12} = 0$ ,  $A_{21} = 0,4$ ,  $A_{22} = 0$ ,  $B_{11} = 1$ ,  $B_{12} = 0$ ,  $\beta = 2$  и различных расстройках резонанса а)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0$ , б)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,1$ , в)  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,5$ . Здесь 1 –  $|\psi|^2$ , 2 –  $|a_1|^2$ , 3 –  $|a_2|^2$

вают, в то время как  $|\psi|^2$  возрастает. В этом случае снова наблюдаем, что когда  $|\psi|^2$  принимает минимальное значение,  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  становятся максимально возможными. При  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 = 0,5$  плотности экситон-поляритонов  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  с течением времени осцилляционно возрастают, однако возникают области, при которых  $|\psi|^2 = 0$ , а  $|a_1|^2$  и  $|a_2|^2$  равны максимальному значению и некоторое время практически не изменяются.

В случае, когда начальные плотности поляритонов с равными, но противоположными волновыми векторами не равны друг другу, например  $|a_{20}|^2 < |a_{10}|^2$ , в условиях точного резонанса, снова наблюдается периодический процесс превращения поляритонов  $a_1$  в поляритон с волновым вектором, равным нулю, и обратно (рис. 4, а). При  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0 \neq 0$  наблюдается уменьшение амплитуды колебаний  $|a_1|^2$  и осцилляционное возрастание амплитуды колебаний поляритонов  $|a_2|^2$  (рис. 4, б, в).

### Заключение

Таким образом, была исследована временная эволюция превращения экситон-поляритонов с различными значениями энергии и импульса от расстройки резонанса.

Получены осцилляционные режимы превращения различных поляритонных состояний, которые могут быть использованы для реализации одного логического вентилля с управлением НЕ.

### Цитированная литература

1. **Brunner, D.** Competitive photonic neural networks / D. Brunner, D. Psaltis // Nature Photonics – 2021. – Vol. 15. – P. 323.
2. All-optical spiking neurosynaptic networks with self-learning capabilities / J. Feldmann, N. Youngblood, C. D. Wright, H. Bhaskaran, W. H. P. Pernice // Nature. – 2019. – Vol. 569. – P. 208.
3. Deep learning with coherent nanophotonic circuits / Y. Shen, N. C. Harris, S. Skirlo, M. Prabhu, T. Baehr-Jones, M. Hochberg, X. Sun, S. Zhao, H. Larochelle, D. Englund, M. Soljacic // Nat. Photonics. – 2017. – Vol. 11. – P. 441.
4. All-optical machine learning using diffractive deep neural networks / X. Lin, Y. Rivenson, N. T. Yardimci, M. Veli, Y. Luo, M. Jarrahi, A. Ozcan // Science. – 2018. – Vol. 361. – P. 1004.
5. **Antonik, P.** Human action recognition with a large-scale brain-inspired photonic computer / P. Antonik, N. Marsal, D. Brunner, D. Rontani // Nature Machine Intelligence. – 2019. – Vol. 1. – P. 530.

6. Inference in artificial intelligence with deep optics and photonics / G. Wetzstein, A. Ozcan, S. Gigan, S. Fan, D. Englund, M. Solgacic, C. Denz, D. A. Miller, D. Psaltis // *Nature*. – 2020. – Vol. 588. – P. 39.
7. Photonics for artificial intelligence and neuromorphic computing / B. J. Shastri, A. N. Tait, T. F. de Lima, W. H. Pernice, H. Bhaskaran, C. D. Wright, P. R. // *Nat. Photonics*. – 2021. – Vol. 15. – P. 102.
8. 11 TOPS photonic convolutional accelerator for optical neural networks / X. Xu, M. Tan, B. Corcoran, J. Wu, A. Boes, T. G. Nguyen, S. T. Chu, B. E. Little, D. G. Hicks, R. Morandotti, A. Mitchell, D. J. Moss // *Nature*. – 2021. – Vol. 589. – P. 44.
9. All-optical neural network with nonlinear activation functions / Y. Zuo, B. Li, Y. Zhao, Y. Jiang, Y.-C. Chen, P. Chen, G.-B. Jo, J. Liu, S. Du // *Optica*. – 2019. – Vol. 6. – P. 1132.
10. Microcavities / A. V. Kavokin, J. J. Baumberg, G. Malpuech, F. P. Laussy // Oxford : Oxford University Press, 2017.
11. Towards polariton blockade of confined exciton-polaritons / A. Delteil, T. Fink, A. Schade, S. Hofling, C. Schneider, A. Imamoglu // *Nat. Mater.* – 2019. – Vol. 18. – P. 219.
12. A room-temperature organic polariton transistor / A. V. Zasedatelev, A. V. Baranikov, D. Urbonas, F. Scafirimuto, U. Scherf, T. Stoferle, R. F. Mahrt, P. G. Lagoudakis // *Nature Photonics*. – 2019. – Vol. 13. – P. 378.
13. **Liew, T.C.H.** Optical circuits based on polariton neurons in semiconductor microcavities / T. C. H. Liew, A. V. Kavokin, I. A. Shelykh // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – Vol. 101. – P. 016402.
14. **Espinosa-Ortega, T.** A complete architecture of integrated photonic circuits based on AND and NOT logic gates of exciton-polaritons in semiconductor microcavities / T. Espinosa-Ortega, T.C.H. Liew // *Phys. Rev. B*. – 2013. – Vol. 87. – P. 195305.
15. Exciton-polariton spin switches / A. Amo, T. C. H. Liew, C. Adrados, R. Houdre, E. Giacobino, A. V. Kavokin, A. Bramati // *Nat. Photon.* – 2010. – Vol. 4. – P. 361.
16. Exciton-polariton topological insulator with an array of magnetic dots / M. Sun, D. Ko, D. Leykam, V. M. Kovalev, I. G. Savenko // *Phys. Rev. App.* – 2019. – Vol. 12. – P. 064028.
17. **Keyes, R. W.** What makes a good computer device? / R. W. Keyes // *Science*. – 1985. – Vol. 230. – P. 138.
18. All-optical control of the quantum flow of a polariton condensate / D. Sanvitto, S. Pigeon, A. Amo, D. Balarini, M. De Giorgi, I. Carusotto, R. Hivet, F. Pisanello, V. G. Sala, P. S. S. Guimaraes, R. Houdre, E. Giacobino, C. Ciuti, A. Bramati, G. Gigli // *Nature Photon.* – 2011. – Vol. 5. – P. 610.
19. Polariton condensate transistor switch / T. Gao, P. S. Eldridge, T. C. H. Liew, S. I. Tsintzos, G. Stavrinidis, G. Deligeorgis, Z. Hatzopoulos, P. G. Savvidis // *Phys. Rev. B*. – 2012. – Vol. 85. – P. 235102.
20. Control of polariton scattering in resonant-tunneling double-quantum-well semiconductor microcavities / G. Christmann, C. Coulson, J. J. Baumberg, N. T. Pelekanos, Z. Hatzopoulos, S. I. Tsintzos, P. G. Savvidis // *Phys. Rev. B*. – 2010. – Vol. 82. – P. 113308.
21. Propagation and amplification dynamics of 1D polariton condensates / E. Wertz, A. Amo, D. D. Solnyshkov, L. Ferrier, T. C. H. Liew, D. Sanvitto, P. Senellart, I. Sagnes, A. Lemaitre, A. V. Kavokin, G. Malpuech, J. Bloch // *Phys. Rev. Lett.* – 2012. – Vol. 109. – P. 216404.
22. Neural networks based on ultrafast time-delayed effects in exciton-polaritons / R. Mirek, A. Opala, M. Furman, M. Krol, K. Tyszka, B. Seredynski, W. Pacuski, J. Suffczynski, J. Szczyklo, M. Matuszewski, B. Pietka // *arXiv*. – 2022. – 2201/00225V1.
23. **Kyriienko, O.** Exciton-polariton quantum gates based on continuous variables / O. Kyriienko, T. C. H. Liew // *Phys. Rev. B*. – 2016. – Vol. 93. – P. 035301.

УДК 519.4:512.8

## ОБОБЩЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ И ЕДИНИЦЫ

Т. П. Грабовецкая, Н. Н. Малютина, В. А. Щербаков

*Изучены обобщенные производные квазигруппы. Показано, что для любой квазигруппы существует 648 обобщенных производных.*

**Ключевые слова:** квазигруппа, производная квазигруппы, обобщенная производная квазигруппы, правая единица, левая единица, средняя единица.

## GENERALIZED DERIVATIVES AND UNITS

T. P. Grabovetskaya, N. N. Malyutina, V. A. Shcherbacov

*This article is devoted to the study of generalized derivatives of quasigroups. It was shown that for any quasigroup there are 648 generalized derivatives.*

**Keywords:** quasigroup, quasigroup derivative, generalized quasigroup derivative, right unit, left unit, middle unit.

В различных разделах математики, например, в теории проективных плоскостей, ассоциативных тел, в ряде вопросов комбинаторного анализа и теории функциональных уравнений, возникает необходимость изучения такого понятия, как квазигруппы. За последние десятилетия теория квазигрупп и луп получила значительное развитие в работах различных математиков [1]. Фундаментальные результаты в теории бинарных и  $n$ -арных квазигрупп, в теории сетей и теории функциональных уравнений принадлежат В. Д. Белоусову, начинавшему свою деятельность в этой области под руководством профессора А. Г. Куроша.

Сегодня теория квазигрупп выделилась в отдельный раздел алгебры, имеющий тесные связи не только с самой алгеброй, но и с геометрией, с комбинаторикой, с теорией алгебраических сетей. В последнее время квазигруппы применяются в теории автоматов. Квазигруппы стали применяться и в физике, особенно при изучении пространства-времени в теории

относительности. Надо отметить, что и  $n$ -арные квазигруппы уже нашли свое применение на практике [2].

В настоящее время теория квазигрупп, как и другие алгебраические структуры, развивается по нескольким направлениям, но среди них, по нашему мнению, можно выделить три основных:

- 1) исследование внутренней природы самих квазигрупп;
- 2) тенденция получить аналоги известных результатов и теорем из других алгебраических структур;
- 3) приложения теории квазигрупп.

В современной алгебре теорию квазигрупп можно рассматривать как одно из звеньев между классическими алгебраическими системами – группами и общими системами универсальной алгебры. Квазигруппы являются удобным объектом для проверки гипотез и идей универсальной алгебры. Ввиду близости к группам к теории квазигрупп во многом применимы постановки задач, а иногда и методы теории групп.

Начнем с ряда определений, которые нам понадобятся для изложения основного материала.

**Определение 1.** Непустое множество  $Q$  с определенной на нем бинарной операцией  $A$  называется группоидом и обозначается  $(Q, A)$ .

Причем на множестве  $Q$  имеется столько группоидов, сколько существует различных операций на нем [2].

**Определение 2.** Группоид  $(Q, A)$  называется квазигруппой, если  $\forall a, b \in Q$  уравнения:  $A(a, x) = b$  и  $A(y, a) = b$  однозначно разрешимы.

Данное определение квазигруппы называют экзистенциальным. Существуют и другие определения квазигрупп [3]. Гаррет Биркгоф дал эквациональное определение квазигруппы [4, 5].

**Определение 3.** Эквациональной квазигруппой назовем алгебру с тремя бинарными операциями  $(Q, \cdot, \setminus, /)$ , которая удовлетворяет следующим шести тождествам:

$$x \cdot (x \setminus y) = y, \quad (1)$$

$$(y/x) \cdot x = y, \quad (2)$$

$$x \setminus (x \cdot y) = y, \quad (3)$$

$$(y \cdot x) / x = y, \quad (4)$$

$$x / (y \setminus x) = y, \quad (5)$$

$$(x / y) \setminus x = y. \quad (6)$$

**Замечание 1.** В [6] тождества (1)–(4) называют  $(SL), (SR), (IL), (IR)$  соответственно, поскольку эти тождества гарантируют, что левые  $(L)$  и правые  $(R)$  трансляции алгебры  $(Q, \cdot, \setminus, /)$  относительно операции " $\cdot$ " являются сюръективными  $(S)$  или инъективными  $(I)$  отображениями множества  $Q$ .

Следуя этой логике, мы можем обозначать тождество (5) как  $(SP)$ , а тождество (6) через  $(IP)$ , поскольку эти тождества гарантируют, что средние трансляции  $(P)$  являются соответственно сюръектив-

ными и инъективными отображениями относительно операции " $\cdot$ ".

**Лемма 1.** В алгебре  $(Q, \cdot, \setminus, /)$  с тождествами (1)–(4), тождества (5) и (6) верны [6–8].

Поэтому обычно используется следующее эквациональное определение квазигруппы Эванса [10].

**Определение 4.** Группоид  $(Q, \cdot)$  называется квазигруппой, если на множестве  $Q$  существуют операции « $\setminus$ » и « $/$ » такие, что в алгебре  $(Q, \cdot, \setminus, /)$  выполняются тождества (1)–(4).

**Определение 5.**  $n$ -арный группоид  $(Q, A)$  с  $n$ -арной операцией  $A$  такой, что в равенстве  $A(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_{n+1}$  факт знания любых  $n$  элементов множества  $\{x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}\}$  однозначно определяет оставшийся один элемент, называется  $n$ -арной квазигруппой [2]. Если в последнем равенстве мы положим  $n = 2$ , то получим определение бинарной квазигруппы.

**Определение 6.** Из определения 5 следует, что с заданной бинарной квазигруппой  $(Q, A)$  можно связать  $(3! - 1)$  другие, так называемые парастрофы квазигруппы  $(Q, A)$  [1, с. 18], которые имеют следующий вид:

$$A(x_1, x_2) = x_3, \quad (7)$$

$$A^{(12)}(x_2, x_1) = x_3, \quad (8)$$

$$A^{(13)}(x_3, x_2) = x_1, \quad (9)$$

$$A^{(23)}(x_1, x_3) = x_2, \quad (10)$$

$$A^{(123)}(x_2, x_3) = x_1, \quad (11)$$

$$A^{(132)}(x_3, x_1) = x_2, \quad (12)$$

**Замечание 2.** Операции (11) и (12) являются «12»-парастрофами операций (9) и (10) соответственно.

Предположим, что у нас есть квазигруппа  $(Q, \cdot)$ .



**Определение 7.** Элемент  $f \in Q$  называется левой единицей квазигруппы  $(Q, \cdot)$ , если  $\forall x \in Q$ , выполняется равенство:  $f \cdot x = x$ .

Элемент  $e \in Q$  называется правой единицей квазигруппы  $(Q, \cdot)$ , если  $\forall x \in Q$  выполняется равенство:  $x \cdot e = x$ .

Элемент  $s \in Q$  называется средней единицей квазигруппы  $(Q, \cdot)$ , если  $\forall x \in Q$  выполняется равенство:  $s = x \cdot x$ .

В табл. 1 для каждого вида трансляций показаны эквивалентные им из указанных выше шести парастрофных операций квазигруппы  $(Q, \cdot)$ .

Докажем результаты, приведенные в табл. 1.

Для  $R$  мы имеем:

$$R_x^{(12)}y = y \cdot x = z = x \cdot y = L_x y \cdot R^{(12)} = L,$$

$$R_x^{(13)}y = y / x = z \Rightarrow z \cdot x = y \Rightarrow \Rightarrow z = y \cdot x^{-1} \Rightarrow z = R_x^{-1}y \Rightarrow R^{(13)} = R^{-1},$$

$$R_x^{(23)}y = y \setminus x = z \Rightarrow y \cdot z = x \Rightarrow \Rightarrow z = P_x y \Rightarrow R^{(23)} = P,$$

$$R_x^{(123)}y = y / / x = z \Rightarrow z \cdot y = x \Rightarrow \Rightarrow y = P_x z \Rightarrow z = P_x^{-1}y \Rightarrow R^{(123)} = P^{-1},$$

$$R_x^{(132)}y = y \setminus \setminus x = z \Rightarrow x \cdot z = y \Rightarrow \Rightarrow z = x^{-1} \cdot y \Rightarrow R^{(132)} = L^{-1}.$$

Для  $L$  мы имеем:

$$L_x^{(12)}y = x \cdot y = z = y \cdot x = R_x y \Rightarrow L^{(12)} = R,$$

$$L_x^{(13)}y = x / y = z \Rightarrow z \cdot y = x \Rightarrow \Rightarrow y = P_x z \Rightarrow z = P_x^{-1}y \Rightarrow L^{(13)} = P^{-1},$$

$$L_x^{(23)}y = x \setminus y = z \Rightarrow x \cdot z = y \Rightarrow \Rightarrow z = x^{-1} \cdot y \Rightarrow z = L_x^{-1}y \Rightarrow L^{(23)} = L^{-1},$$

$$L_x^{(123)}y = x / / y = z \Rightarrow z \cdot x = y \Rightarrow \Rightarrow z = y \cdot x^{-1} \Rightarrow z = R_x^{-1}y \Rightarrow L^{(123)} = R^{-1},$$

Таблица 1

Трансляции квазигрупповых парастрофов

	$\varepsilon$	(12)	(13)	(23)	(123)	(132)
$R$	$R$	$L$	$R^{-1}$	$P$	$P^{-1}$	$L^{-1}$
$L$	$L$	$R$	$P^{-1}$	$L^{-1}$	$R^{-1}$	$P$
$P$	$P$	$P^{-1}$	$L^{-1}$	$R$	$L$	$R^{-1}$
$R^{-1}$	$R^{-1}$	$L^{-1}$	$R$	$P^{-1}$	$P$	$L$
$L^{-1}$	$L^{-1}$	$R^{-1}$	$P$	$L$	$R$	$P^{-1}$
$P^{-1}$	$P^{-1}$	$P$	$L$	$R^{-1}$	$L^{-1}$	$R$

$$L_x^{(132)}y = x \setminus \setminus y = z \Rightarrow y \cdot z = x \Rightarrow \Rightarrow P_x y = z \Rightarrow L^{(132)} = P.$$

Для  $P$  мы имеем:

$$P_x^{(12)}y = z \Rightarrow y \cdot z = x \Rightarrow z \cdot y = x \Rightarrow \Rightarrow z = P_x^{-1}y \Rightarrow P^{(12)} = P^{-1},$$

$$P_x^{(13)}y = z \Rightarrow y / z = x \Rightarrow x \cdot z = y \Rightarrow \Rightarrow z = L_x^{-1}y \Rightarrow P^{(13)} = L^{-1},$$

$$P_x^{(23)}y = z \Rightarrow y \setminus z = x \Rightarrow \Rightarrow y \cdot x = z = R_x y \Rightarrow P^{(23)} = R,$$

$$P_x^{(123)}y = z \Rightarrow y / / z = x \Rightarrow x \cdot y = z \Rightarrow \Rightarrow z = L_x y \Rightarrow P^{(123)} = L,$$

$$P_x^{(132)}y = z \Rightarrow y \setminus \setminus z = x \Rightarrow z \cdot x = y \Rightarrow \Rightarrow z = R_x^{-1}y \Rightarrow P^{(132)} = R^{-1}.$$

Для  $R^{-1}$  мы имеем:

$$(R^{-1})_x^{(12)}y = y \cdot x^{-1} \Rightarrow y = z \cdot x = x \cdot z \Rightarrow \Rightarrow x \cdot z = y \Rightarrow z = L_x^{-1}y \Rightarrow (R^{-1})^{(12)} = L^{-1}.$$

$$(R^{-1})_x^{(13)}y = y / x^{-1} = z \Rightarrow z \cdot x^{-1} = y \Rightarrow \Rightarrow z = y \cdot x = R_x y \Rightarrow (R^{-1})^{(13)} = R,$$

$$\begin{aligned}
& (R^{-1})_x^{(23)} y = y \setminus x^{-1} = z \Rightarrow y \cdot z = x^{-1} \Rightarrow & (P^{-1})_x^{(23)} y = z \Rightarrow y \setminus z = x^{-1} \Rightarrow \\
\Rightarrow z = P_{x^{-1}} y \Rightarrow (R^{-1})^{(23)} = P^{-1}, & \Rightarrow y \cdot x^{-1} = z \Rightarrow z = R_x^{-1} y \Rightarrow (P^{-1})^{(23)} = R^{-1}, \\
& (R^{-1})_x^{(123)} y = y // x^{-1} = z \Rightarrow z \cdot y = x^{-1} \Rightarrow & (P^{-1})_x^{(123)} y = z \Rightarrow y // z = x^{-1} \Rightarrow \\
\Rightarrow y = P_{x^{-1}} z \Rightarrow z = P_x y \Rightarrow (R^{-1})^{(123)} = P, & \Rightarrow x^{-1} \cdot y = z \Rightarrow z = L_x^{-1} y \Rightarrow (P^{-1})^{(123)} = L^{-1}, \\
& (R^{-1})_x^{(132)} y = y \setminus \setminus x^{-1} = z \Rightarrow x^{-1} \cdot z = y \Rightarrow & (P^{-1})_x^{(132)} y = z \Rightarrow y \setminus \setminus z = x^{-1} \Rightarrow \\
\Rightarrow z = x \cdot y = L_x y \Rightarrow (R^{-1})^{(132)} = L. & \Rightarrow z \cdot x^{-1} = y \Rightarrow z = y \cdot x = R_x y \Rightarrow \\
& \Rightarrow (P^{-1})^{(132)} = R.
\end{aligned}$$

Для  $L^{-1}$  мы получим:

$$\begin{aligned}
& (L^{-1})_x^{(12)} y = x^{-1} \cdot y = z = y \cdot x^{-1} \Rightarrow \\
& \Rightarrow z = R_x^{-1} y \Rightarrow (L^{-1})^{(12)} = R^{-1}, \\
& (L^{-1})_x^{(13)} y = x^{-1} / y = z \Rightarrow z \cdot y = x^{-1} \Rightarrow \\
& \Rightarrow y = P_{x^{-1}} z \Rightarrow z = P_x y \Rightarrow (L^{-1})^{(13)} = P, \\
& (L^{-1})_x^{(23)} y = x^{-1} \setminus y = z \Rightarrow x^{-1} \cdot z = y \Rightarrow \\
& \Rightarrow z = x \cdot y = L_x y \Rightarrow (L^{-1})^{(23)} = L, \\
& (L^{-1})_x^{(123)} y = x^{-1} // y = z \Rightarrow z \cdot x^{-1} = y \Rightarrow \\
& \Rightarrow z = y \cdot x = R_x y \Rightarrow (L^{-1})^{(123)} = R, \\
& (L^{-1})_x^{(132)} y = x^{-1} \setminus \setminus y = z \Rightarrow y \cdot z = x^{-1} \Rightarrow \\
& \Rightarrow P_x^{-1} y = z \Rightarrow (L^{-1})^{(132)} = P^{-1}.
\end{aligned}$$

Для  $P^{-1}$  мы получим:

$$\begin{aligned}
& (P^{-1})_x^{(12)} y = z \Rightarrow y \cdot z = x^{-1} \Rightarrow z \cdot y = x^{-1} \Rightarrow \\
& \Rightarrow y = P_x^{-1} z \Rightarrow z = P_x y \Rightarrow (P^{-1})^{(12)} = P, \\
& (P^{-1})_x^{(13)} y = z \Rightarrow y / z = x^{-1} \Rightarrow x^{-1} \cdot z = y \Rightarrow \\
& \Rightarrow z = x \cdot y = L_x y \Rightarrow (P^{-1})^{(13)} = L,
\end{aligned}$$

Идея изучения обобщенных производных операций принадлежит Д. Медочу, А. К. Сушкевичу [11, 12] и позднее В. Д. Белоусову. Известно, что тождество ассоциативности не выполняется ни в какой квазигруппе, но его можно заменить следующим равенством, верным для любой квазигруппы  $(Q, A)$ :

$$A(A(a, b), c) = A(a, A_a(b, c)), \quad (13)$$

где  $a, b, c \in Q$ , а  $A_a$  – это некоторая бинарная операция, которая зависит от элемента  $a$ . Равенство (13) можно получить из следующего уравнения:  $A(A(a, b), c) = A(a, x)$ . В этом случае решение уравнения можно обозначить так:  $x = A_a(b, c)$ .

**Определение 8.** Операция  $A_a$  называется правой производной операции  $A$  относительно элемента  $a$  [1].

**Определение 9.** Операция  ${}_a A$ , которая определяется из уравнения  $A(b, A(c, a)) = A(y, a)$ , называется левой производной операции  $A$  относительно элемента  $a$ , т. е.  $y = {}_a A(b, c)$  [1].

Это изотопический подход к понятию квазигрупповых производных [13, 14]. Для квазигруппы  $(Q, \cdot)$  мы можем переписать равенство (13) в следующем виде:  $(a \cdot x) \cdot y = a \cdot (x \circ y)$ , где  $x, y$  – произволь-

ные элементы множества  $Q$ , а элемент  $a$  – фиксированный элемент множества  $Q$ . Последнее равенство определяет группоид  $(Q, \circ)$ . Более того,  $(Q, \circ) = (Q, \cdot) (L_a, \varepsilon, L_a)$ , т. е. группоид  $(Q, \circ)$  является изотопом квазигруппы  $(Q, \cdot)$  с изотопией  $(L_a, \varepsilon, L_a)$ . Поэтому группоид  $(Q, \circ)$  является квазигруппой и является правой производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ , как в определении 8.

Квазигруппа  $(Q, *) = (Q, \cdot)(\varepsilon, R_a, R_a)$  является левой производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ , как в определении 9 [13].

Квазигруппа  $(Q, \star) = (Q, \cdot)(R_a, L_a^{-1}, \varepsilon)$  называется средней производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ .

Квазигруппа  $(Q, \diamond) = (Q, \cdot)(R_a^{-1}, L_a, \varepsilon)$  называется средней обратной производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ .

**Определение 10.** Конструкции вида  $(L_a, \varepsilon, L_a)$ ,  $(\varepsilon, R_a, R_a)$ ,  $(R_a, L_a^{-1}, \varepsilon)$ ,  $(R_a^{-1}, L_a, \varepsilon)$  можно назвать ядерными изотопиями. Левый (правый, средний) ядерный изотопический образ квазигруппы  $(Q, \cdot)$  можно назвать левой (правой, средней) производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$ .

**Лемма 2.**

1. Любая правая производная  $(Q, \circ)$  квазигруппы  $(Q, \cdot)$  имеет левую единицу, т. е.  $(Q, \circ)$  – это левая лупа [14].

2. Любая левая производная  $(Q, *)$  квазигруппы  $(Q, \cdot)$  имеет правую единицу, т. е.  $(Q, *)$  – это правая лупа [14].

3. Любая средняя производная  $(Q, \star)$  квазигруппы  $(Q, \cdot)$  – это левая лупа [3].

4. Любая средняя обратная производная  $(Q, \diamond)$  квазигруппы  $(Q, \cdot)$  – это правая лупа [5].

В данной работе мы придерживаемся изотопического подхода к бинарным производным. Буквой  $T$  обозначим множество всех квазигрупповых трансляций фиксированной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  и их обратных относительно одного фиксированного элемента, скажем, относительно элемента  $a$ .

**Определение 11.** Квазигруппа  $(Q, \star) = (Q, \cdot)(\alpha, \beta, \gamma)$ , где  $(Q, \star)$  является изострофическим образом квазигруппы  $(Q, \cdot)$ , т. е.

$$"\cdot" \in \{A, A^{(12)}, A^{(13)}, A^{(23)}, A^{(123)}, A^{(132)}\}, \alpha, \beta, \gamma \in T$$

и в каждом случае одна из трансляций  $\alpha, \beta, \gamma$  является тождественной перестановкой, называемой изострофической производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ .

**Определение 12.** Квазигруппа  $(Q, \star) = (Q, \cdot)(\alpha, \beta, \gamma)$ , где  $(Q, \star)$  является одним из парастрофов квазигруппы  $(Q, \cdot)$ ,  $\alpha, \beta, \gamma \in T$  и в каждом случае одна из трансляций  $\alpha, \beta, \gamma$  является тождественной перестановкой, называемой автострофической производной квазигруппы  $(Q, \cdot)$  относительно элемента  $a$ .

Мы можем назвать кортеж  $[(\alpha, \beta, \gamma), (Q, \star)]$  ядерной автострофией типа  $(Q, \star)$ . Например, кортеж  $[(L_a, P_a^{-1}, \varepsilon), x \setminus y]$  можно назвать средней ядерной автострофией типа  $x \setminus y$ .

Как легко сосчитать, таких автострофических производных существует 648.

Далее мы приняли следующие обозначения:

- 1) операцию  $A$  как  $xu$  или  $x \cdot y$ ;
- 2) операцию  $A^{(12)}$  как  $ux$  или  $y \cdot x$ ;
- 3) операцию  $A^{(13)}$  как  $y / x$ ;
- 4) операцию  $A^{(23)}$  как  $x \setminus y$ ;
- 5) операцию  $A^{(123)}$  как  $x / y$ ;
- 6) операцию  $A^{(132)}$  как  $y \setminus x$ .

**Пример 1.** Кортеж  $[(L_a, \varepsilon, R_a), x \cdot y]$  означает автострофическую производную вида:  $L_a x \cdot y = R_a (x \cdot y)$  или

$$(a \cdot x) \cdot y = (x \cdot y) \cdot a. \quad (14.1)$$

На равенство (14.1) можно смотреть так же, как на тождество двух переменных и одного фиксированного элемента на квазигруппе  $(Q, \cdot, \backslash, /)$ .

Мы докажем, что квазигруппа с равенством (14.1) имеет только левый единичный элемент  $f = a/a$  при фиксированном элементе  $a$ .

В доказательстве мы используем следующие тождества:

$$x \cdot (x \backslash y) = y; \quad (A)$$

$$x \backslash (x \cdot y) = y; \quad (B)$$

$$(x / y) \cdot y = x; \quad (C)$$

$$(x \cdot y) / y = x. \quad (D)$$

1) из (14.1) по определению левого деления мы получим:

$$((a \cdot x) \cdot y) / a = x \cdot y; \quad (14.2)$$

2) подставляем в (14.2)  $a \backslash x$  вместо  $x$ :

$$\left( \underbrace{(a \cdot (a \backslash x))}_x \cdot y \right) / a = (a \backslash x) \cdot y \stackrel{(A)}{\Rightarrow} \\ \Rightarrow (x \cdot y) / a = (a \backslash x) \cdot y; \quad (14.3)$$

3) пусть теперь в (14.2)  $y = a$ , тогда мы имеем:

$$\left( \underbrace{(a \cdot x) \cdot a}_{a \cdot x} \right) / a = x \cdot a \stackrel{(D)}{\Rightarrow} a \cdot x = x \cdot a; \quad (14.4)$$

4) из тождества (B) примем  $x = y \cdot a$ , мы получим:

$$x \backslash (x \cdot y) = y \stackrel{(14.4)}{\Rightarrow} x \backslash (y \cdot x) = y; \quad (14.5)$$

5) подставляем в (14.5)  $a$  вместо  $x$ :

$$a \backslash (y \cdot a) = y; \quad (14.6)$$

6) из (D) мы имеем:

$$(x \cdot y) / y = x \stackrel{(14.4)}{\Rightarrow} (y \cdot x) / y = x; \quad (14.7)$$

7) подставляя в (14.7)  $a$  вместо  $y$ , получим:

$$(a \cdot x) / a = x; \quad (14.8)$$

8) пусть в (14.6)  $y = x / a$ :

$$a \backslash \left( \underbrace{(x / a) \cdot a}_x \right) = x / a \stackrel{(C)}{\Rightarrow} a \backslash x = x / a; \quad (14.9)$$

9) из (14.3) мы имеем:

$$(x \cdot y) / a = (a \backslash x) \cdot y \stackrel{(14.9)}{\Rightarrow} (x \cdot y) / a = \\ = (x / a) \cdot y; \quad (14.10)$$

Пусть теперь в (1.10)  $x = a$ , тогда мы имеем:

$$\left( \underbrace{(a \cdot y) / a}_y \right) = (a / a) \cdot y \stackrel{(14.8)}{\Rightarrow} y = (a / a) \cdot y.$$

Итак, мы получили  $\exists f = a/a \mid f \cdot y = y$ , т. е. мы показали существование левого единичного элемента.

Программное доказательство с помощью Prover [15] дает такой же результат и имеет вид:

```

% Proof 1 at 0.00 (+ 0.01) seconds: «Left_ID».
% Length of proof is 17.
% Level of proof is 8.
% Maximum clause weight is 11.
% Given clauses 15.
1 (exists a all x all y (a * x) * y = (x * y) * a) # label(«Autostr») # label(non_clause).
[assumption].
2 (exists b all x b * x = x) # label(«Left_ID») # label(non_clause) # label(goal). [goal].
3 x * (x \ y) = y # label(«A»). [assumption].
4 x \ (x * y) = y # label(«B»). [assumption].
5 (x / y) * y = x # label(«C»). [assumption].
6 (x * y) / y = x # label(«D»). [assumption].
9 (c1 * x) * y = (x * y) * c1 # label(«Autostr»). [clausify(1)].
10 x * f1(x) != f1(x) # label(«Left_ID») # answer(«Left_ID»). [deny(2)].
16 ((c1 * x) * y) / c1 = x * y. [para(9(a,2),6(a,1,1))].
29 (x * y) / c1 = (c1 \ x) * y. [para(3(a,1),16(a,1,1,1))].
31 c1 * x = x * c1. [para(16(a,1),6(a,1)),flip(a)].
39 c1 \ (x * c1) = x. [para(31(a,1),4(a,1,2))].
43 (c1 * x) / c1 = x. [para(31(a,2),6(a,1,1))].
46 c1 \ x = x / c1. [para(5(a,1),39(a,1,2))].
49 (x * y) / c1 = (x / c1) * y. [back_rewrite(29),rewrite([46(5)])].
51 (c1 / c1) * x = x. [back_rewrite(43),rewrite([49(4)])].
52 $F # answer(«Left_ID»). [resolve(51,a,10,a)].

```

Из табл. 2 также следует, что квази-группа с равенством (14.1) имеет левую единицу, но не имеет правой и средней.

Контрпример, иллюстрирующий данный факт, построен, и он не единственный.

Таблица 2

*	0	1	2	3	4	5	\	0	1	2	3	4	5	/	0	1	2	3	4	5
0	1	0	4	5	2	3	0	1	0	4	5	2	3	0	1	0	5	3	2	4
1	0	1	2	3	4	5	1	0	1	2	3	4	5	1	0	1	3	5	4	2
2	4	3	5	2	0	1	2	4	5	3	1	0	2	2	4	3	1	2	0	5
3	5	2	1	0	3	4	3	3	2	1	4	5	0	3	5	2	4	1	3	0
4	2	5	3	4	1	0	4	5	4	0	2	3	1	4	2	5	0	4	1	3
5	3	4	0	1	5	2	5	2	3	5	0	1	4	5	3	4	2	0	5	1

**Пример 2.** Кортеж  $\left[ \left( L_a^{-1}, P_a, \varepsilon \right), y \setminus x \right]$  означает автострофическую производную вида:  $L_a^{-1}x \cdot P_a y = y \setminus x$ .

Используя табл. 1, мы можем переписать последнее равенство в следующем виде:

$$(a \setminus x) \cdot (y \setminus a) = y \setminus x. \quad (15.1)$$

Мы докажем, что квазигруппа с равенством (15.1) имеет левый и правый единичные элементы при фиксированном элементе  $a$ , но не имеет среднего.

В доказательстве мы используем следующие тождества:

$$x \cdot (x \setminus y) = y; \quad (A)$$

$$x \setminus (x \cdot y) = y; \quad (B)$$

$$(x \cdot y) / y = x; \quad (D)$$

$$(x / y) \setminus x = y; \quad (R)$$

$$x / (y \setminus x) = y. \quad (T)$$

1) пусть в (15.1)  $y = a / y$ :

$$(a \setminus x) \cdot \left( \underbrace{(a / y) \setminus a}_y \right) = (a / y) \setminus x \stackrel{(R)}{\Rightarrow} \\ \Rightarrow (a \setminus x) \cdot y = (a / y) \setminus x; \quad (15.2)$$

2) положим в (15.2)  $x = a$ :

$$(a \setminus a) \cdot y = \left( \underbrace{(a / y) \setminus a}_y \right) \stackrel{(R)}{\Rightarrow} (a \setminus a) \cdot y = y.$$

Мы получили, что  $\exists f = a \setminus a \mid f \cdot y = y$ , т. е. показали существование левого единичного элемента;

3) пусть теперь в (15.1)  $y = a \setminus x$ :

$$\underbrace{(a \setminus x) \cdot ((a \setminus x) \setminus a)}_a = (a \setminus x) \setminus x \stackrel{(A)}{\Rightarrow} \\ \Rightarrow a = (a \setminus x) \setminus x \quad (15.3)$$

4) из (15.1) по определению правого деления мы получим:

$$(a \setminus x) \setminus (y \setminus x) = y \setminus a; \quad (15.4)$$

5) из (15.3) по определению левого деления мы получим:

$$x / a = a \setminus x; \quad (15.5)$$

6) подставляем в (D)  $a$  вместо  $y$ :

$$(x \cdot a) / a = x \stackrel{(15.5)}{\Rightarrow} a \setminus (x \cdot a) = x; \quad (15.6)$$

7) пусть в (15.4), когда  $x = x \cdot a$ :

$$\underbrace{(a \setminus (x \cdot a))}_x \setminus (y \setminus (x \cdot a)) = y \setminus a \stackrel{(15.6)}{\Rightarrow} \\ \Rightarrow x \setminus (y \setminus (x \cdot a)) = y \setminus a; \quad (15.7)$$

8) в (15.7) положим  $y = a$ :

$$\underbrace{x \setminus (a \setminus (x \cdot a))}_x = a \setminus a \stackrel{(15.6)}{\Rightarrow} x \setminus x = a \setminus a. \quad (15.8)$$

Из (15.8) по определению левого деления получим:

$$x = x \cdot (a \setminus a). \quad (15.9)$$

Итак, мы получили, что

$$\exists e = a \setminus a \mid x \cdot e = x,$$

т. е. показали существование правого единичного элемента.

Программная реализация существования левой единицы имеет вид:



```

1 (exists a all x all y (a \ x) * (a / y) = x / y) # label(«Autostr») # label(non_clause).
[assumption].
2 (exists b all x b * x = x) # label(«Left_ID») # label(non_clause) # label(goal). [goal].
3 x * (x \ y) = y # label(«A»). [assumption].
4 x \ (x * y) = y # label(«B»). [assumption].
6 (x * y) / y = x # label(«D»). [assumption].
9 x / y = (c1 \ x) * (c1 / y) # label(«Autostr»). [clausify(1)].
10 (c1 \ x) * (c1 / y) = x / y. [copy(9),flip(a)].
11 x * f1(x) != f1(x) # label(«Left_ID») # answer(«Left_ID»). [deny(2)].
12 (c1 \ x) \ (x / y) = c1 / y. [para(10(a,1),4(a,1,2))].
13 (c1 * x) / y = x * (c1 / y). [para(4(a,1),10(a,1,1)),flip(a)].
21 x * (c1 / x) = c1. [para(13(a,1),6(a,1))].
25 x \ c1 = c1 / x. [para(21(a,1),4(a,1,2))].
26 c1 / (c1 / x) = x. [para(21(a,1),6(a,1,1))].
30 (c1 / c1) \ x = x. [para(26(a,1),12(a,1,2)),rewrite([25(3),26(8)])].
41 (c1 / c1) * x = x. [para(30(a,1),3(a,1,2))].
42 $F # answer(«Left_ID»). [resolve(41,a,11,a)].

```

Программная реализация существования правой единицы имеет вид:

```

1 (exists a all x all y (a \ x) * (y \ a) = x * y) # label(«Autostr») # label(non_clause).
[assumption].
2 (exists b all x b * x = x) # label(«Left_ID») # label(non_clause) # label(goal). [goal].
3 x * (x \ y) = y # label(«A»). [assumption].
4 x \ (x * y) = y # label(«B»). [assumption].
9 (c1 \ x) * (y \ c1) = x * y # label(«Autostr»). [clausify(1)].
10 x * f1(x) != f1(x) # label(«Left_ID») # answer(«Left_ID»). [deny(2)].
11 x * (c1 \ x) = c1. [para(9(a,1),3(a,1))].
13 (c1 * x) * y = x * (y \ c1). [para(4(a,1),9(a,1,1)),flip(a)].
16 c1 \ x = x \ c1. [para(11(a,1),4(a,1,2)),flip(a)].
19 (c1 * c1) * x = x. [para(16(a,1),3(a,1,2)),rewrite([13(4,R)])].
20 $F # answer(«Left_ID»). [resolve(19,a,10,a)].

```

Из табл. 3 также следует, что квази-правую единицу, но не имеет средней единицы. группа с равенством (15.1) имеет левую и

Таблица 3

*	0	1	2		/	0	1	2		/	0	1	2
0	1	2	0		0	2	0	1		0	2	1	0
1	2	0	1		1	1	2	0		1	0	2	1
2	0	1	2		2	0	1	2		2	1	0	2

**Пример 3.** Кортеж  $\left[ \left( L_a^{-1}, P_a, \varepsilon \right), x / y \right]$  означает автострофическую производную вида:  $L_a^{-1}x \cdot P_a y = y / x$ . И это тождество не имеет единиц вообще. Это доказывается следующим контрпримером (табл. 4):

Нас интересовал вопрос о существовании единиц (левой, правой и средней) в квазигруппах, имеющих обобщенную

производную, т. е. имеющих автострофию специального вида. Продолжается изучение 648 обобщенных производных квазигрупп. Основные результаты проведенных исследований можно найти в работах [16, 17].

В табл. 5 исследованы все 1944 случая, когда обобщенная производная квазигруппы имеет единицу, а когда – нет.

Таблица 4

*	0	1	2	3		\	0	1	2	3		/	0	1	2	3
0	1	3	2	0		0	3	0	2	1		0	2	1	3	0
1	2	0	1	3		1	1	2	0	3		1	0	3	1	2
2	0	2	3	1		2	0	3	1	2		2	1	2	0	3
3	3	1	0	2		3	2	1	3	0		3	3	0	2	1

Таблица 5

Единицы в квазигруппе с автострофной производной

$(L_a, L_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, L_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, R_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-	$xy$	-	-	-
$yx$	-	+	-	$yx$	-	+	-	$yx$	+	+	-
$x y$	-	-	-	$x y$	+	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	-
$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	+	-	+	$x/y$	-	-	+	$x/y$	-	-	-
$(L_a, R_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, P_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, P_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	-	-	$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-
$yx$	-	+	-	$yx$	-	+	-	$yx$	-	+	-
$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	-	$y x$	+	-	-	$y x$	-	-	-
$y/x$	+	-	-	$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-	$x/y$	+	-	-
$(L_a, \varepsilon, L_a)$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, \varepsilon, L_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(L_a, \varepsilon, R_a)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-
$yx$	+	+	-	$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-
$x y$	+	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	-
$y/x$	-	+	+	$y/x$	-	-	+	$y/x$	+	-	+
$x/y$	-	-	+	$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-

$(L_a, \varepsilon, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a, \varepsilon, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a, \varepsilon, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	+	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	+	<i>y/x</i>	-	-	+	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-
$(\varepsilon, L_a, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	+	-
<i>yx</i>	+	+	-	<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	+
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	+	+
$(\varepsilon, L_a, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+
$(L_a^{-1}, L_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, L_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, R_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	+	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	+	+	<i>y x</i>	-	+	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	-	-	-
$(L_a^{-1}, R_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, P_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, P_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	+	+	-	<i>y x</i>	-	+	-
<i>y/x</i>	+	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-

$(L_a^{-1}, \varepsilon, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, \varepsilon, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, \varepsilon, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-
<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	+	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	+	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	-	+	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-
<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+
$(L_a^{-1}, \varepsilon, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, \varepsilon, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(L_a^{-1}, \varepsilon, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	+	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	-	-	+
$(\varepsilon, L_a, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a^{-1}, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a^{-1}, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	+	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	+	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	+
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	+	<i>y/x</i>	-	-	+	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	-	+	-
$(\varepsilon, L_a^{-1}, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a^{-1}, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, L_a^{-1}, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	-	+	<i>y/x</i>	-	+	+	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-

$(R_a, L_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, L_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, R_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	+	-	$xy$	+	+	-	$xy$	-	+	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	+	-	$yx$	+	-	-
$x y$	-	-	-	$x y$	+	-	-	$x y$	-	+	+
$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	-
$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	+	$x/y$	-	-	-
$(R_a, R_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, P_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, P_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-
$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	-	$y x$	+	-	-	$y x$	-	-	-
$y/x$	+	-	-	$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-	$x/y$	+	-	-
$(R_a, \varepsilon, L_a)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, \varepsilon, L_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, \varepsilon, R_a)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-	$xy$	-	-	-
$yx$	-	+	-	$yx$	-	-	-	$yx$	+	+	-
$x y$	+	-	+	$x y$	-	-	+	$x y$	-	+	+
$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	-
$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	-	-	$y/x$	+	-	-
$x/y$	-	-	+	$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-
$(R_a, \varepsilon, R_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, \varepsilon, P_a)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a, \varepsilon, P_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	-	-	$xy$	-	-	+	$xy$	-	-	+
$yx$	+	-	-	$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-
$x y$	-	-	+	$x y$	-	-	+	$x y$	-	-	+
$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	-	$y x$	+	-	-
$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	+	-	-	$x/y$	-	-	-

$(\varepsilon, R_a, L_a)$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, R_a, L_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, R_a, R_a)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	+	-	$yx$	+	+	-
$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	+
$y x$	-	+	+	$y x$	-	-	+	$y x$	+	-	+
$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	-	+
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	+	-
$(\varepsilon, R_a, R_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, R_a, P_a)$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, R_a, P_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	-	$xy$	-	-	-	$xy$	-	-	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-
$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	+	-
$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	+
$y/x$	-	-	-	$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	-	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-
$(R_a^{-1}, L_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a^{-1}, L_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a^{-1}, R_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	+	-	$xy$	+	+	-	$xy$	-	+	-
$yx$	+	-	-	$yx$	+	+	-	$yx$	+	-	-
$x y$	-	-	+	$x y$	+	-	+	$x y$	-	-	+
$y x$	+	-	-	$y x$	+	-	+	$y x$	+	-	-
$y/x$	-	-	+	$y/x$	-	+	+	$y/x$	-	-	+
$x/y$	-	+	-	$x/y$	-	+	+	$x/y$	-	+	-
$(R_a^{-1}, R_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a^{-1}, P_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(R_a^{-1}, P_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-	$xy$	-	+	-
$yx$	+	-	-	$yx$	+	-	-	$yx$	+	-	-
$x y$	-	+	+	$x y$	-	-	+	$x y$	-	-	+
$y x$	+	-	-	$y x$	+	-	-	$y x$	+	-	-
$y/x$	+	-	+	$y/x$	-	-	+	$y/x$	-	-	+
$x/y$	-	+	-	$x/y$	-	+	-	$x/y$	+	+	-



$(R_a^{-1}, \varepsilon, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(R_a^{-1}, \varepsilon, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(R_a^{-1}, \varepsilon, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x\ y</i>	+	-	-	<i>x\ y</i>	-	-	-	<i>x\ y</i>	-	-	-
<i>y\ x</i>	-	-	+	<i>y\ x</i>	-	-	+	<i>y\ x</i>	-	-	+
<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-
<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-
$(R_a^{-1}, \varepsilon, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(R_a^{-1}, \varepsilon, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(R_a^{-1}, \varepsilon, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	+	+	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x\ y</i>	-	+	+	<i>x\ y</i>	-	-	-	<i>x\ y</i>	-	-	-
<i>y\ x</i>	-	-	+	<i>y\ x</i>	-	-	+	<i>y\ x</i>	+	-	+
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-
$(\varepsilon, R_a^{-1}, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, R_a^{-1}, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, R_a^{-1}, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	+	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x\ y</i>	-	-	+	<i>x\ y</i>	-	-	+	<i>x\ y</i>	-	-	+
<i>y\ x</i>	-	+	-	<i>y\ x</i>	-	-	-	<i>y\ x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	+	-
$(\varepsilon, R_a^{-1}, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, R_a^{-1}, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, R_a^{-1}, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	+	+	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x\ y</i>	-	-	+	<i>x\ y</i>	-	-	+	<i>x\ y</i>	-	+	+
<i>y\ x</i>	-	-	-	<i>y\ x</i>	-	-	-	<i>y\ x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-

$(P_a, L_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, L_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, R_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	+	-	-	<i>xy</i>	-	+	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x y</i>	-	+	-	<i>x y</i>	+	+	-	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	+	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	-
$(P_a, R_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, P_a, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, P_a^{-1}, \varepsilon)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	-	<i>xy</i>	-	-	-	<i>xy</i>	-	-	-
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	+	-	<i>x y</i>	-	+	+	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	+	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	+	-	-
$(P_a, \varepsilon, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, \varepsilon, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, \varepsilon, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	+	<i>xy</i>	+	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	+	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	-	+	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-
<i>x/y</i>	-	-	+	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-
$(P_a, \varepsilon, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, \varepsilon, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a, \varepsilon, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	+	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	+	+	<i>x y</i>	-	-	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-

$(\varepsilon, P_a, L_a)$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, P_a, L_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, P_a, R_a)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	-	+	$xy$	-	-	+	$xy$	-	+	+
$yx$	-	-	+	$yx$	-	+	+	$yx$	+	-	+
$x y$	-	+	-	$x y$	-	+	-	$x y$	-	+	+
$y x$	-	+	-	$y x$	-	+	-	$y x$	+	+	-
$y/x$	+	-	-	$y/x$	+	-	-	$y/x$	+	-	+
$x/y$	+	-	-	$x/y$	+	-	-	$x/y$	+	+	-
$(\varepsilon, P_a, R_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, P_a, P_a)$	$f$	$e$	$s$	$(\varepsilon, P_a, P_a^{-1})$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	+	$xy$	-	-	+	$xy$	-	-	+
$yx$	-	-	+	$yx$	-	-	+	$yx$	-	-	+
$x y$	-	+	-	$x y$	-	+	-	$x y$	-	+	-
$y x$	-	+	-	$y x$	-	+	-	$y x$	-	+	-
$y/x$	+	-	-	$y/x$	+	+	-	$y/x$	+	-	-
$x/y$	+	-	-	$x/y$	+	-	+	$x/y$	+	-	-
$(P_a^{-1}, L_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(P_a^{-1}, L_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(P_a^{-1}, R_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	+	-	-	$xy$	+	-	-	$xy$	-	+	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	+	-	$yx$	+	-	-
$x y$	-	-	-	$x y$	+	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	-	$y x$	-	-	+	$y x$	-	-	-
$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	+	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	+	$x/y$	-	-	-
$(P_a^{-1}, R_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(P_a^{-1}, P_a, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$	$(P_a^{-1}, P_a^{-1}, \varepsilon)$	$f$	$e$	$s$
$xy$	-	+	-	$xy$	-	-	-	$xy$	-	+	-
$yx$	-	-	-	$yx$	-	-	-	$yx$	+	-	-
$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-	$x y$	-	-	-
$y x$	-	-	-	$y x$	+	-	-	$y x$	-	-	-
$y/x$	+	+	-	$y/x$	-	+	-	$y/x$	-	+	-
$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-	$x/y$	-	-	-

$(P_a^{-1}, \varepsilon, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a^{-1}, \varepsilon, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a^{-1}, \varepsilon, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	+	-	+	<i>xy</i>	+	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	-	+	+	<i>yx</i>	-	-	+	<i>yx</i>	-	-	+
<i>x y</i>	+	+	-	<i>x y</i>	-	+	-	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	+	+	<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	+	-
<i>y/x</i>	+	+	-	<i>y/x</i>	+	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-
<i>x/y</i>	+	-	+	<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-
$(P_a^{-1}, \varepsilon, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a^{-1}, \varepsilon, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(P_a^{-1}, \varepsilon, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	+	-	+	<i>yx</i>	-	-	+	<i>yx</i>	-	-	+
<i>x y</i>	-	+	-	<i>x y</i>	-	+	-	<i>x y</i>	-	+	+
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	+	+	-
<i>y/x</i>	+	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-	<i>y/x</i>	+	-	-
<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-	<i>x/y</i>	+	-	-
$(\varepsilon, P_a^{-1}, L_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, P_a^{-1}, L_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, P_a^{-1}, R_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	+	+
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	+	-	<i>yx</i>	+	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	+
<i>y x</i>	-	+	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	+	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	-	+
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	+	-
$(\varepsilon, P_a^{-1}, R_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, P_a^{-1}, P_a)$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>	$(\varepsilon, P_a^{-1}, P_a^{-1})$	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>xy</i>	-	+	+	<i>xy</i>	-	-	+	<i>xy</i>	-	-	+
<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-	<i>yx</i>	-	-	-
<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	-	-	<i>x y</i>	-	+	-
<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-	<i>y x</i>	-	-	-
<i>y/x</i>	-	-	-	<i>y/x</i>	-	+	-	<i>y/x</i>	-	-	-
<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	-	-	-	<i>x/y</i>	+	-	+

При заполнении табл. 5 мы активно использовали Prover и Mace [14, 17]. Следует учесть, что для всех случаев программные доказательства, полученные с помощью средства Prover, были проверены аналитическим путем.

Работа по исследованию обобщенных производных операций продолжается.

### Цитированная литература

1. Белоусов, В. Д. Основы теории квази-групп и луп / В. Д. Белоусов. – Москва : Наука, 1967. – 223 с. – Текст : непосредственный.
2. Белоусов, В. Д.  $n$ -арные квазигруппы / В. Д. Белоусов. – Кишинев : Штиинца, 1971. – 225 с. – Текст : непосредственный.
3. Shcherbacov, V. A. Elements of Quasigroup Theory and Applications / V. A. Shcherbacov. – London; New York : Chapman and Hall / CRC Press, Boca Raton, 2017. – 576 p.
4. Birkhoff, G. Lattice Theory / G. Birkhoff // Vol. 25. – Revised edition. – New York : American Mathematical Society Colloquium Publications, 1948.
5. Биркгоф, Г. Теория решеток / Г. Биркгоф. – Москва : Наука, 1984. – 568 с. – Текст: непосредственный.
6. Smith, J.D.H. An introduction to Quasigroups and Their Representation. Studies in Advanced Mathematics / J.D.H. Smith. – London: Chapman and Hall / CRC, 2007. – 342 p.
7. Shcherbacov, V. Elements of quasigroup theory and some its applications in code theory / V. Shcherbacov. – URL : <https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~drapal /speccurs.pdf> (дата обращения 23.12.2021). – 2004. – 85 p. – Текст : электронный.
8. Shcherbacov, V. A. On definitions of groupoids closely connected with quasigroups / V. A. Shcherbacov // Bul. Acad. Stiinte Repub. Mold., Mat. – 2007. – Vol. 2. – P. 43–54.
9. Evans, T. Homomorphisms of non-associative systems / T. Evans // J. London Math. Soc.– 1949. – Vol. 24. – P. 254–260.
10. Murdoch, D. C. Quasigroups which satisfy certain generalized associative laws / D. C. Murdoch // Amer. J. Math. – 1939. – Vol. 61. – P. 509–522.
11. Сушкевич, А. К. Теория обобщенных групп, Киев: ДНТБУ, 1937. – 176 с. – Текст: непосредственный.
12. Белоусов, В. Д. Элементы теории квазигрупп: спецкурс / В. Д. Белоусов. – Кишинев : Типография Кишиневского государственного университета, 1981. – 81 с. – Текст: непосредственный.
13. Pflugfelder, H. O. Quasigroups and Loops: Introduction / H. O. Pflugfelder. – Berlin : Heldermann Verlag, 1990.
14. McCune, W. Prover 9. University of New Mexico / W. McCune. – URL : [www.cs.unm.edu/mccune/prover9/](http://www.cs.unm.edu/mccune/prover9/).
15. Horosh, G. Units in generalized derivatives of quasigroups / G. Horosh, N. Malyutina, A. Scherbakova, V. Shcherbacov // Current Problems of Mathematics and Informatics, November 27–28, 2020. – Chisinau, 2021. – P. 61–64.
16. Horosh, G., Malyutina, N., Scherbakova, A., Shcherbacov, V. Units in generalized derivatives of quasigroups quasigroups / G. Horosh, N. Malyutina, A. Scherbakova, V. Shcherbacov. – URL : <https://arxiv.org/pdf/2009.03605.pdf>.
17. McCune, W. Mace 4. University of New Mexico / W. McCune. – URL : [www.cs.unm.edu/mccune/prover9/](http://www.cs.unm.edu/mccune/prover9/).

## О НЕКОТОРЫХ ГРУППОИДАХ С ТОЖДЕСТВАМИ ТИПА БОЛА – МУФАНГ

*В. А. Щербаков, В. Д. Чернов, Н. Н. Малютина*

*Статья посвящена исследованию группоидов с тождествами типа Бола – Муфанг. Представлены некоторые результаты подсчета количества группоидов порядка 3 с тождествами типа Бола – Муфанг.*

**Ключевые слова:** *группоид, тождество типа Бола – Муфанг, лупа, квазигруппа, парастрофа.*

## ON SOME GROUPOIDS OF SMALL ORDERS WITH BOL – MOUFANG TYPE OF IDENTITIES

*V. A. Shcherbacov, V. D. Chernov, N. N. Malytina*

*This article is devoted to the study of groupoids with identities of the Bol-Moufang type. We will highlight some results of calculating the number of order 3 groupoids with Bol-Moufang identities.*

**Keywords:** *groupoid, Bol-Moufang identity, loop, quasigroup, parastrophe.*

Мы продолжаем изучение группоидов с некоторыми тождествами типа Бола – Муфанг [1, 2, 3]. В настоящей статье представлены результаты, опубликованные в [4, 5].

**Определение 1.** Бинарным группоидом  $(G, \cdot)$  называют непустое множество с бинарной операцией « $\cdot$ ».

Это определение очень общее, поэтому обычно изучаются группоиды с некоторыми тождествами. Например, исследуются группоиды с тождеством ассоциативности (полугруппы).

**Определение 2.** Тождества, включающие три переменные, две из которых появляются один раз с обеих сторон уравнения, а одна – дважды с обеих сторон, называются тождествами типа Бола – Муфанг.

Различные свойства тождеств типа Бола – Муфанг в квазигруппах и лупах изучаются в [6, 7, 8, 9].

**Определение 3.** Группоид  $(Q, *)$  называется квазигруппой, если выполняются следующие условия:

$$(\forall u, v \in Q)(\exists! x, y \in Q)(u * x = v \ \& \ y * u = v).$$

Для группоидов исследуется следующая естественная проблема: сколько существует группоидов с некоторыми тождествами малых порядков? Список номеров полугрупп порядков до 8 приведен в [10], список номеров квазигрупп до 11 приведен в [11, 12].

Разработан оригинальный алгоритм и написана соответствующая программа для генерации группоидов малых (2-го и 3-го) порядков с некоторыми тождествами типа Бола – Муфанг, хорошо известными в теории квазигрупп.

Для проверки правильности написанной программы было подсчитано количество полугрупп порядка 3. Полученный результат совпал с хорошо известным: существует 113 полугрупп порядка 3.

Следующие тождества обладают свойством, заключающимся в том, что любое из них определяет коммутативную лупу Муфанг [1, 13, 11, 3] в классе луп: левое (правое) полумедиальное тождество, тождество Котэ и его двойственное тождество,

тождество Манина и его двойственное тождество в классе квазигрупп (тождество  $(*)$  (см. ниже) и его двойственное тождество).

Рассмотрим группоиды с тождеством левой полумедиальности.

**Определение 4.** Левая полумедиальность в группоиде  $(Q, *)$  имеет следующий вид:

$$xx * yz = xy * xz .$$

Брук [1, 13, 3] использует именно это тождество для определения коммутативных луп Муфанг в классе луп.

Существует 10 левых полумедиальных группоидов порядка 2. Существует 7 неизоморфных левых полумедиальных группоидов порядка 2. Первые пять из них являются полугруппами [12].

Всего существует 399 группоидов по-

$*$	1 2	$*$	1 2	$\circ$	1 2	$\cdot$	1 2
1	1 1	1	1 1	1	1 1	1	1 2
2	1 1	2	1 2	2	2 2	2	1 2
$\diamond$	1 2	$\ominus$	1 2	$\bullet$	1 2		
1	1 2	1	2 1	1	2 2		
2	2 1	2	2 1	2	1 1		

рядка 3 с тождеством левой полумедиальности. Аналогичные результаты верны для группоидов с правой полумедиальностью:

$$xy * zz = xz * yz .$$

Ясно, что тождества левой и правой полумедиальности двойственны. Другими словами, они являются (12)-парастрофами друг друга [1, 3].

Группоиды с двойственными тождествами обладают схожими свойствами, включая количество группоидов фиксированного порядка.

Перейдем к рассмотрению группоидов с тождеством Котэ.

**Определение 5.** Тождество Котэ  $x(xy * z) = (z * xx)y$  обнаружено в [8].

Всего существует 6 группоидов порядка 2 с тождеством Котэ, 3 попарно неизоморфных группоидов порядка 2 с тождеством Котэ и 99 группоидов порядка 3 с тождеством Котэ.

Аналогичные результаты верны для группоидов со следующим тождеством:  $(z * yx)x = y(xx * z)$ . Последнее тождество является (12)-парастрофом тождества Котэ.

Рассмотрим особенности группоидов с тождеством Манина.

**Определение 6.** Тождество  $x(y * xz) = (xx * y)z$  является тождеством Манина [14].

Следующее тождество двойственно тождеству Манина:  $(zx * y)x = z(y * xx)$ . С тождеством Манина всего существует 10 группоидов порядка 2, 7 попарно неизоморфных группоидов порядка 2 и 167 группоидов порядка 3.

Для нас интересны были группоиды с тождеством:

$$(xy * x)z = (y * xz)x(*) .$$

Некоторые свойства тождества  $(*)$  приведены в [15, 3]. Следующее тождество является двойственным тождеству  $(*)$ :

$$(xy * x)z = (y * xz)x .$$

С тождеством  $(*)$  всего существует 6 группоидов порядка 2 и 3 попарно неизоморфных группоидов порядка 2. Любой из этих группоидов является полугруппой.

Всего существует 117 группоидов порядка 3 с тождеством (2.4).

Одной из основных задач для нас было определение количества группоидов порядка 3 с некоторыми тождествами. Для расчета количества группоидов порядка 3 с некоторыми тождествами мы использовали список тождеств типа Бола – Муфанг, приведенный в [8]. В таблице представлено количество группоидов порядка 3 с соответствующими тождествами.



## Количество группоидов порядка 3 с некоторыми тождествами

<i>Name</i>	<i>Abbreviation</i>	<i>Identity</i>	<i>Number</i>
<i>Semigroups</i>	<i>SGR</i>	$x(yz) = (xy)z$	113
<i>Extra</i>	<i>EL</i>	$x(y(zx)) = ((xy)z)x$	239
<i>Moufang</i>	<i>ML</i>	$(xy)(zx) = (x(yz))x$	196
<i>LeftBol</i>	<i>LB</i>	$x(y(xz)) = (x(yx))z$	215
<i>RightBol</i>	<i>RB</i>	$y((xz)x) = ((yx)z)x$	215
<i>C – loops</i>	<i>CL</i>	$y(x(xz)) = ((yx)x)z$	133
<i>LC – loops</i>	<i>LC</i>	$(xx)(yz) = (x(xy))z$	220
<i>RC – loops</i>	<i>RC</i>	$y((zx)x) = (yz)(xx)$	220
<i>MiddleNuclearSquare</i>	<i>MN</i>	$y((xx)z) = (y(xx))z$	350
<i>RightNuclearSquare</i>	<i>RN</i>	$y(z(xx)) = (yz)(xx)$	932
<i>LeftNuclearSquare</i>	<i>LN</i>	$((xx)y)z = (xx)(yz)$	932
<i>Comm.Moufang</i>	<i>CM</i>	$(xy)(xz) = (xx)(zy)$	297
<i>AbelianGroup</i>	<i>AG</i>	$x(yz) = (yx)z$	91
<i>Comm.C – loop</i>	<i>CC</i>	$(y(xy))z = x(y(yz))$	169
<i>Comm.Alternative</i>	<i>CA</i>	$((xx)y)z = z(x(yx))$	110
<i>Comm.Nuclearsquare</i>	<i>CN</i>	$((xx)y)z = (xx)(zy)$	472
<i>Comm.loops</i>	<i>CP</i>	$((yx)x)z = z(x(yx))$	744
<i>Cheban 1</i>	<i>C1</i>	$x((xy)z) = (yx)(xz)$	219
<i>Cheban 2</i>	<i>C2</i>	$x((xy)z) = (y(zx))x$	153
<i>Lonely I</i>	<i>L1</i>	$(x(xy))z = y((zx)x)$	117
<i>Cheban I Dual</i>	<i>CD</i>	$(yx)(xz) = (y(zx))x$	219
<i>Lonely II</i>	<i>L2</i>	$(x(xy))z = y((xx)z)$	157
<i>Lonely III</i>	<i>L3</i>	$(y(xx))z = y((zx)x)$	157
<i>Mate I</i>	<i>M1</i>	$(x(xy))z = ((yz)x)x$	111
<i>Mate II</i>	<i>M2</i>	$(y(xx))z = ((yz)x)x$	196
<i>Mate III</i>	<i>M3</i>	$x(x(yz)) = y((zx)x)$	111
<i>Mate IV</i>	<i>M4</i>	$x(x(yz)) = y((xx)z)$	196
<i>Triad I</i>	<i>T1</i>	$(xx)(yz) = y(z(xx))$	162
<i>Triad II</i>	<i>T2</i>	$((xx)y)z = y(z(xx))$	180
<i>Triad III</i>	<i>T3</i>	$((xx)y)z = (yz)(xx)$	162
<i>Triad IV</i>	<i>T4</i>	$((xx)y)z = ((yz)x)x$	132
<i>Triad V</i>	<i>T5</i>	$x(x(yz)) = y(z(xx))$	132
<i>Triad VI</i>	<i>T6</i>	$(xx)(yz) = (yz)(xx)$	1419
<i>Triad VII</i>	<i>T7</i>	$((xx)y)z = ((yx)x)z$	428
<i>Triad VIII</i>	<i>T8</i>	$(xx)(yz) = y((zx)x)$	120
<i>Triad IX</i>	<i>T9</i>	$(x(xy))z = y(z(xx))$	102
<i>Frute</i>	<i>FR</i>	$(x(xy))z = (y(zx))x$	129
<i>CrazyLoop</i>	<i>CR</i>	$(x(xy))z = (yx)(xz)$	136
<i>Krypton</i>	<i>KL</i>	$((xx)y)z = (x(yz))x$	268

Планируется продолжить исследование группоидов с тождествами типа Бола – Муфанг для группоидов других порядков.

### Цитированная литература

1. **Belousov, V. D.** Foundations of the Theory of Quasigroups and Loops / В. Д. Белоусов. – Москва, 1967. – 223 с. – Текст : непосредственный.

2. **Novikov, B. V.** On decomposition of moufang groupoids / B. V. Novikov // Quasigroups and related systems. – 2008. – № 16(1). – P. 97–101.

3. **Shcherbacov, V. A.** Elements of Quasigroup Theory and Applications / V. A. Shcherbacov. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 598 p.

4. **Shcherbacov, V. A.** On some groupoids of order three with Bol-Moufang type of identities / V. A. Shcherbacov, V. D. Chernov, N. N. Malytina // In Proceedings of the Conference on Mathematical Foundations of Informatics MFOI2018, Chisinau, July 2–6, 2018, Chisinau: Moldova, 2018. – P. 17–20.

5. **Shcherbacov, V. A.** On some groupoids of order. / V. A. Shcherbacov, V. D. Chernov, N. N. Malytina // In The Fourt Conference of Mathematical Society of the Republic of Moldova dedicated to the centenary of Vladimir Andrunachievici (1917–1997), Chisinau, June 28 – July 2, 2017, Proceedings CMSM4. – Chisinau: Moldova, 2017. – P. 51–54

6. **Fenyves, F.** Extra loops. II / F. Fenyves // On loops with identities of Bol-Moufang type //

Publ. Math. Debrecen. – 1969. – № 16. – P. 187–192.

7. **Philips, J. D.** The varieties of loops of Bol-Moufang type. / J. D. Philips, P. Vojtechovsky // Algebra Universalis. – 2005. – № 54(3). – P. 259–271.

8. **Cote, B.** Classification of loops of generalized Bol-Moufang type / B. Cote, B. Harvill, M. Huhn, A. Kirchman // Quasigroups Related Systems. – 2011. – № 19(2). – P. 193–206.

9. **Akhtar, R.** The varieties of Bol-Moufang quasigroups defined by a single operations / R. Akhtar, A. Arp, M. Kaminski, J. Van Exel, D. Vernon, C. Washington // Quasigroups Related Systems. – 2012. – № 20(1). – P. 1–10.

10. **Satoh, S.** Semigroups of order 8 / S. Satoh, K. Yama, M. Tokizawa // Semigroup forum. – 1994. – № 49. – P. 7–29.

11. **Pflugfelder, H. O.** Quasigroups and Loops: Introduction // H. O. Pflugfelder. – Berlin: Heldermann Verlag, 1990.

12. Semigroup with two elements. – URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Semigroup\\_with\\_two\\_elements](https://en.wikipedia.org/wiki/Semigroup_with_two_elements) (дата обращения : 25.01.2022).

13. **Bruck, R. H.** Contribution to the theory of loops / R.H. Bruck // Trans. Amer. Math. Soc. – 1946. – № 60. – P. 245–354.

14. **Manin, Yu. I.** Cubic forms / Yu. I. Manin. – Moscow, 1972.

15. **Shcherbacov, V. A.** About commutative Moufang loops / V. A. Shcherbacov // In International algebraic conference dedicated to 100<sup>th</sup> anniversary of L.A. Kaluzhin, Kyiv, July 7–12, 2014, Kyiv: Taras Shevchenko State University, 2014. – P. 78–79.

## ДИДАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ В ФОРМИРОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЕМЫХ

*Е. Г. Шинкаренко, Г. И. Ворническу, Г. Х. Гайдаржи*

*Раскрываются возможности нестандартных задач в формировании компонентов математической грамотности обучающихся. На примерах заданий познавательного, творческого, исследовательского и проблемного характера демонстрируется процесс активизации учебно-познавательной деятельности. Рассматриваются технологии обучения, которые развивают умение работать с информацией, логически мыслить, решать проблемы, аргументировать свое мнение, самообучаться.*

**Ключевые слова:** математическая грамотность, нестандартные задачи, познавательные задачи, исследовательские задачи, технология обучения.

## DIDACTIC POSSIBILITIES OF NON-STANDARD TASKS IN THE FORMATION OF MATHEMATICAL LITERACY OF STUDENTS

*E. G. Shinkarenko, G. I. Vornicescu, G. H. Gaidarzhi*

*The article reveals the possibilities of non-standard tasks in the formation of components of mathematical literacy of students. Using examples of cognitive, creative, research and problem tasks, the process of activating educational and cognitive activity is demonstrated. The use of learning technologies is considered, which develops the ability to work with information, think logically, solve problems, argue your opinion, self-study.*

**Keywords:** mathematical literacy, non-standard tasks, cognitive tasks, research tasks, learning technology.

Математика оказывает огромное влияние на культуру и развитие общества, без нее немислимо развитие технологий и познание природы. Эта наука крайне важна не только для человечества в целом, но и для интеллектуального совершенствования каждого человека. Она организует наше мышление, дает опыт применения различных умственных приемов: от парадоксальных утверждений до моделирования. Язык математики позволяет сформировать связи между словесным, изобразительным и знаковым способом передачи информации. Умение использовать информацию, представленную разными способами, при-

обретает особое значение в современном обществе, в эпоху информатизации. Следовательно, роль математического образования в развитии способности оперировать любыми формами представления информации становится ключевой.

Федеральный государственный образовательный стандарт указывает на необходимость приведения школьного образования в соответствие с потребностями современного общества, которое отличается изменчивостью, многообразием существующих в нем связей. Поэтому в стандарте закреплено понятие «функциональная грамотность» – это способность человека решать стандартные жизненные задачи в различных сферах жизни и деятельности на основе прикладных знаний.

Одним из видов функциональной грамотности является математическая грамотность – способность человека определять и понимать роль математики в мире, высказывать хорошо обоснованные математические суждения и использовать математику так, чтобы удовлетворять в настоящем и будущем потребности, присущие созидательному, заинтересованному и мыслящему гражданину.

Выделяют несколько компонентов математической грамотности:

- воспроизведение математических фактов, методов и выполнение вычислений;
- установление связей и интеграции материала из разных математических тем, необходимых для решения поставленной задачи;
- математические размышления, требующие обобщения и интуиции.

Сложившаяся система обучения дает определенную основу знаний, но слабо формирует у учащихся умение выходить за пределы учебных ситуаций. В соответствии с требованиями современного образования его важнейшей задачей становится усиление прикладной направленности школьного курса математики, т. е. осуществление связи его содержания и методики обучения с практикой. Необходимо изменить приоритеты в школьном образовании, переориентироваться на компетентностный подход, непрерывное самообразование, овладение новыми информационными технологиями, умение сотрудничать, работать в группах и др.

Формирование математической грамотности – сложный, многосторонний и длительный процесс, в котором необходимо сочетать современные образовательные технологии: критического мышления, проблемного обучения, проектную, игровую, информационно-коммуникационную, личностно ориентированную и др.

Рассмотрим особенности ряда технологий.

Целью *технологии критического мышления* является развитие мыслительных навыков учащихся, необходимых не только в учебе, но и в дальнейшей жизни (умение принимать взвешенные решения, работать с информацией, анализировать различные стороны явлений). Использование данной технологии очень эффективно на уроках математики, так как критическое мышление развивает умение анализировать информацию, логически мыслить, решать трудные задачи, аргументировать свои суждения, самообучаться, работать в команде. В процессе обучения учитель и ученик меняются ролями, главная роль принадлежит ученику, а учитель – консультант, помощник. Реализация данной технологии на уроке включает три этапа: вызов, осмысление, рефлексия. Вызов – ученик ставит перед собой вопрос «Что я знаю по данной проблеме?». Осмысление – ученик дает ответы на вопросы, которые сам поставил перед собой на стадии вызова («что хочу знать»). Рефлексия – ученик размышляет и обобщает то, что узнал на уроке по данной проблеме.

Успешность *проблемного обучения* обеспечивается благодаря совместным усилиям учителя и ученика. На уроке осуществляется дидактический прием – создание проблемной ситуации для решения познавательной задачи. Познавательные задачи доступны обучаемым по своей трудности, учитывают их познавательные возможности, находятся в рамках изучаемого предмета и необходимы для усвоения нового материала. Функция обучающихся – активно включиться в открытие неизвестного для себя знания. Основная задача педагога – приобщить учащихся к объективным противоречиям развития научного знания и способам их разрешения. В сотрудничестве с учителем ученики «открывают» для себя новые знания, постигают теоретические особенности разделов математики. Эффективными проблемными методами являются диалогические ме-

тоды: побуждающий и подводящий диалоги.

Использование на уроках *игровой технологии* обеспечивает достижение единства эмоционального и рационального в обучении. Игровые моменты делают процесс обучения более интересным, облегчают процесс преодоления трудностей. Для активизации учебно-познавательной деятельности, развития интереса и творческой активности рекомендуем использовать загадки, ребусы, кроссворды. Таким образом, игровые моменты позволяют сделать напряженный, серьезный труд занимательным и интересным для учащихся.

В целях формирования математической грамотности *информационно-коммуникационная технология* особенно важна. Она предполагает работу с разными источниками информации. Важным преимуществом данной технологии является наглядность, так как большая доля информации для детей школьного возраста усваивается с помощью зрительной памяти, и воздействие на нее очень важно в обучении. Использование различных презентаций должно помочь учащимся определить основные моменты темы.

*Личностно ориентированная технология* предполагает создание на уроке такой учебной ситуации, когда не только осуществляется передача знаний, но и реализуются и формируются личностные особенности обучаемых. Педагог предоставляет учащимся возможность задавать вопросы, предлагать свои идеи и гипотезы, обмениваться мнениями, а это стимулирует их к анализу и дополнению ответов своих одноклассников. Технология создает ситуацию успеха для каждого ученика [1, с. 17–23].

Развивать математическую грамотность с использованием обозначенных технологий надо постепенно, начиная с 5 класса, решая как стандартные, так и нестандартные математические задачи.

Ю. М. Колягин отмечает роль математических задач как в формировании качеств мышления (гибкости, активности, самостоятельности и т. д.), так и в развитии ряда умений и способностей обучающихся. К таковым он относит способность к сильному творческому воображению (умение создавать новые комбинации из известного); способность оценивать ситуацию с различных точек зрения; способность предвидеть промежуточные и конечные результаты деятельности, осуществлять планирование решения проблемы и др. [2, с. 130–136].

Следовательно, учитель должен регулярно включать в уроки познавательные, творческие, проблемные и исследовательские задания, особое внимание уделяя нестандартным заданиям на «изменение и зависимости», «пространство и формы», «неопределенность», «количественные рассуждения» и т. п. Для указанных задач характерно следующее:

– познавательные задачи – неизвестность способа решения; самостоятельность учащихся при добывании новых знаний или новых способов решения проблемы; достаточная сложность для того, чтобы вызвать у учащихся затруднение; посильность для самостоятельного нахождения ответа учащимися; неизвестность результата при известных средствах его достижения;

– творческие задачи – проблема, сформулированная в задаче, может быть явно не определена; условие задачи не содержит указаний о том, какие знания необходимо применить; задача может иметь два или более способов решения; результат задачи и средство его достижения неизвестны;

– проблемные задачи – задача должна ставить учащегося в ситуацию, в которой у него должно появиться удивление и ощущение трудности и желание преодолеть эту трудность; задача содержит в себе элементы, находящиеся в противоречивых отношениях как между собой,

так и с наличными знаниями учащегося; задача порождает в сознании учащегося проблемную ситуацию; задача требует открытия (усвоения) новых знаний, способы решения задачи учащиеся должны найти самостоятельно;

– исследовательские задачи – отсутствие не только алгоритма, но и различного рода алгоритмического предписания; нестандартность формулировки проблемы; нестандартность нахождения способов решения; возможность составления новых задач, вытекающих из решения данной; многовариантность гипотез, способов решения, ответов; применение догадок, эвристик.

В качестве иллюстрации приведем примеры таких задач (с полным или частичным решением) для обучающихся разных классов:

1. Из числа всей ее челяди самым замечательным лицом был дворник Герасим, мужчина двенадцати вершков роста, сложенный богатырем и глухонемой от рождения». (И. С. Тургенев «Муму»). В то время при определении роста человека счет велся от двух аршин (обязательных для обычного взрослого человека). 1 аршин = 71 см. 1 вершок = 45 мм. Каков был рост Герасима?

1) найдем, чему равны 2 аршина в сантиметрах;

2) найдем, сколько миллиметров в 12 вершках;

3) переведем миллиметры в сантиметры;

4) вычислим весь рост Герасима в сантиметрах.

2. Длина шага  $P$  – расстояние между пятками двух следов, следующих друг за другом. Для мужчин формула  $\frac{n}{P} = 140$  демонстрирует примерную зависимость между  $n$  и  $P$ , где  $n$  – количество шагов в минуту,  $P$  – длина шага в метрах. Применяв данную формулу к ходьбе Сергея,

который делает 70 шагов в минуту, определите, какова длина его шага? Запишите ход своих рассуждений.

3. Возьмем предложение «Четыре усталых молчаливых путника долго переждали внезапно разразившуюся грозу» и будем вычеркивать из него слова, но так, чтобы всякий раз получалось правильное предложение (например, нельзя вычеркнуть слово «четыре», но можно вычеркнуть слово «усталых»). Вычеркивать слова можно в разном порядке одно за другим. Сколько существует способов прийти к предложению, из которого уже нельзя вычеркнуть ни одного слова?

Анализ условия показывает, что можно вычеркнуть 5 слов, но при этом необходимо определить последовательность вычеркивания слов, чтобы оставался смысл предложения. Таким образом, задача состоит в следующем: сколькими способами можно поставить в ряд 5 различных предметов так, чтобы первый предмет всегда был раньше второго? Число расстановки 5 предметов в ряд равно  $5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 120$ , из них половина удовлетворяет условию, т. е. 60.

4. Три дроби с числителями 1 и с различными знаменателями в сумме дают 1. Найдите эти дроби.

Анализ условия позволяет сделать вывод, что наибольшая из этих дробей больше  $\frac{1}{3}$ , но меньше 1. Поэтому ее знаменатель меньше 3, т. е. равен 2. Тогда сумма двух остальных дробей равна  $\frac{1}{2}$ . А, следовательно, большая из них больше  $\frac{1}{4}$ , но меньше  $\frac{1}{2}$ , знаменатель ее меньше 4, но больше 2, т. е. он равен 3. Таким образом, искомыми дробями являются  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{6}$ .

5. Даны отрезки длиной 7 см и 12 см. Сколькими способами из этих отрезков можно составить отрезок длиной 1 м?



Введем некоторые обозначения. Пусть  $a$  – число отрезков длиной 7 см, а  $b$  – число отрезков длиной 12 см. По условию необходимо составить отрезок, длина которого равна 100 см, т. е. получаем равенство  $7a + 12b = 100$ .

Замечаем, что 12 и 100 делятся на 4, следовательно  $a$  тоже должно делиться на 4, причем  $a < 15$ , так как  $7 \cdot 15 > 100$ . Тогда число  $a$  может быть равно 4, 8 или 12. Проверив эти значения подстановкой в исходное равенство, получаем, что  $a = 4$ ,  $b = 5$ . Делаем вывод: задача имеет единственное решение.

6. На столе стоят 35 тарелок: 20 – вверх дном, 15 – вниз дном. Разрешается взять любые две тарелки и перевернуть их. Можно ли за несколько таких переворачиваний получить весь набор тарелок вверх дном? Дать обоснование ответа.

Выполнить это условие невозможно, так как число тарелок, лежащих дном вниз, после каждого переворачивания остается нечетным.

7. На плоскости взяты 9 точек, расположенных в виде квадрата  $3 \times 3$ .

Сколько существует треугольников, у которых одна вершина находится в точке  $A$ , а две другие – в остальных 8 точках?

При решении данной задачи необходимо рассмотреть все возможные варианты расположения точки  $A$  (учитывая, что три точки не должны лежать на одной прямой). Таким образом, определяется три варианта и, соответственно, существует 24, 25, 26 треугольников.

8. Решите уравнение  $(\sqrt{12})^{2x} + 5^x = 13^x$ .

Указание: преобразовать уравнение так, чтобы правая часть была равна 1.

А далее, с учетом монотонности функций, находим  $x = 2$ .

9. При каком значении параметра « $a$ » сумма квадратов корней уравнения  $x^2 + ax + a - 2 = 0$  будет наименьшей?

Пусть  $f(a) = f(x_1^2 + x_2^2)$ , тогда

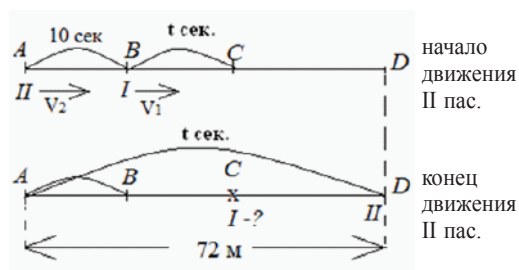
$$f(a) = f(x_1^2 + x_2^2) = (x_1 + x_2)^2 - 2x_1x_2 = (-a)^2 - 2 \cdot (a - 2)$$

или  $f(a) = a^2 - 2a + 4 = (a^2 - 2a + 1) + 3 = (a - 1)^2 + 3 \Rightarrow \min f(a) = 3$  при  $a = 1$ .

Сумма квадратов корней данного уравнения будет наименьшей и равной 3 при  $a = 1$  (так как  $a - 1 \geq 0$  при  $\forall a \in R$ ).

10. Два пассажира спускаются по эскалатору длиной 72 м. Скорость движения эскалатора – 3 км 240 м за 1 час. Первый пассажир стал на эскалатор и спокойно спускался, а через 10 с стал спускаться второй пассажир, который торопился и двинулся со скоростью 1 м 5 дм в секунду относительно эскалатора, обгоняя первого пассажира. На каком расстоянии от конца эскалатора будет первый пассажир в момент схода с эскалатора на платформу второго пассажира?

Указание: для решения этой задачи надо сначала преобразовать скорости движения пассажиров и эскалатора в метры за 1 секунду, т. е. скорость эскалатора  $3240:3600 = 0,9$  м/с, а собственная скорость второго пассажира – 1,5 м/с без учета скорости эскалатора. Затем изобразить графически позиции второго пассажира в начале движения и в конце движения по эскалатору.



Таким образом, получаем, что первый пассажир находился в середине эскалатора в момент схода второго пассажира на платформу, т. е. ответ – 36 м.

11. Найти все целые числа  $x$  и  $y$ , для которых выполняется равенство  $2xy + x + y = 83$ .



Для решения выполним следующее преобразование: умножим обе части уравнения на 2 и прибавим к обеим частям число 1. Тогда левую часть уравнения можно представить в виде произведения  $(2x + 1)(2y + 1) = 167$ .

Так как число 167 простое, то его можно разложить на целые множители четырьмя способами:

$$\begin{aligned} 167 &= 167 \cdot 1 = 1 \cdot 167 = \\ &= (-1) \cdot (-167) = (-167) \cdot (-1). \end{aligned}$$

Следовательно, рассматриваем четыре варианта:

$$\begin{aligned} (2x + 1) &= 167, \text{ тогда } (2y + 1) = 1; \\ (2x + 1) &= 1, \text{ тогда } (2y + 1) = 167; \\ (2x + 1) &= -1, \text{ тогда } (2y + 1) = -167; \\ (2x + 1) &= -167, \text{ тогда } (2y + 1) = -1. \end{aligned}$$

Получаем четыре решения уравнения:  $(0; 83)$ ,  $(83; 0)$ ,  $(-1; -84)$ ,  $(-84; -1)$ .

12. При каких натуральных  $n$  сократима дробь  $\frac{n^4 + 6n^3 + 13n^2 + 12n + 3}{n^4 + 6n^3 + 15n^2 + 18n + 8}$ ?

Чтобы определить, на какое выражение можно сократить данную дробь, надо и числитель, и знаменатель разложить на множители.

Получим

$$\begin{aligned} n^4 + 6n^3 + 13n^2 + 12n + 3 &= \\ = (n^4 + 6n^3 + 9n^2) + 4n^2 + 12n + 3 &= \\ = (n^2 + 3n)^2 + 4(n^2 + 3n) + 3 &= \\ = (n^2 + 3n + 1)(n^2 + 3n + 3) &= \\ = n^4 + 6n^3 + 15n^2 + 18n + 8 &= \\ = (n^4 + 6n^3 + 9n^2) + 6n^2 + 18n + 8 &= \\ = (n^2 + 3n)^2 + 6(n^2 + 3n) + 8 &= \\ = (n^2 + 3n + 2)(n^2 + 3n + 4). \end{aligned}$$

Анализируя полученные произведения, замечаем, что числа  $n^2 + 3n + 1$  и  $n^2 + 3n + 3$  взаимно просты с числом  $n^2 + 3n + 2$ , так что числитель данной дроби не имеет общих делителей с первым множителем знаменателя. Аналогично получаем, что числа  $n^2 + 3n + 3$  и  $n^2 + 3n + 4$  тоже взаимно просты, и поэтому сокращение дроби можно выполнить только если есть общие делители чисел  $n^2 + 3n + 1$  и  $n^2 + 3n + 4$ . Пусть  $d \neq 1$  – общий делитель этих чисел, тогда их разность, равная 3, делится на  $d$ , т. е.  $d = 3$ . Тогда и  $n^2 + 1$  должно делиться на 3, а это не выполняется ни при каком  $n$ .

Делаем вывод: данная дробь несократима ни при каком  $n$ .

13. Доказать, что при произвольном  $a$  существует треугольник со сторонами

$$\sqrt{a^2 - a + 1}, \sqrt{a^2 + a + 1}, \sqrt{4a^2 + 3}$$

и площадь этого треугольника не зависит от  $a$ .

Чтобы доказать факт существования такого треугольника, достаточно проверить свойство сторон треугольника, т. е. что наибольшая из данных сторон меньше суммы двух других, а именно:

$$\sqrt{4a^2 + 3} < \sqrt{a^2 - a + 1} + \sqrt{a^2 + a + 1}.$$

Возведем неравенство в квадрат и преобразуем его, получим  $2a^2 + 1 < 2\sqrt{a^4 + a^2 + 1}$ . Возведем данное неравенство в квадрат и получим верное числовое неравенство, следовательно, условие существования треугольника доказано.

По теореме косинусов найдем косинус наибольшего угла.

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= -\frac{2a^2 + 1}{2\sqrt{a^2 - a + 1}\sqrt{a^2 + a + 1}} = \\ &= -\frac{2a^2 + 1}{2\sqrt{a^4 + a^2 + 1}}. \end{aligned}$$

Теперь найдем синус этого угла

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{a^4 + a^2 + 1}}.$$

Далее находим площадь данного треугольника

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + a + 1} \sqrt{a^2 - a + 1} \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{4}.$$

Мы доказали, что площадь треугольника не зависит от  $a$ .

14. Какие целые значения принимает дробь  $\frac{x^2 + x + 1}{xy - 1}$ , если  $x$  и  $y$  натуральные числа?

Введем обозначение, пусть

$$\frac{x^2 + x + 1}{xy - 1} = u -$$

целое число. Тогда, умножив обе части на  $y$ , получим

$$uy = \frac{yx^2 + ux + y}{xy - 1} = x + 1 + \frac{x + y + 1}{xy - 1}.$$

Следовательно, дробь  $\frac{x + y + 1}{xy - 1}$  является целым числом, тогда  $x + y + 1 \geq xy - 1$ , откуда  $(y - 1)x \leq y + 2$ .

Анализ неравенства и условий показывает следующее:

$$\text{если } y = 1, \text{ то } u = \frac{x^2 + x + 1}{x - 1} = x + 2 + \frac{3}{x - 1}.$$

Следовательно, 3 делится на  $x - 1$ , откуда получаем, что  $x$  равен или 2, или 4 и  $u$  равен 7.

$$\text{Если } y - 1 > 0, \text{ то } x \leq \frac{y + 2}{y - 1} = 1 + \frac{3}{y - 1}.$$

Так как  $\frac{3}{y - 1} \leq 3$ , то  $x \leq 4$ . Подставляя  $x = 1; 2; 3; 4$  получаем, что  $u = \frac{3}{y - 1}$ ,

$$u = \frac{7}{2y - 1}, \quad u = \frac{13}{3y - 1}, \quad u = \frac{21}{4y - 1}. \quad \text{Откуда}$$

следует, в первом случае  $y = 2$  или 4, а  $u = 3$  или 1; во втором случае  $y = 1; 4$  и  $u = 7; 1$ ; в третьем случае натуральных решений нет; в четвертом случае  $y = 1; 2$ , а  $u = 7; 3$ .

Таким образом, исходная дробь для натуральных  $x$  и  $y$  принимает целые значения, равные 1, 3, 7.

15. Доказать, что если  $5x + 2y$  делится на 17, то  $9x + 7y$  тоже делится на 17.

Преобразуем данные выражения  $2(9x + 7y) = 7(5x + 2y) - 17x$ . Так как по условию  $5x + 2y$  делится на 17 и  $17x$  делится на 17, то и вся правая часть равенства делится на 17. А следовательно, и левая часть равенства делится на 17. Так как 2 и 17 взаимно простые числа, то выражение  $9x + 7y$  делится на 17, что и требовалось доказать.

Эти задания можно использовать по усмотрению учителя: в качестве игрового момента для активизации школьников; как проблемную ситуацию на уроке; как задания, устанавливающие межпредметные связи в образовательном процессе; как задания на формулировку своей точки зрения и аргументов для ее защиты, как задания для внеклассного мероприятия, для подготовки к олимпиадам. Систематизировав задания по определенному свойству, можно создать элективный курс.

Используя подобные задачи, педагог постепенно формирует математическую грамотность обучающихся. Универсальные учебные действия по формированию математической грамотности наполняются следующими умениями учащихся: находить и извлекать математическую информацию в различном контексте; применять математические знания для решения разного рода проблем; формулировать математическую проблему на основе анализа ситуации; интерпретировать и оценивать математические данные в контексте лично значимой ситуации.

## Цитированная литература

1. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учебное пособие для студентов педагогических вузов и системы повышения квалификации педагогических кадров / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Моисеева, А. Е. Петров; под редакцией Е. С. Полат. – Москва: Издательский центр «Академия», 2003. – 272 с. – Текст : непосредственный.

2. Методика преподавания математики в средней школе. Общая методика: учебное пособие для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов / Ю. М. Колягин, В. А. Оганесян, В. Я. Саннинский, Г. Л. Луканкин. – Москва: Просвещение, 1975. – 462 с. – Текст : непосредственный.

3. Балаян, Э. Н. 1000 лучших олимпиадных и занимательных задач по математике: 5–11 классы / Э. Н. Балаян. – [Изд. 2-е.]. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2018. – 365 с. – Текст : непосредственный.

4. Шинкаренко, Е. Г. Нестандартные математические задания в основной школе : учебно-методическое пособие / Е. Г. Шинкаренко, Г. Х. Гайдаржи [и др.]; под редакцией Г. Х. Гайдаржи. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2019. – 144 с. – Текст : непосредственный.

5. Гайдаржи, Г. Х. Параметрические задания в курсе школьной математики как средство формирования исследовательских умений школьников: учебно-методическое пособие / Г. Х. Гайдаржи, Е. Г. Шинкаренко. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2016. – 164 с. – Текст : непосредственный.

УДК 004.9

## ВЕБ-САЙТ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МАТЕМАТИКЕ

Л. А. Тягульская, Е. С. Гарбузняк

*Продемонстрированы возможности разработанного веб-сайта для размещения контрольно-измерительных материалов по математике, описаны структура, принцип и особенности работы сайта, а также инструменты и технологии, использованные при его разработке.*

**Ключевые слова:** парсинг, база данных, веб-сайт, контрольно-измерительные материалы, единый государственный экзамен.

## THE WEBSITE FOR POSTING CONTROL AND MEASURING MATERIALS IN MATHEMATICS

L. A. Tyagulskaya, E. S. Garbuznyak

*The article demonstrates the capabilities of the developed website for placing tests and measurement materials in mathematics, describes the structure, principle and features of the site, as well as the tools and technologies used in its development.*

**Keywords:** parsing, database, website, control and measurement materials in mathematics, unified state exam.

В последние годы наблюдается активизация процесса реформирования нормативно-правового регулирования образовательных отношений. Государство модернизирует образовательную сферу, внося при этом изменения в законодательство. Принципиальные коррективы были внесены прежде всего в систему оценки качества знаний выпускников школ.

Существует множество форм оценки качества знаний выпускников школ, но на сегодняшний день наиболее распространенным в российских и приднестровских школах является единый государственный экзамен (ЕГЭ). ЕГЭ представляет собой форму заданий контрольно-измерительного материала, разделенного на две части: решение задач с кратким ответом и решение задач с развернутым ответом.

В рамках группового проекта со студентами направления «Программная инженерия» (профиль «Разработка программно-информационных систем») на кафедре информатики и программной инженерии Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко разработан веб-сайт по подготовке к ЕГЭ для размещения контрольно-измерительных материалов по математике с использованием технологий *CSS3*, *HTML5*, *Python*, библиотеки *requests* и *beautifulsoup*, *MySQL*, *PHP* и *Denwer*.

Перед разработкой собственного веб-сайта выполнен обзор существующих аналогов по подготовке к ЕГЭ, среди которых можно выделить: сайт «Решу ЕГЭ», сайт «Яндекс Репетитор», сайт-тренажер «Час ЕГЭ», сайт контрольно-измерительных материалов по математике «Республиканский институт контроля знаний», сайт государственного учреждения «Центр экспертизы качества образования» Министерства просвещения Приднестровской Молдавской Республики [1–5]. Рассмотренные сайты предоставляют информацию об итоговой государственной аттестации, некоторые из них – возможность пройти тестирование.

Однако большинство аналогов являются узконаправленными и предоставляют информацию исключительно о деятельности организаций, обеспечивающих экспертизу качества образования, разделяются по способу прохождения тестирования и материалов тематического консультирования.

Таким образом, были выделены следующие задачи при создании сайта для размещения контрольно-измерительных материалов по математике:

1. Для администраторов веб-сайт должен обладать гибкостью, удобной системой управления и структурой.

2. Для пользователей ресурс должен быть максимально простым, с возможностью распечатки необходимых материалов и разделом обратной связи, в котором можно задавать интересующие вопросы и получать ответы в кратчайшие сроки.

3. Веб-сайт должен содержать систему управления содержанием, которая позволит вносить изменения с возможностью разграничения прав доступа к содержимому без помощи технических специалистов.

4. Веб-сайт должен отвечать свойству кроссбраузерности. Необходимо обеспечить его корректное отображение и правильную работу на всех устройствах.

На первом этапе выполнения группового проекта был проведен парсинг данных сайта «Центр экспертизы качества образования» Министерства просвещения Приднестровской Молдавской Республики для получения заданий по математике как в текстовом формате, так и в формате *html*. Для этого разработаны три программы, которые запускаются независимо друг от друга, но каждая продолжает работу предыдущей и позволяют произвести: групповое скачивание, пакетное распознавание изображений с указанного ранее сайта и обработку заданий с картинками.

Вторым этапом стало создание базы данных. Изначально она была сформиро-

вана при помощи заданий в виде фотографий, так как в их содержании присутствует большое количество формул, которые не способны обработать программы для парсинга. Однако в дальнейшем задания были преобразованы путем парсинга и объединены с общей базой данных веб-сайта для размещения контрольно-измерительных материалов.

Процесс обработки информации, введенной пользователем и предоставляемой ему, продемонстрирован в виде схемы на рис. 1.

Файл *index.php* является основой, так как с его помощью передаются все остальные данные на сервер. Указанный файл взаимодействует с блоками «База заданий» и «База ответов», а также с блоком «База результатов» через вспомогательный файл с расширением *php*.

Блок «База заданий» представляет собой каталог всех контрольно-измерительных материалов, которые случайным

образом объединяются в один готовый вариант. Они связаны с адресами фотографий, содержащих тестовые задания.

Блок «База ответов» предложен в виде структурированной таблицы с ответами на все требуемые задания. В данном блоке пользователь вводит свой ответ, а программа проверяет его правильность.

Блок «База результатов» отвечает за вывод на экран всех операций, проведенных пользователем, а также за их сохранение. Кроме того, этот блок через вспомогательный файл взаимодействует с формой, которую необходимо заполнить пользователю, а введенная информация впоследствии сохраняется на сервере.

На третьем этапе выполнения группового проекта с учетом перечисленных ранее задач в выбранном шаблоне для веб-сайта были осуществлены следующие действия: настроены основные параметры главной страницы и параметры для прохождения пробных тестов и тестов в

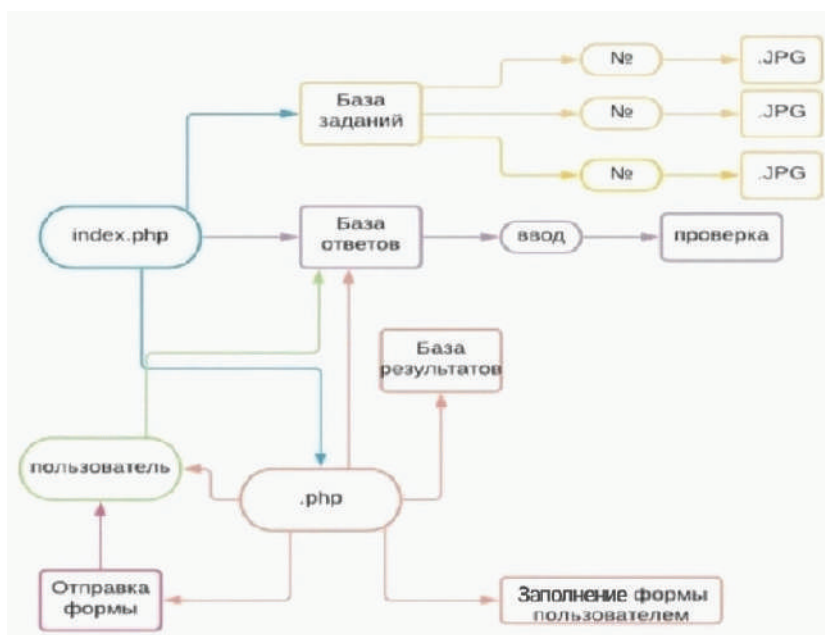


Рис. 1. Схема процесса обработки информации

случайном порядке, установлены необходимые дополнения и создано меню.

На рис. 2 представлена главная страница разработанного сайта. Главное меню сайта расположено в верхней части экрана, содержит всю необходимую пользователю информацию и включает 4 раздела: «Главная», «Личная информация», «Вход», «Регистрация». Для удобства здесь же размещена таблица с указанием минимального порога и шкалы баллов по каждому общеобразовательному предмету.

Внизу страницы в разделе сайта «Личная информация» пользователь может для обратной связи заполнить специальные поля и отправить сообщение (рис. 3, а), а также увидеть на карте месторасположение Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко и контактную информацию: адрес, телефон, график работы учреждения (рис. 3, б).

Раздел «Вход» предусмотрен для зарегистрированных пользователей, которые имеют свой личный кабинет, а раздел «Регистрация» позволяет создать новую учет-

ную запись (рис. 4), которая обязательна для прохождения тестирования в онлайн-режиме.

Контрольно-измерительные материалы по математике представлены в виде тестовых заданий, которые разделены на задачи: расчетные, поисковые, аналитические, графические. Тестовые задания подразделены на блоки по уровням усвоения учебного материала и представлены в двух формах: открытой и закрытой. При прохождении заданий у пользователя может появляться список с выбором одного или нескольких ответов либо поле для ввода ответа с помощью клавиатуры. Тесты размещены в порядке возрастающей трудности.

Раздел «Тесты» включает две оболочки: пробные тесты и тесты в случайном порядке. На рис. 5 и 6 приведены примеры пробного варианта и варианта, в котором тестовые задания сформированы случайным образом, однако данный раздел меню доступен только зарегистрированным пользователям.

**ЕГЭ - основная форма государственной (итоговой) аттестации выпускников школ.**

Главная Личная информация Вход Регистрация

пользователь: гость, роль: any

На сайте опубликованы контрольно-измерительные материалы Государственной итоговой аттестации.

В ходе тестирования Вы:

- ознакомитесь с тематикой тестовых заданий;
- проверите уровень знаний на данном этапе;
- наметите пути более эффективной подготовки к экзаменам и устранения пробелов в знаниях по ранее изученному материалу;

Репетиционное тестирование будет проводиться по материалам, предоставленным ЦЕКО ПМР. Обработка бланков ответов и расчет результатов будет осуществляться по установлению минимального количества баллов единого государственного экзамена.

У пользователей есть возможность пройти пробные тесты без регистрации. После прохождения теста результаты НЕ СОХРАНЯТСЯ без регистрации или входа на свой аккаунт. Так же у пользователей, которые прошли этап регистрации есть возможность проходить тесты в неограниченном размере, с проверкой своих знаний и итоговым результатом. Тесты будут автоматически сохраняться в разделе «Личная информация». После истечения времени выделенным на тест, тест будет завершаться автоматически или его можно завершить самостоятельно.

**Пробные тесты:**

	Тест 1	Тест 2	Тест 3
<b>Предметы</b>	<b>Всего заданий</b>	<b>Всего первичных баллов</b>	<b>Минимальный порог</b>
Математика	21	33	5
Русский	27	58	15
			"3" "4" "5"
			5-11 12-16 17-33
			15-33 34-45 46-58

Рис. 2. Главная страница сайта



а

**О нас**

На сайте находятся тестовые варианты, краткая справочная информация о ЕГЭ, а также руководства по использованию сайта. Проект "Формирование базы данных образовательного сайта" создан в 2021 году и активно развивается. Наша команда — это студентки РФ ПГУ, следуя нашим задачам мы стремимся сделать проект лучше, чтобы обучение было для вас увлекательным и эффективным, а результаты превысили все ваши ожидания. Миссия проекта — создать и развить современную высокотехнологичную обучающую онлайн платформу и предоставить пользователям тестовые варианты в случайном порядке.

**Свяжитесь с нами**

Имя

Email

Сообщение

б

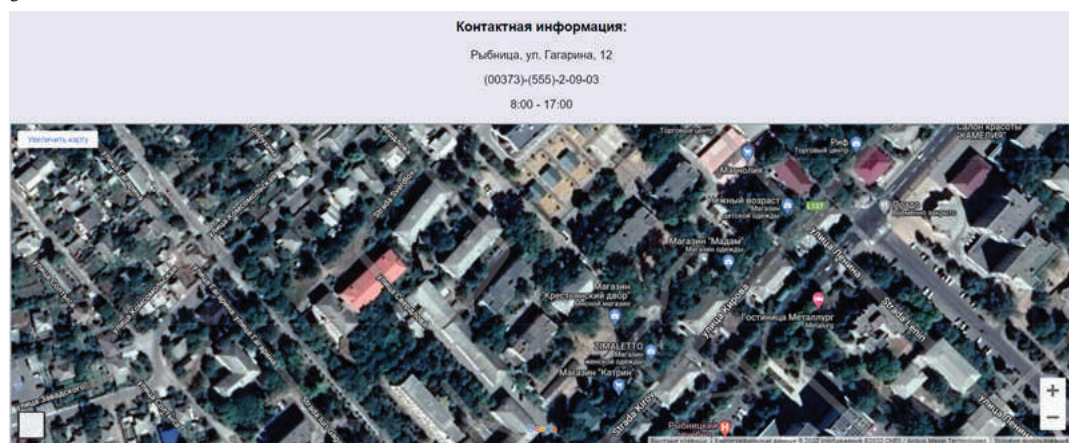


Рис. 3. Раздел меню «Личная информация»:  
а – область для обратной связи; б – карта и контактные данные

В процессе выполнения теста пользователь выполняет задания в любой последовательности, при необходимости допускается переходить от задания к заданию и изменять ранее внесенный ответ. Также настроен учет времени прохождения теста. Система предупреждает об окончании времени, отведенного на тест, за 15 и 5 минут.

Прежде чем приступить к выполнению теста, зарегистрированный пользователь обязан: проверить доступ к защищенному каналу связи для получения контрольно-измерительных материалов и иной документации, необходимой для прохождения теста; проверить наличие и работоспособность компьютера, имеющего стабильное интернет-соединение и с



Рис. 4. Раздел «Регистрация»

Рис. 5. Пробный вариант № 1

установленным специализированным программным обеспечением; проверить системные настройки даты и времени.

Переход на этап завершения теста выполняется автоматически по истечении времени, которое отображается на экране,

и досрочно при активации кнопки «Завершить тест». В таком случае выполняется переход на страницу подтверждения досрочного завершения, на которой отображается информация о сохраненных ответах на тестовые задания. При необхо-



Рис. 6. Случайный вариант

димости ученик может вернуться на этап прохождения теста путем нажатия кнопки «Вернуться к вводу ответов».

После завершения теста остаются доступными материалы тематического консультирования, содержащие задания, для выполнения которых необходимо большее количество времени, чем отведено на прохождение теста.

Подводя итоги, можно отметить, что при помощи разработанного веб-сайта для размещения контрольно-измерительных материалов по математике можно оценить качество знаний выпускников школ и подготовить к успешной сдаче единого государственного экзамена. На данный момент работа над проектом, совершенствование и добавление функциональных возможностей веб-сайта продолжаются. В дальнейшем планируется настройка автоматической отправки теста на проверку, подключение дополнительных предметов, включенных в ЕГЭ, размещение вебинаров и дополнительных материалов.

## Цитированная литература

1. Решу ЕГЭ : [сайт]. – Москва, 2011. – URL : <https://ege.sdangia.ru/> (дата обращения: 14.02.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст : электронный.
2. Яндекс Репетитор : [сайт]. – Москва, 2018. – URL : <https://yandex.ru/tutor/ege> (дата обращения: 14.02.2021). – Режим доступа : свободный. – Текст : электронный.
3. Час ЕГЭ : [сайт]. – Воронеж. – URL : <https://math.vsu.ru/chas-ege/sh/polnmat.html> (дата обращения: 13.02.2021). – Режим доступа : свободный. – Текст : электронный.
4. Республиканский институт контроля знаний : [сайт]. – Минск, 2000. – URL : <https://rikz.by/about/31-dokumenty-rikz.html> (дата обращения: 11.02.2021). – Режим доступа : свободный. – Текст : электронный.
5. Информационный портал единого государственного экзамена : [сайт]. – Тирасполь, 2010. – URL : <https://ceko-pmr.org> (дата обращения: 15.02.2021) – Режим доступа : свободный. – Текст : электронный.

## ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

УДК 544.654.2

### ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА С ВОЛЬФРАМОМ ИЗ БОР-ГЛЮКОНАТНОГО И ЦИТРАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТОВ

*В. В. Данильчук*

*Исследовано влияние природы анода (растворимого (Fe, Co, W) и нерастворимого (Pt, графит)) на скорость осаждения и состав Co-W и Fe-W покрытий. Показано, что наблюдаемое влияние обусловлено анодным окислением металла-осадителя. Помимо возможного окисления на аноде, комплекс «металл-осадитель» является катализатором восстановления W и катализатором осаждения Co и Fe через образование соответствующих интермедиатов.*

**Ключевые слова:** индуцированное соосаждение, электроосаждение, микротвердость, растворимый анод, нерастворимый анод.

### ELECTRODEPOSITION OF IRON GROUP METAL ALLOYS WITH TUNGSTEN FROM BORON-GLUCONATE AND CITRATE ELECTROLYTES

*V. V. Danilchuk*

*The impact of the anode material on the rate of electrodeposition of Co-W and Fe-W alloy coatings is studied (Fe, Co and W soluble anodes and Pt and graphite insoluble anodes are addressed). The effects associated with the anode material are attributed to anodic oxidation of the precipitating metal. In addition to its likely oxidation at the anode, this complex catalyzes reduction of W-containing species and acts as a precursor for the deposition of Co and Fe through the formation of the corresponding intermediates.*

**Keywords:** induced codeposition, electrodeposition, microhardness, soluble anode, insoluble anode.

Электроосаждение сплавов металлов группы железа (Fe, Co, Ni) с тугоплавкими металлами (W, Mo, Re) представляет значительный интерес в плане применения как получаемых объемных материалов и структур в качестве упрочняющих, антикоррозионных, магнитных, каталитически

активных покрытий и слоев, так и квазиодномерных структур (нанопроволок, нанотрубок, нанолент и т. д.) [1, 2]. Неоднократно отмечалось, что электроосаждение этих сплавов обладает существенными особенностями [1]. Одна из них заключается, в частности, в том, что, например вольфрам, нельзя осадить из водного раствора, в то время как при введении в электролит

соли металла группы железа можно получить сплав с содержанием вольфрама до 50 % (масс.). Подобный вид электроосаждения получил название индуцированного соосаждения [1–4].

К особенностям электроосаждения рассматриваемых материалов можно отнести и наличие у получаемых поверхностей макроскопического размерного эффекта свойств (например, микротвердости) [6–9]. Проявляется это в том, что микротвердость покрытия зависит не только от состава электролита, его температуры, pH, плотности тока (потенциала), но и от площади поверхности, на которую осуществляется осаждение. Фактически это означает, что свойство (микротвердость), помимо общеизвестных в электрохимии параметров управления им, определяется также объемной плотностью тока (ОПТ), поскольку при увеличении площади поверхности и сохранении постоянной плотности тока и объема электролита увеличивается ОПТ.

Работа посвящена исследованию влияния анодных процессов на скорость электроосаждения и свойства Co-W покрытий, получаемых из бор-глюконатного электролита, и Fe-W – из цитратного электролита, определению природы влияния и условий использования анодов с целью управления скоростью и свойствами Co-W и Fe-W сплавов.

**Методика исследования.** В качестве базовых использовались следующие электролиты с составом:

1) бор-глюконатный для осаждения Co-W покрытий, (моль/л):  $\text{CoSO}_4$  – 0,053;  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  – 0,05;  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NaO}_7$  (глюконат натрия) – 0,55;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 0,65;  $\text{NaCl}$  – 0,51, pH 6,5;

2) цитратный для осаждения Fe-W покрытий, (моль/л):  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,4; лимонная кислота – 0,17; цитрат натрия – 0,33 при pH 6,9.

Для электроосаждения необходимых покрытий использовались следующие аноды:

– графитовый анод марки ТМ-3 площадью поверхности  $80 \text{ см}^2$ , величина анодной плотности тока менялась в пределах  $12,5 \cdot 10^{-3}$ – $62,5 \cdot 10^{-2} \text{ mA/cm}^2$ ;

– платиновый анод (платинированный титан), изготовлен в виде решетки общей площадью  $10 \text{ см}^2$ , плотность анодного тока поддерживалась равной  $1 \text{ mA/cm}^2$ ;

– составной растворимый кобальт-вольфрамовый анод. В качестве вольфрамового анода использовали вольфрамовые стержни диаметром 3 мм, а в качестве кобальтового анода – электролитический кобальт, осажденный на графитовые стержни диаметром 6 мм. При этом поддерживалась плотность тока на кобальтовом аноде  $22 \text{ mA/cm}^2$ , а на вольфрамовом –  $2,1 \text{ mA/cm}^2$ ;

– железный анод (сталь Ст3), величина анодной плотности тока менялась в пределах 5–100  $\text{mA/cm}^2$ .

Ряд экспериментов проведен в ячейке Хулла с вращающимся цилиндрическим электродом (ВЦЭ), а также в ячейке с разделенными анодным и катодным пространствами с графитовым анодом. В качестве разделения использовали микрофильтрационную мембрану (MF, производство г. Дубна (Россия), средний диаметр пор 0,74 мкм и 0,42 мкм).

Исследование влияния анодных процессов осуществляли потенциостатическим электроосаждением сплава на платиновом проволочном электроде при потенциале – 1,05 В в условиях длительного (2 часа) электролиза с различными анодами (Pt, Ст3, графит) с последующим потенциостатическим контролем плотности предельного диффузионного тока восстановления цитратного комплекса железа Fe(III). Плотность тока восстановления определяли при потенциале – 0,5 В.

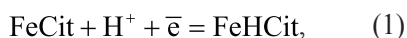
Концентрацию железа в процессе электролиза измеряли спектрофотометрически.

Микротвердость измеряли при помощи микротвердомера ПМТ-3 (ЛОМО, Россия) при вдавливании алмазного индентора

Виккерса с нагрузкой 100 г, время воздействия на измеряемую поверхность 10 с.

**Результаты исследования.** На циклической вольтамперограмме (ЦВА) выделяется несколько значений потенциалов ( $E_1$ ,  $E_2$  и  $E_3$ ), связанных с протеканием определенных окислительно-восстановительных процессов (рис. 1).

Потенциал  $E_1$  – это формальный редокс-потенциал реакции:



где Cit – трехзарядный цитрат-анион. Применительно к процессу окисления-восстановления в нейтральной среде можно записать:



В интервале потенциалов происходит восстановление цитратного комплекса Fe (III) до соответствующего комплекса Fe (II).

Предельная плотность тока восстановления окисленной формы цитратного комплекса  $i_{d,r1}$  (рис. 1), согласно [5], является предельной диффузионной. При росте потенциала в катодном направлении возмож-

но восстановление собственно цитрат-иона с предельным током  $i_{d,r2}$  (потенциал полуволны  $E_2$ , рис. 1). При низких плотностях тока (рис. 1) определяющую роль будет играть  $i_{redox}$ , следствием чего должно быть снижение выхода по току осаждения сплава вплоть до нуля, поскольку основным побочным процессом при этом будет процесс восстановления комплекса Fe(III) без образования сплава.

Плотность тока  $i$  при электроосаждении сплава зависит от используемого анода (рис. 2, а).

Наблюдаемое влияние природы анода связано с различной скоростью окисления восстановителей (восстановленных цитратных комплексов Fe, возможных смешанных железо-вольфрамовых комплексов, продуктов восстановления цитрат-иона). Видно (рис. 2, б) как возрастает скорость побочного процесса в зависимости от материала анода [6].

На примере электроосаждения Fe-W покрытий из цитратного электролита показано, что окисление Fe(II) происходит не только вследствие анодного процесса, но и в растворе, причем как растворенным кислородом, так и лигандом; совокупность про-

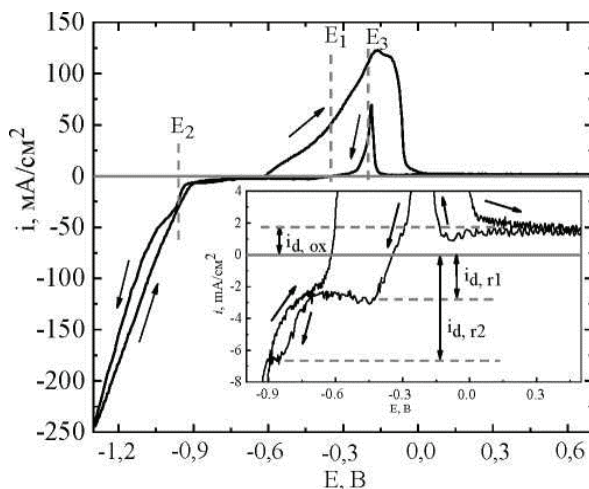


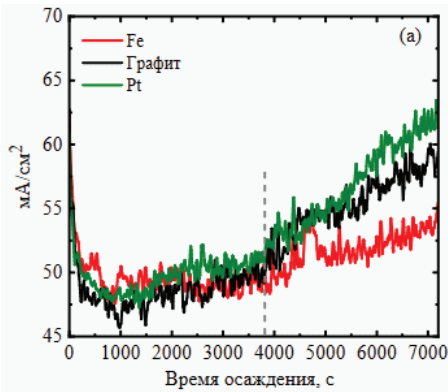
Рис. 1. Циклическая вольтамперограмма электроосаждения и электрорастворения Fe-W сплава на Pt электроде при скорости сканирования 10 мВ/с

процессов окисления металла-осадителя приводит к увеличению скорости побочного катодного процесса восстановления Fe(III).

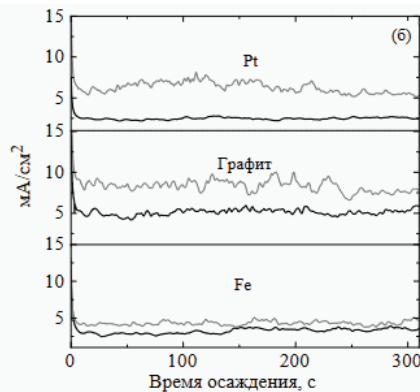
При увеличении степени эксплуатации  $Q$  изменяется концентрация соответствующих комплексов (кобальтовых, кобальт-вольфрамового, железо-вольфрамового), а также их соотношение. Для проведения электроосаждения применяли ячейку Хулла с ВЦЭ [8].

Представленные на рис. 3 результаты измерений выходов по току при использовании нерастворимого графитового анода показывают, что интегральные значения скорости осаждения: а) увеличиваются с ростом скоростей вращения ВЦЭ; б) практически по линейному закону уменьшаются с ростом  $Q$  (степени эксплуатации электролита, А · ч/л).

На рис. 4 представлены результаты влияния  $Q$  на выход по току при фиксированном потенциале.



**а**



**б**

Рис. 2. Изменение катодной плотности тока осаждения сплава во времени на платиновом катоде при потенциале 1,05 В (а) и скорости восстановления при потенциале 0,5 В для различных анодов в двух случаях (б): черные линии – из свежего электролита, серые – после 2 часов электролиза

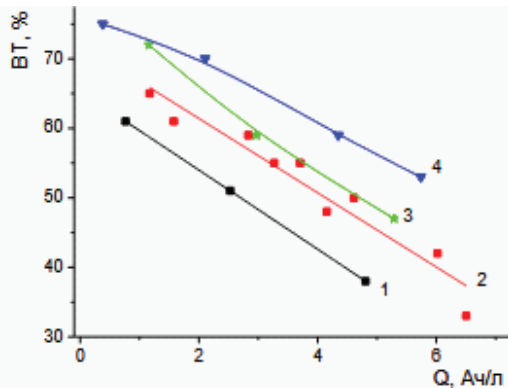


Рис. 3. Зависимость выхода по току от степени эксплуатации электролита  $Q$  при скоростях вращения ВЦЭ 0 (1), 270 (2), 410 (3), 570 (4) об/мин

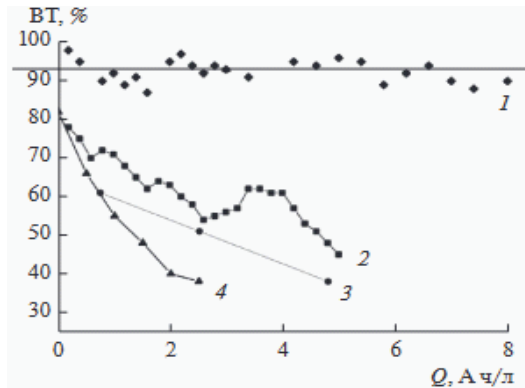


Рис. 4. Зависимость выхода по току электроосаждения сплава Co-W от степени эксплуатации электролита для различных анодов: 1 – растворимый Co-W, 2 – вольфрамовый, 3 – графитовый, 4 – платиновый



рованной плотности тока 20 мА/см<sup>2</sup>. Для нерастворимых анодов (платина, графит) видна существенная разница в скоростях осаждения (выходах по току) между использованием платины и графита.

Для растворимых анодов (растворимый вольфрамовый и кобальт-вольфрамовый аноды): а) их использование всегда приводит к повышению выхода по току по сравнению с использованием нерастворимых анодов; б) выход по току при применении комбинированного кобальт-вольфрамового анода максимален (93 ± 3 %) и не изменяется [8, 10].

Объяснение результатов, представленных на рис. 4, возможно на основе механизма электроосаждения сплавов (рис. 5) подобного типа (металлов группы желе-

за с тугоплавкими металлами), так называемого «индуцированного соосаждения» [1, 9].

Стадия (1) общей электродной реакции является медленной, а реакция (2) (восстановление до атома Co, рис. 5, а) – быстрой [9]. Следствием подобного механизма является образование на катодной поверхности интермедиата (CoOH)<sub>алс</sub>, который может в дальнейшем восстанавливаться по реакциям (2)–(4), в том числе и с образованием сплава Co-W, проходя через промежуточную стадию получения смешанного гетерометаллического кластера [CoOHCoWO<sub>4</sub>]<sub>алс</sub><sup>2-</sup> (реакция (3)). Принципиальной особенностью указанного механизма является тот факт, что определяющую роль и в скорости осаждения, и в составе и структуре получаемых покрытий играет изменение концентрации «металл-осадителя» (глюконатный комплекс, содержащий кобальт), вследствие замещения реакции восстановления глюконата кобальта на побочную реакцию (6) выделения водорода.

Таким образом, использование растворимого Co-W анода, с одной стороны, исключает реакцию (5), а с другой, – увеличивает скорость реакции (1), что достигается также повышением концентрации электролита при снижении тем самым практически до нуля скорости побочной реакции (6).

Если использовать схему последовательности реакций, дополненную влиянием анодных процессов, то можно для процесса электроосаждения Fe-W сплавов записать (рис. 5, б) [5,10].

Как следует из представленной схемы, ключевую роль в получении сплава играет цитратный комплекс Fe(II), который расходуется в трех последующих реакциях: восстановление до металлического Fe (реакция (III)) через образование интермедиата Fe(OH)<sub>алс</sub>, катализ получения металлического W (реакции (II, V) через

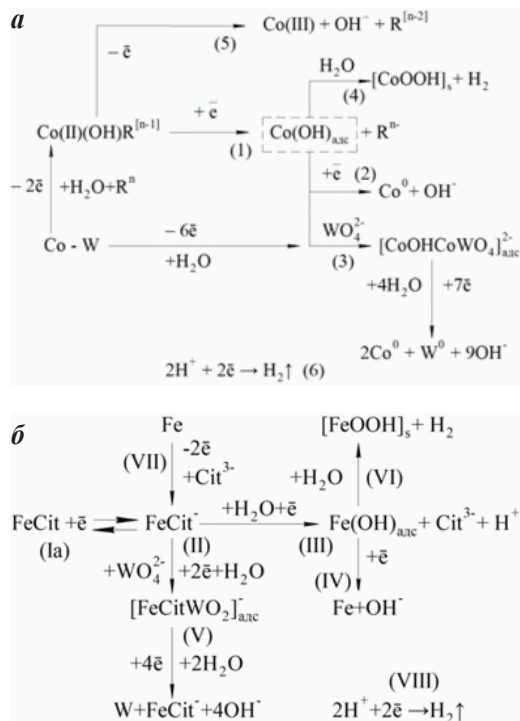


Рис. 5. Схема электрохимических процессов, протекающих при электроосаждении сплава: Co-W из бор-глюконатного электролита (а); Fe-W из цитратного электролита (б)



образование интермедиата  $[\text{FeCitWO}_2]_{\text{адс}}^-$  и анодное окисление (Pt, графит, реакция (Ia)). При высокой скорости изменения концентрации металла-осадителя возможно химическое окисление интермедиата водой (реакция (VI)) с образованием оксидов, наводороживанием, снижением микротвердости. Параллельно с этими процессами происходят анодное растворение железного анода (реакция (VII)) и побочная реакция выделения водорода (реакция (VIII)).

Представленные на рис. 6 зависимости выхода по току (ВТ) от его плотности подтверждают ранее сделанный вывод для Co-W покрытий, получаемых из глюконатных растворов [10], а также Fe-W из цитратной ванны [11] о существенном влиянии природы анода на скорость катодного электроосаждения сплава.

Поддержание постоянной аналитической концентрации кобальта и вольфрама в электролите вследствие использования комбинированного кобальт-вольфрамового анода дает возможность достичь максимальных значений выхода по току и его постоянства в процессе электролиза, но не позволяет обеспечить постоянство микротвердости покрытий в широком интервале времени электроосаждения, поскольку существует временной фактор формирования комплексов (и кобальтового и вольфрамового), обеспечивающих состав и структуру получаемых покрытий.

Из результатов, представленных на рис. 7, видно, что микротвердость покрытий существенно зависит как от объемной плотности тока, так и от материала использованного анода. Основной причиной влияния ОПТ является, очевидно, образование в процессе электролиза продуктов с очень высокой молекулярной массой. Одновременно результаты, приведенные на рис. 6, свидетельствуют в пользу влияния анодных процессов на микротвердость получаемых покрытий.

Использование растворимых анодов позволяет увеличить скорость осаждения (см. рис. 4), но не позволяет избежать падения микротвердости вследствие влияния анодных процессов на состав раствора.

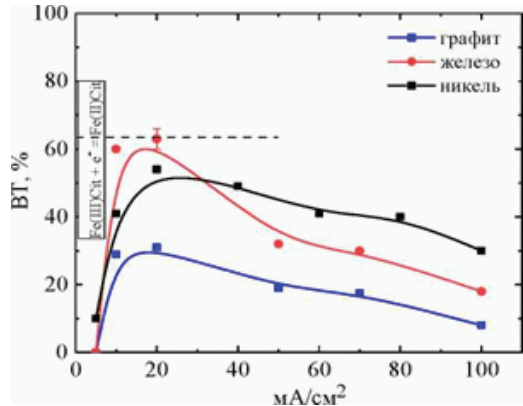


Рис. 6. Влияние катодной плотности тока на выход по току электроосаждения сплава Fe-W при использовании различных анодов. Пунктирная линия соответствует выходу по току при 20 мА/см² с графитовым анодом и разделенными анодным и катодным пространствами

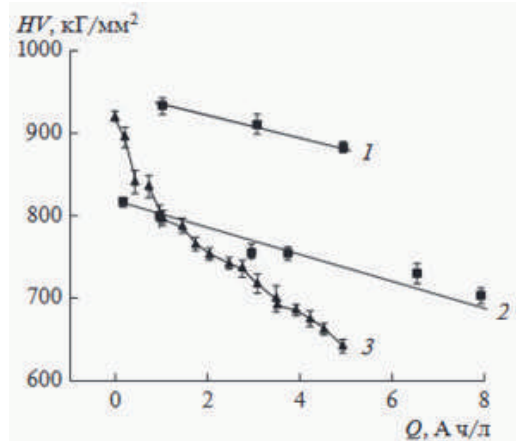


Рис. 7. Микротвердость Co-W покрытий, полученных при использовании графитового (1), составного Co-W (2) и платинового анодов (3). Зависимости (1) и (3) получены при ОПТ 20 мА/л, зависимость (2) при ОПТ 200 мА/л

Использование мембраны, разделяющей анодное и катодное пространства, позволяет существенно (в 2 раза) увеличить выход по току катодного электроосаждения (рис. 8) без увеличения энергоемкости ванны. Свойства мембраны не позволяют поддерживать эффективное разделение в течение длительного электролиза, поскольку уже при  $Q \sim 4 \text{ А} \cdot \text{ч/л}$  выход по току снижается до  $\sim 50\%$  (рис. 8), но существенно превышает наблюдаемый с неразделенными пространствами.

Очевидной причиной снижения ВТ является наличие побочного процесса восстановления Fe(III) до Fe(II) вследствие увеличения концентрации Fe(III) в анодном процессе на графитовом электроде и переноса его в катодное пространство (рис. 9).

Решить возникшую проблему возможно введением растворимого железного анода. В этом случае реакция окисления с образованием Fe(III) заменяется реакцией анодного растворения с образованием Fe(II) [12].

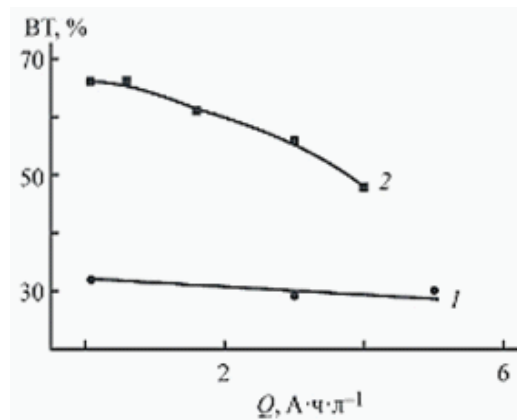


Рис. 8. Влияние степени эксплуатации электролита на зависимость выхода по току катодного осаждения сплава при неразделенных (1) и разделенных (2) анодном и катодном пространствах. Мембрана со средним диаметром пор  $0,74 \text{ мкм}$

**Выводы.** Показано влияние анодных процессов на скорость осаждения, состав получаемых покрытий и их микротвердость, причина – не только анодное окисление металла-осадителя (комплекса металла группы железа) при использовании нерастворимых анодов (Pt, графит), но и образование полимерных комплексов в процессе электролиза, а также обусловленное побочной реакцией выделение водорода.

Использование растворимых анодов (Co, W и Co-W для электроосаждения Co-W сплавов из глюконатных электролитов и Fe для электроосаждения Fe-W из цитратной ванны) приводит к увеличению скорости осаждения. Применение растворимых анодов, обеспечивая постоянство выхода по току и скорость осаждения при длительной эксплуатации, не позволяет поддерживать свойства получаемых слоев. Показана возможность использования с этой целью трековых мембран (производства г. Дубна, РФ).

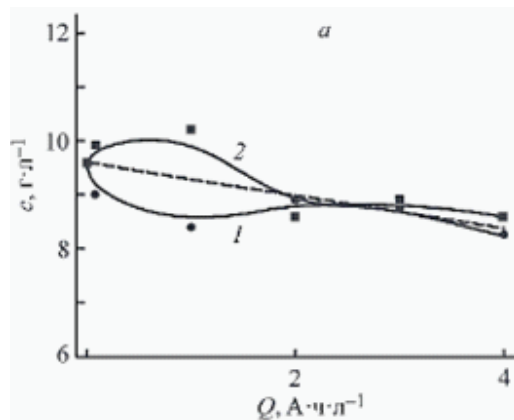


Рис. 9. Изменение концентраций железа в католите (1) и анолите (2) в процессе катодного получения сплава Fe-W при использовании разделенных анодного и катодного пространств. Штриховая линия – расчетные изменения концентраций железа

---

**Цитированная литература**

1. **Eliaz, N.** Induced Codeposition of Alloys of Tungsten, Molybdenum and Rhenium with Transition Metals / N. Eliaz, E. Gileadi // *Modern Aspects of Electrochemistry*. – New York, 2008. – Vol. 42. – P. 191–301.

2. **Cesiulis, H.** Electrodeposition of Iron-group alloys in to nanostructured oxide membranes: Synthetic challenges and properties / H. Cesiulis, N. Tsyntaru, E. Podlaha, D. Li, et al. // *Curr. Nanosci.* – 2018. – Vol. 14. – P. 1–7.

3. **Podlaha, E. J.** Induced Codeposition I. An Experimental Investigation of Ni–Mo Alloys / E. J. Podlaha, D. Landolt // *J. Electrochem. Soc.* – 1996. – Vol. 143 (3). – P. 885–892.

4. **Podlaha, E. J.** Induced Codeposition II. A Mathematical Model Describing the Electrodeposition of Ni–Mo Alloys / E. J. Podlaha, D. Landolt // *J. Electrochem. Soc.* – 1996. – Vol. 143 (3). – P. 893–898.

5. **Belevskii, S. S.** Macroscopic size effect of the microhardness of electroplated iron group metal-tungsten alloy coatings: Impact of electrode potential and oxygen-containing impurities / S. S. Belevskii, A. V. Gotelyak, S. A. Silkin, A. I. Dikumar // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* – 2019. – Vol. 55 (1). – P. 46–52.

6. **Belevskii, S. S.** Electrodeposition of Fe–W alloys from citrate bath: impact of anode material / S. S. Belevskii, V. V. Danilchuk, A. V. Gotelyak, M. Lelis, S. P. Yushchenko, A. I. Dikumar // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* – 2020. – Vol. 56 (1). – P. 1–12.

7. **Belevskii, S. S.** The Role of Mass Transfer in the Formation of the Composition

and Structure of Co–W Coatings Electrodeposited from Citrate Solutions / S. S. Belevskii, H. Cesiulis, N. I. Tsyntaru, A. I. Dikumar // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* – 2010. – Vol. 46 (6). – P. 570–578.

8. **Gotelyak, A. V.** Electrodeposition Of Co–W Covers from Gluconate Electrolyte in Hull'cell With Rotating Cylindrical Electrode / A. V. Gotelyak, V. V. Danil'shuk, A. I. Dikumar, S. A. Silkin // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Seriya Khim. i Khim. Tekh.* – 2014. – Vol. 57 (6). – P. 78–82.

9. **Красиков, А. В.** Механизм индуцированного соосаждения сплавов и некоторых тугоплавких металлов / А. В. Красиков, В. Л. Красиков // *Изв. СПбГТИ (ТУ)*. – 2016. – № 37. – С. 8–14. – Текст : непосредственный.

10. **Danilchuk, V. V.** The Mechanical Properties and Rate of Electrodeposition of Co–W Alloys from a Boron–Gluconate Bath: Impact of Anodic Processes / V. V. Danilchuk, S. A. Silkin, A. V. Gotelyak, V. A. Buravets, T. F. Mitina, A. I. Dikumar // *Russ. J. Electrochem.* – 2018. – Vol. 54 (11). – P. 930–936.

11. **Ishida, K.** Influence of Fe (III) in Fe–W Alloy Plating and Continuous Plating Using Ion Exchange Membrane-Multiple Anode System. / K. Ishida, T. Morikawa, M. Miyake, T. Hirato // *J. Surf. Finish. Soc. Japan.* – 2016. – Vol. 67 (9). – P. 489–493.

12. **Danilchuk V. V.** Track Membranes' Application for Anodic and Cathodic Space Separation during Induced Codeposition of Fe–W Coatings from Citrate Bath / V. V. Danilchuk // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* – Vol. 57 (3). – 2021. – P. 287–293.

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЛОЖКИ ИЗ СТАЛИ 65Г И ТИПА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

*Е. В. Юрченко*

*Рассмотрено влияние химического состава стали (65Г, Ст45, Ст3) на коэффициенты переноса материала обрабатывающего электрода на подложку, шероховатость, микротвердость и износостойкость получаемых поверхностей.*

**Ключевые слова:** электроискровое легирование (ЭИЛ), 65Г, элементный состав, коэффициент переноса, энергия импульса, износостойкость, шероховатость.

## RESEARCH ON THE EFFECT OF 65G STEEL SUBSTRATE AND THE TYPE OF PROCESSING ELECTRODE ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF COATINGS PRODUCED BY ELECTROSPARK ALLOYING

*Е. В. Yurchenko*

*The effect of the chemical composition of steel (65G, St45, St3) on the transfer coefficients of the material of the processing electrode on the substrate, on the roughness, microhardness and wear resistance of the obtained surfaces is analyzed.*

**Keywords:** electrospark doping (ESA), 65G, elemental composition, transfer coefficient, pulse energy, wear resistance, roughness.

В настоящее время все большую актуальность приобретает необходимость увеличения ресурса режущих поверхностей почвообрабатывающих орудий. Одним из решений данной проблемы является упрочнение режущих кромок методом нанесения износостойких электроискровых покрытий. Но теория применения ЭИЛ на текущий момент изучена еще недостаточно глубоко и это приводит к затруднениям при разработке типовых технологий для восстановления изношенных деталей [1–4]. В данной работе приводится исследование влияния подложки на массоперенос, а также влияния материала подложки, энергии импульса и материала обрабатывающего электрода на физико-механические свойства покрытий,

полученных ЭИЛ, на примере стали 65Г, используемой для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Для сравнительного анализа использовались также подложки из Ст3 и Ст45.

### **Влияние подложки на массоперенос электроискровых покрытий**

В качестве одной из основных характеристик электроискрового покрытия применяется показатель коэффициента переноса (КП). Расчетная формула коэффициента переноса [5]:

$$КП = \Delta m_a / \Delta m_k,$$

где КП – коэффициент переноса;  $\Delta m_a$  – убыль веса анода;  $\Delta m_k$  – увеличение веса катода.

КП характеризует количество непосредственно перенесенного с анода на катод металла и, соответственно, количество металла, «потерянного» в процессе легирования.

Для исследования влияния энергии импульса и материала подложки на КП, обрабатывающий электрод и технологический образец до нанесения покрытия и после взвешивали на аналитических весах марки ВЛР200 с точностью до четвертого знака. По результатам взвешивания определяли убыль анода и прирост катода, после чего рассчитывался КП для каждого конкретного случая. Результаты исследования при использовании электрода ВК8 и Т15К6 приведены в табл. 1 и на рис 1.

КП растет с увеличением энергии разряда, однако после достижения предела (КП ~ 1 для подложки Ст3) при увеличении энергии разряда он снижается, поскольку по переносу достигнут предел и начинается разрушение полученного покрытия. Причина этого явления – внутренние напряжения, накопившиеся в покрытии в процессе нанесения [6, 7].

КП в значительной степени зависит от материала подложки (минимальное значение у Ст45). Это очевидно, если рассмотреть изменения КП при одном режиме нанесения, одним видом электрода, но на образцах с разными материалами подложек.

Для определения степени влияния обрабатывающего электрода на изменение

Таблица 1

Зависимость КП от энергии импульса и материала подложки

Обрабатывающий электрод ВК8			
Материал подложки	Энергия импульса E, Дж		
	0,07	0,39	1,58
Кoeffициент переноса			
Ст3	0,50	0,99	0,72
Ст45	0,15	0,37	0,81
65Г	0,63	0,62	0,93
Обрабатывающий электрод Т15К6			
65Г	0,50	0,52	0,75

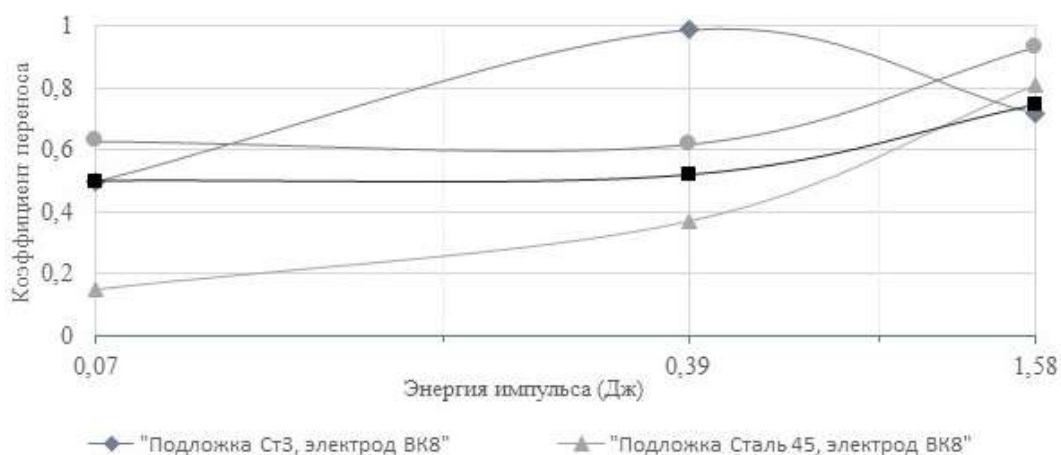


Рис. 1. Влияние энергии импульса на КП при ЭИЛ обрабатываемыми электродами из Т15К6 и ВК8 подложки из сталей Ст3, 65Г и Ст45

КП использовались электроды из твердых сплавов Т15К6 и ВК8 на подложке из стали 65Г.

Поскольку подложка влияет на массоперенос, это должно сказываться на свойствах. Для определения состава поверхностного слоя образцов подложки был произведен рентгенофлуоресцентный анализ материала подложки – Ст45 и стали 65Г – как до обработки, так и после обработки твердосплавным электродом Т15К6. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа приведены в табл. 2.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа подложки из Ст45 видно, что основной, подавляющий компонент поверхности – железо, с незначительными включениями марганца – 0,5 %. На поверхности подложки из стали 65Г кроме железа присутствует 1,4 % марганца и 0,17 % вольфрама.

По окончании нанесения электроискрового покрытия на поверхности при

рентгенофлуоресцентном анализе обнаруживаются не только элементы обрабатываемого электрода из твердого сплава Т15К6, но и железо подложки, которое «перемешано» с элементами электрода. Это доказывает тот факт, что при ЭИЛ твердосплавными электродами получается не просто покрытие, а композит, в состав которого входит около 70 % элементов подложки, а остальное – элементы обрабатываемого электрода. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа нанесенных покрытий на подложки из Ст45 и 65Г электродом Т15К6 приведены в табл. 3.

Рентгенофлуоресцентный анализ покрытия, полученного после ЭИЛ на подложке из Ст45 с помощью обрабатываемого электрода ВК8 при энергии импульса 0,3 Дж, также наглядно подтверждает данные о получении композита, основная часть которого – материал подложки (рис. 2).

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы: независимо

Таблица 2

**Элементный состав подложки из Ст45 и стали 65Г, полученный методом рентгенофлуоресцентного анализа**

Материал подложки	Элементный состав (масс. %)					
	Fe	Mn	W	Ti	Co	V
сталь 45	99,5	0,5	–	–	–	–
сталь 65Г	98,4	1,4	0,17	–	–	–

Таблица 3

**Состав компонентов в покрытии стали электродом Т15К6 при различных энергиях импульса**

Энергия импульса E, Дж	Сталь 65Г Элементный состав (масс. %) композита					
	Fe	Mn	W	Ti	Co	V
0,07	71 ± 7	0,8 ± 0,1	19,4 ± 5,8	2,6 ± 1,0	5,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1
0,39	71,6 ± 0,6	0,86	22,3 ± 1,6	3,1 ± 0,3	1,5	0,39 ± 0,03
1,58	73,8 ± 0,3	0,96 ± 0,01	18,7 ± 0,7	3,1	3,0 ± 0,	0,36 ± 0,01
Элементы обрабатываемого электрода						
–	–	–	79	15	6	–
Сталь 45 Элементный состав (масс.%) композита						
0,3	69,1	–	22,2	3,8	4,9	–



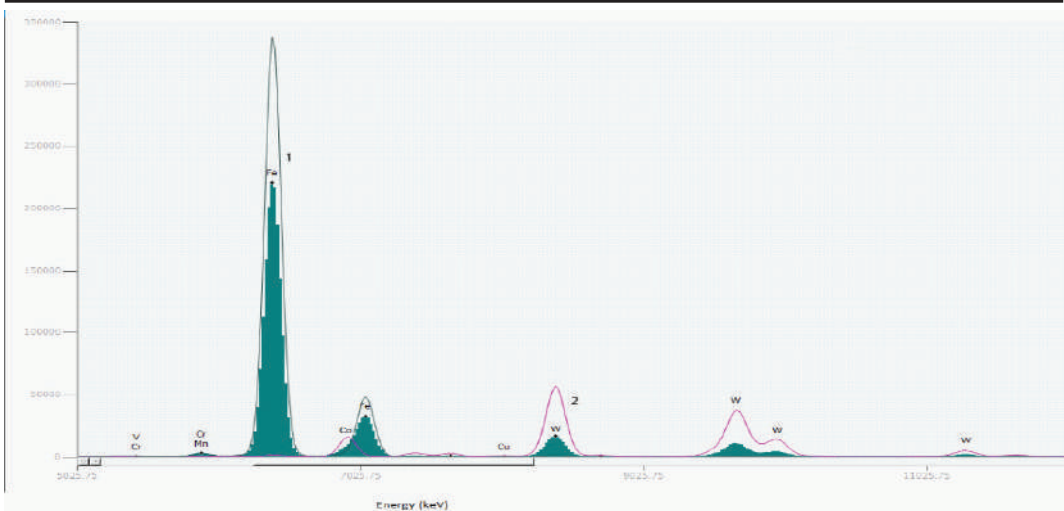


Рис. 2. Рентгенофлуоресцентный спектр поверхностного слоя подложки из Ст45 (1), обрабатывающего электрода ВК8 (2) и композита, полученного после ЭИЛ при энергии импульса 0,3 Дж (закрашено)

от типа подложки и величины энергии разряда получаемый композит на 70 % состоит из материала подложки. При низких энергиях разряда вследствие низких коэффициентов переноса очень высокий разброс в получаемых составах композитов, что должно обусловить разность свойств получаемых композитов. Наблюдается избирательный перенос: при низких энергиях разряда в основном переносится более легкоплавкий компонент – Co, в меньшей степени – тугоплавкий W.

**Влияние материала подложки, энергии импульса, а также материала обрабатывающего электрода на шероховатость электроискровых покрытий**

При нанесении электроискровых покрытий одной из основных проблем является высокая шероховатость покрытия. Известно, что чем выше энергия импульса, тем более шероховатым будет покрытие. Но шероховатость покрытия также зависит от химического состава материала обрабатывающего электрода и, кроме

того, как выясняется в результате испытаний, – от химического состава материала подложки.

Измерения шероховатости поверхности образцов, полученных методом ЭИЛ при помощи электрода ВК8, в зависимости от изменения энергии импульса и химического состава образца приведены в табл. 4 и в виде диаграммы на рис. 3 для подложек из сталей Ст3, Ст45 и 65Г.

Наблюдается общая тенденция к ожидаемому росту шероховатости при увеличении энергии импульса, но у каждого материала подложки это происходит индивидуально: на образце из Ст45 наблюдается минимальный рост шероховатости в зависимости от роста энергии импульса, при том, что для каждого образца при тех же режимах нанесения использовался один и тот же электрод (ВК8) и прочие равные условия (длительность воздействия, режимы нанесения и т. п.).

Влияние количества углерода, а как следствие, и количества карбидов, в материале образца неоднозначно – в Ст3 (0,14–0,22%) его меньше, чем в Ст45 (0,42–0,50%),



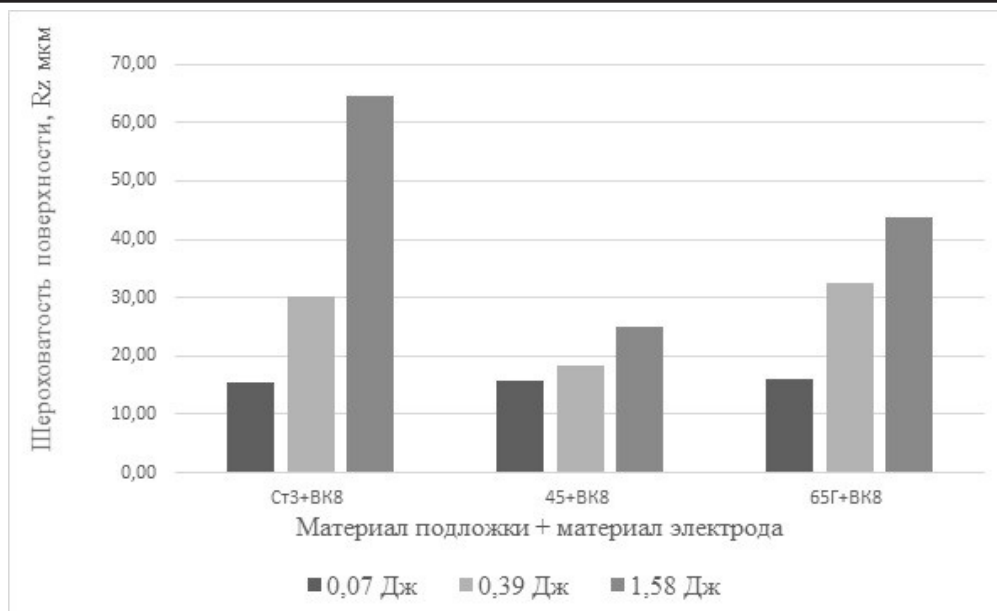


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности от энергии импульса на подложках Ст3, Ст45, 65Г (электрод ВК8, энергии импульса – 0,07, 0,39 и 1,58 Дж)

Таблица 4

**Шероховатость электронно-лучевых покрытий в зависимости от энергии импульса и химического состава подложки**

Сталь (материал подложки)	Энергия импульса $E$ , Дж		
	0,07	0,39	1,58
	Шероховатость $Rz$ , мкм		
Ст3	15,48	30,12	64,46
Ст45	15,88	18,36	24,98
65Г	15,98	32,51	43,85

а шероховатость при энергиях импульса 0,39 и 1,58 Дж значительно выше, чем у образца из Ст45. При этом количество углерода в стали 65Г (0,62–0,70 %) выше, чем в Ст45 (0,42–0,50 %), но шероховатость на энергиях импульса 0,39 и 1,58 Дж на образцах из стали 65Г значительно выше. Следовательно, можно предположить, что на шероховатость влияет химический состав всего комплекса элементов, входящих в материал подложки.

Кроме того, производилось исследование зависимости шероховатости по-

верхности от химического состава обрабатываемых электродов. Для этого на поверхности технологических образцов из сталей Ст3, Ст45 и 65Г наносились покрытия с помощью электродов из твердых сплавов Т15К6 и ВК8 и из стали Ст3.

Продолжительность воздействия на каждый технологический образец составляла 4 мин. Энергия импульса воздействия на каждый технологический образец при этом составляла  $E = 0,39$  Дж. Результаты нанесения приведены в табл. 5 и на рис. 4

**Влияние материала обрабатывающего электрода и подложки на шероховатость покрытия при одинаковых энергиях импульса ( $E = 0,39$  Дж)**

Материал подложки	Материал электрода		
	T15K6	BK8	Ст3
	Шероховатость поверхности $Rz$ , мкм		
Ст3	$31,9 \pm 2,1$	$28,9 \pm 1,3$	24,0
Ст45	$20,0 \pm 2,5$	$20,5 \pm 2,0$	15,0
65Г	–	32,5	26,5

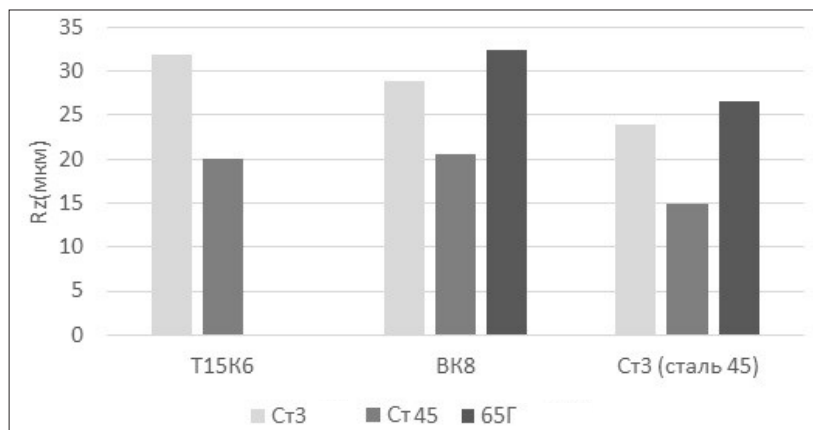


Рис. 4. Влияние природы обрабатывающего электрода на шероховатость поверхности после обработки при энергии импульса  $E = 0,39$  Дж различных сталей

Наблюдается тенденция для всех трех видов подложек – происходит увеличение шероховатости при обработке твердым сплавом (электродами BK8 и T15K6) и снижение при использовании электродов из углеродистой стали Ст3.

На основании данных экспериментов можно сделать следующий вывод: основную роль в формировании определенного уровня шероховатости поверхности играет энергия разряда и материал подложки. Материал обрабатывающего электрода также оказывает влияние на шероховатость полученного покрытия, но в меньшей мере.

#### **Влияние подложки на микротвердость электроискровых покрытий**

Стандартно принято измерять микротвердость покрытия на поперечном тщательно отшлифованном срезе. Фактически

в процессе трения покрытия участвует поверхностный слой, поэтому есть основания измерять микротвердость непосредственно в поверхностном слое. Но такие измерения существенно осложняются в связи с тем, что поверхность покрытия всегда обладает большей или меньшей шероховатостью. Чем выше шероховатость, тем ниже будут показатели микротвердости, а значит, ниже будет износостойкость, так как вершины выступов при трении будут интенсивно разрушаться и тем самым увеличивать весовую разницу образца до и после износных испытаний. При измерении микротвердости индентор будет частично попадать то на выступ, то на впадину. Очевидно, что в результате будет получен разброс значений. Эта проблема преодолевается расчетом среднего значения по нескольким точкам и среднеквадратического отклонения.

Были проведены исследования влияния материала подложки и влияния энергии импульса на микротвердость полученного электроискрового покрытия, измеренную по поверхности образца. Результаты исследований микротвердости в зависимости от энергии импульса с использованием электрода Т15К6 приведены в табл. 6.

Видно, что при росте энергии импульса микротвердость падает, поскольку происходит рост шероховатости покрытия, увеличивается расстояние между вершинами выступов и впадинами, что и сказывается на результатах измерений. Результаты исследования влияния материала подложки на микротвердость приведены в табл. 7

Влияние материала подложки на микротвердость получаемых поверхностных композитов определяется, прежде всего, различиями в коэффициентах переноса. Снижение КП при переходе от подложки из стали Ст3 к Ст45 приводит к снижению микротвердости соответствующих композитов. Кроме того, при низких энергиях разряда вследствие большого разброса в составе имеет место очень большой разброс в значениях микротвердости (большая неоднородность поверхности).

#### Влияние подложки на износостойкость электроискровых покрытий

Были проведены исследования влияния энергии импульса на износостойкость покрытия, для чего использовалась подложка из 65Г и обрабатывающий электрод Т15К6 при различных режимах нанесения покрытия. Для сравнения проводились исследования износостойкости образцов из 65Г без нанесения покрытия. Результаты исследования приведены в табл. 8. Очевидно, что при увеличении энергии импульса увеличивается износ покрытия, при этом происходит также рост износа контртела.

Таблица 6

**Влияние энергии импульса на микротвердость покрытия, получаемого на подложке из стали 65Г обрабатывающим электродом Т15К6**

Энергия импульса $E$ , Дж	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>
0,07	1441–2609
0,39	1750 ± 80
1,58	1380 ± 15

Таблица 7

**Влияние материала подложки и обрабатывающего электрода при одинаковых значениях энергий импульса ( $E = 0,3–0,9$  Дж) на микротвердость покрытия**

Материал подложки	Материал обрабатывающего электрода		
	Т15К6	ВК8	Ст3
	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup>		
Ст45	650 ± 100	950 ± 120	1100 ± 50
65Г	1750 ± 80	–	–
Ст3	2300 ± 900	380 ± 470	613 ± 210

Таблица 8

**Результаты износа покрытий на стали 65Г с результатами износов образцов с покрытием ЭИЛ**

Материал электрода	Энергия импульса, Дж	Образцы		Контртело (Ст45)		Коэффициент трения
		Износ, г	Износ, ng/Nm	Износ, г	Износ, ng/Nm	
Т15К6	0,07	0,00010	6,25	0,0517	3231,25	0,480
Т15К6	0,39	0,00045	28,15	0,0844	5275,00	0,475
Т15К6	1,58	0,00150	93,80	0,2216	13850,05	0,385
без нанесения		0,61450	38406,30	0,1436	8975,05	0,620

Причиной этого является значительное увеличение шероховатости покрытия при увеличении энергии импульса. В данных результатах исследований важно соотношение значения износа образцов с покрытием и образца без покрытия – разница составляет несколько порядков величины.

При проведении исследований влияния материала подложки и материала обрабатываемого электрода на износостойкость получаемых покрытий использовались в качестве подложки стали 65Г, Ст45 и Ст3. В качестве обрабатывающих электродов использовались Т15К6, ВК8, Ст3. Нанесение всех исследуемых на износостойкость покрытий производилось при энергии импульса 0,39 Дж.

Износные испытания явились наиболее ярким проявлением определяющего

влияния подложки, их результаты приведены в табл. 9 и на рис. 5.

Неоднородность состава обрабатываемого материала (подложки), неоднородность получаемых композитов приводит к разбросу значений износостойкости. В максимальной степени это касается подложки из Ст3. Наиболее высокая износостойкость достигается при обработке Ст45, что объясняется высоким содержанием карбидов как в самом обрабатываемом материале, так и в обрабатывающем электроде. Тот факт, что износостойкость получаемых поверхностей определяется в первую очередь материалом обрабатываемой стали, а не материалом обрабатываемого электрода, показывает, что, по крайней мере, с точки зрения повышения износостойкости получаемых композитов в качестве обрабаты-

Таблица 9

**Влияние материала подложки и материала обрабатывающих электродов на износостойкость электроискрового покрытия**

Сталь (материал подложки)	Материал обрабатывающих электродов		
	Т15К6	ВК8	Ст 3
	Износостойкость, нг/Нм		
Ст45	12,5	12,5	12,5
65Г	28,2	25	–
Ст3	400	188 ± 60	516 ± 40

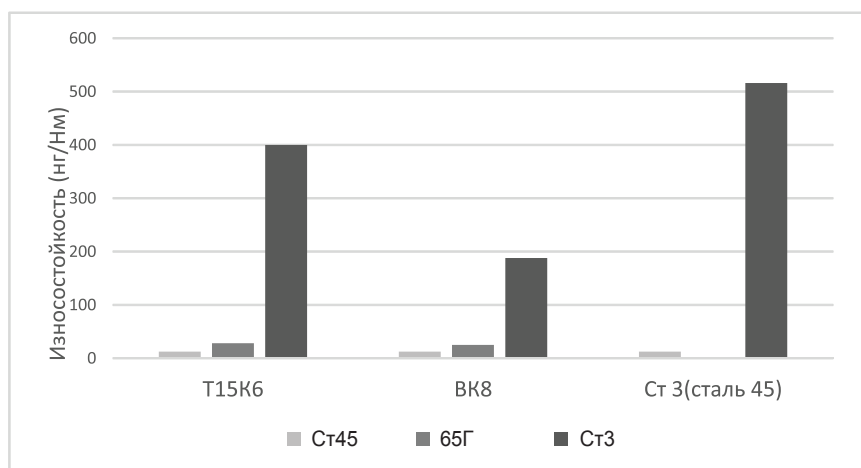


Рис. 5. Износостойкость композитов, полученных при обработке Ст45, 65Г и Ст3 при одинаковой энергии импульса  $E = 0,39$  Дж

вающего электрода можно использовать обычную углеродистую сталь. Необходимо отметить, что высокая износостойкость обеспечивается, прежде всего, наличием карбидов в обрабатывающем электроде и стали подложки, а также возможностью их синтеза в процессе обработки.

Полученные результаты свидетельствуют о широких возможностях управления свойствами композитов не только подбором обрабатывающих электродов и определенных энергий разряда, но и материала обрабатываемой поверхности.

Исследование свойств поверхностей композитов, образованных в результате электроискрового модифицирования поверхностей различных сталей (Ст3, Ст45 и 65Г) обрабатывающими электродами из твердых сплавов Т15К6, ВК8 и стали Ст3 показало, что:

– получаемые композитные материалы представляют собой смесь материала обрабатывающего электрода и подложки, в котором материал подложки составляет до ~ 70 % (масс.), ~ 20–25 % (масс.) – карбиды W и Ti, а содержание Co превышает 5 % (достигает ~ 90 %) от его содержания в обрабатывающем электроде;

– коэффициенты массопереноса определяются: энергией импульса  $E$  (рост при увеличении  $E$ ), материалом обрабатываемой поверхности стали;

– превышение значений  $E$ , при которых достигаются значения КП ~ 1, приводят к снижению КП;

– получаемые значения КП определяют шероховатость и микротвердость поверхностей композитов, что обусловлено теплофизическими свойствами как обрабатывающего электрода, так и обрабатываемых поверхностей сталей;

– износостойкость получаемых покрытий определяется в основном природой обрабатываемой стали и лишь в незначительной степени микротвердостью и шероховатостью получаемых поверхностей.

Обнаруженные эффекты влияния природы обрабатываемого материала на свойства поверхностных композитов, получаемых ЭИЛ, открывают возможности получения композитов с прогнозируемыми свойствами.

## Цитированная литература

1. Результаты полевых испытаний упроченных рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. Ф. Акулов, П. В. Лужных, А. В. Кирейнов [и др.]. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – Москва: ГОСНИТИ, 2013. – Т. 113. – С. 300–309.

2. Лазаренко, Б. Р. Электроискровой способ изменения свойств исходных поверхностей / Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко. – Москва: Изд-во АН СССР, 1958. – 177 с. – Текст: непосредственный.

3. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с. – Текст: непосредственный.

4. Two-layer nanocomposite WC/a-C coatings produced by a combination of pulsed arc evaporation and electro-spark deposition in vacuum / K. A. Kuptsov, A. N. Sheveyko, E. I. Zamulaeva // Materials and Design. – 2019. – Vol. 167. – P. 107.

5. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин, П. В. Сенин, В. И. Иванов. – Саранск: Типография «Красный Октябрь», 2003. – 504 с. – Текст: непосредственный.

6. Гитлевич, А. Е. Об ограничении толщины слоев, формируемых в процессе электроискрового легирования / А. Е. Гитлевич, Н. Я. Парканский, Д. А. Игнатков. – Текст: непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 3. – С. 25–29.

7. Николенко, С. В. Исследование модифицированного поверхностного слоя стали 35 после электроискрового легирования / С. В. Николенко. – Текст: непосредственный // Вопросы металловедения. – 2007. – № 2. – С. 53–59.

УДК 621.9.048.4

## К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ БУГРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ

Е. В. Юрченко, О. Е. Юрченко

*Рассмотрено влияние различных факторов на образование бугров на легируемой поверхности при нанесении электроискровых покрытий. Обобщен опыт исследований по уменьшению бугрообразования поверхности. Предложены некоторые направления исследований по уменьшению бугристости и шероховатости покрытий.*

**Ключевые слова:** электроискровое легирование, алюминиевые сплавы, бугристость, шероховатость, энергия импульса.

## REVISITED OF OBTAINING UNDULATING COATINGS ON ALUMINIUM ALLOYS DURING ELECTROSPARK DOPING

Е. В. Yurchenko, О. Е. Yurchenko

*The influence of various factors on the formation of undulation on the surface under alloying during the application of electrospark coatings has been analyzed. Research experience on the reduction of surface undulation is summarized. Some lines of research on reduction of undulation and roughness of the coatings are proposed.*

**Keywords:** electrospark doping, aluminium alloys, roughness, undulation, pulse energy.

Алюминиевые сплавы широко применяются в машиностроении благодаря своим свойствам: малой плотности, высокой удельной прочности, высокой коррозионной стойкости и технологичности при изготовлении деталей. Алюминиевые сплавы хорошо штампуются и легко обрабатываются резанием [1]. Алюминий – самый распространенный металл в природе [2], поэтому сырьевые ресурсы для его производства практически не ограничены и его применение в дальнейшем будет только расширяться.

Однако дальнейшему расширению его применения препятствуют низкие твердость и износостойкость поверхности деталей из алюминиевых сплавов.

Устранение этих недостатков связано с улучшением количества поверхностных

слоев алюминиевых деталей путем нанесения покрытий, соответствующих требованиям высокой износостойкости и не требующих сложного и дорогого оборудования, приборов и расходных материалов.

Из известных в настоящее время способов получения толстослойных покрытий на алюминиевых сплавах (аргонно-дуговая наплавка, микродуговое оксидирование, ионная имплантация и т. д.) электроискровое легирование имеет неоспоримые преимущества перед описанными выше способами: простота как самого технологического процесса, так и аппаратного оформления, высокая адгезия, локальность обработки, экологичность процесса.

Однако электроискровое легирование (как и другие способы) имеет недостатки, которые ограничивают область применения, особенно при нанесении твердосплавных покрытий на детали из железоз-



углеродистых сплавов. Это малая толщина покрытия ( $\delta \leq 0,2$  мм) и высокая шероховатость покрытия ( $Ra \sim 3-100$  мкм). Так как алюминиевые сплавы по своим физико-химическим свойствам значительно отличаются от сталей (табл. 1), то естественно ожидать, что и свойства покрытий будут другие.

На электроискровое легирование алюминия влияет его особенность, заключающаяся в большом сродстве с кислородом. Это обуславливает быстрое появление и

рост толщины оксидной пленки после ее механического удаления: через 15 мин толщина пленки достигает 0,7 мм, а в дальнейшем – 3–10 мм. С увеличением толщины пленки растет электросопротивление и, соответственно, пробивное напряжение до нескольких сот вольт. Все это сказывается на технологическом процессе электроискрового легирования алюминиевых сплавов.

Предварительные исследования показали, что получение покрытий на поверхности алюминиевых деталей весьма затруднительно.

При нанесении покрытий из алюминивно-оловянных сплавов АО20-1 на алюминиевый сплав Д1 получены следующие результаты (рис. 1 а, б).

При энергии искры  $\leq 1,6$  Дж (установка электроискрового легирования «Alier 31», режим 4) получено относительно равномерное покрытие, но при этом толщина его не превышала 0,2 мм. При последующем нанесении, после получения четырех слоев, наступило разрушение нанесенного покрытия. При увеличении энергии искробразования до 3,15 Дж («Alier 31», режим 7) на поверхности образцов образовались бугры диаметром 2,5–3 мм и высотой до 2 мм (рис 1, б), при этом обнаружались непокрытые места между буграми  $\sim 2$  мм. При дальнейших попытках нанесения покрытий при тех же режимах происходило разрушение бугров, причем некоторые бугры отслаивались целиком.

Попытки получить покрытие путем заполнения пустот между буграми микропорошками сплава АО20-1 и Cu с последующим электроискровым легированием на максимальных режимах установки «Alier 31» (3,15 Дж) не увенчались успехом, так как покрытие продолжало интенсивно разрушаться, а оплавление бугров не наблюдалось.

Одной из основных причин разрушения электроискровых покрытий явля-

Таблица 1  
Сравнительные свойства Al, Fe,  $Al_2O_3$

Физические свойства	Al	Fe	$Al_2O_3$
Температура плавления, °С	660	1530	2500
Температура испарения, °С	2060	3050	2700
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2700	7800	3800
Коэффициент линейного расширения, 1/град	$22 \cdot 10^{-6}$	$12 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Параметр кристаллической решетки, нм	0,4	$\sim 0,28$	$\sim 0,25$
Толщина оксидной пленки, нм	–	–	$\sim 10$
Твердость, МПа	1,6	4,5	50
Удельное электросопротивление Ом $\cdot$ м $10^{-6}$	0,028	0,098	$4 \cdot 10^{15}$
Теплопроводность, Вт/м $\cdot$ град	205,3	79,6	2,5
Модуль упругости, кг/мм <sup>2</sup>	7500	22300	–
Удельная теплота плавления, кал/г	92,4	65,1	40

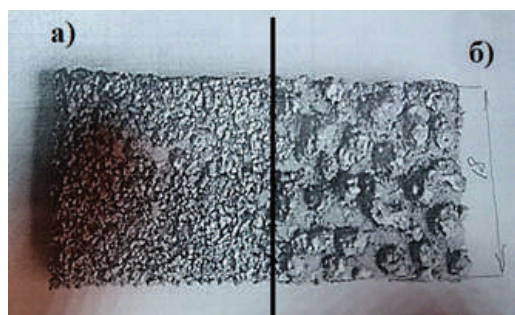


Рис. 1. Покрытия на сплаве Д1 при разных режимах работы: а) при энергии импульса 1,6 Дж; б) при энергии импульса 3,15 Дж



ется накапливание в поверхностном слое покрытия остаточных напряжений I и II рода [3–7]. По сравнению со стальными электроискровыми покрытиями, роль термических напряжений (остаточных напряжений I рода) в разрушении алюминиевых покрытий значительно снижена, так как, согласно табл. 1, теплопроводность алюминия в три раза выше, чем у железа, следовательно, тепловые волны будут распространяться по покрытию и подложке быстрее, обеспечивая меньший градиент температур, чем у стали. К тому же и модуль упругости у алюминиевых сплавов в три раза ниже, что обеспечивает более высокую пластичность покрытия.

При электроискровом легировании алюминиевых сплавов на разрушение покрытия в большой степени влияют остаточные напряжения II рода, связанные с измельчением структуры до нанометров, появлением в покрытии оксидов и нитридов алюминия и олова в результате взаимодействия этих элементов с атмосферой при высокой температуре и при движении частиц в искровом промежутке. При этом в покрытии наблюдается скопление дислокаций, которые препятствуют движению электронов проводимости и способствуют увеличению электросопротивления слоев покрытия и в дальнейшем – его разрушению. Это хорошо демонстрирует качественная модель разрушения покрытия при достижении предельной его толщины (рис. 2) [8].

Можно предположить, что последовательный, от слоя к слою, рост остаточных напряжений (рис. 2) объясняется изменением структуры слоя, ростом электросопротивления, что требует все более и более высоких энергетических параметров искрообразования. Модель ясно показывает, что разрушение покрытия, в том числе и бугристого, наступает, когда сумма остаточных и термических напряжений превысит предел прочности материала по-

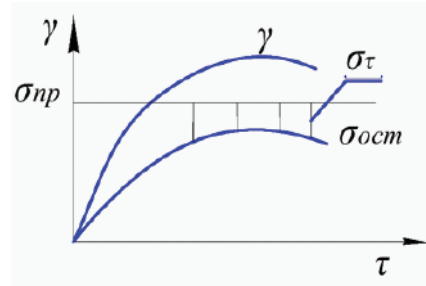


Рис. 2. Зависимость привеса образца  $\gamma$ , остаточных  $\sigma_{ост}$  и термических  $\sigma_t$  напряжений от времени  $\tau$  нанесения покрытия ( $\sigma_{пр}$  – предел прочности материала покрытия)

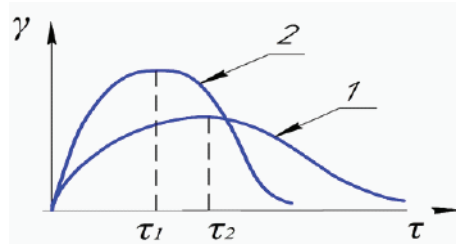


Рис. 3. Ход кривых осаждения покрытия на поверхности образца при малой (1) и высокой (2) энергии искровых импульсов, где  $\gamma$  – привес,  $\tau$  – время нанесения

крытия. Для алюминиевых сплавов обычно это происходит после нанесения 4–6 слоев покрытия.

Согласно литературным данным [6, 7], с увеличением энергии искрообразования вероятность получения бугров значительно увеличивается.

Длительной практикой применения электроискрового легирования установлено, что с увеличением энергии искрообразования привес (толщина покрытия) растет быстрее, но максимум привеса и, соответственно, момент начала разрушения покрытия также достигается за более короткое время.

Причины появления бугров и возможные способы предотвращения их появления можно определить, рассматривая качественную модель их появления. Со-

гласно данным [4], поверхность образца перед покрытием, несмотря на шлифовку с чистотой  $Ra \leq 5$  мкм, представляет собой совокупность выступов и впадин (рис. 4).

На этих выступах и концентрируются электроискровые разряды при нанесении первого слоя. При нанесении второго и последующих слоев электроискровые разряды концентрируются на уже сформировавшихся выступах, игнорируя впадины. При малых энергиях искрового разряда ( $\leq 1$  Дж) с анода на катод переносятся малые порции вещества. Разница между выступами и впадинами мала и не очень заметна (рис. 4, а). При высокой энергии искрового разряда порции вещества с катода значительно возрастают, перенос идет в виде капель, в результате чего на поверхности и появляются бугры (рис. 4, в-д). Следует учесть, что при использовании независимого генератора импульсов и вибрирующего электрода-анода при сближении электродов и их расхождении, при вибрации проходят группы следующих друг за другом импульсов. При этом каждая группа импульсов воздействует на отдельный участок поверхности, что способствует появлению бугров. Число импульсов, входящих в группу, зависит от частоты вибраций легирующего электрода. Например, у установки «Alier-32» вибрация электрода производится с частотой

$f_1 = 100$  Гц, а импульсы могут идти с частотой  $f_2 = 50-3200$  Гц, поэтому количество импульсов в группе может достигать  $\sim 30$  шт. Считается, что для снижения роста бугров необходимо соответственно увеличивать частоту вибраций легирующего электрода [9], а также увеличивать скорость перемещения легирующего электрода по поверхности образца.

Особенностью образования бугров является постепенное послойное наращивание остаточных напряжений растяжения в поверхностных слоях бугров. Это объясняется тем, что при попадании раскаленной частицы с анода на холодный катод частица стремится сжаться (усадка), а окружающий частицу материал этого сделать ей не дает, отсюда появляются остаточные напряжения растяжения, которые способствуют образованию трещин и последующему разрушению покрытия.

Кроме того, при прохождении искрового импульса наиболее благоприятные условия образования оксидов и нитридов создаются на периферии каналов разряда [4], т. е. на внешней части потока частиц, летящих с анода. Поэтому пятно покрытия на катоде представляет собой кольцо, на внешней поверхности которого скапливаются продукты реакции частиц, летящих с анода, с кислородом и азотом воздуха. Это способствует увеличению остаточных

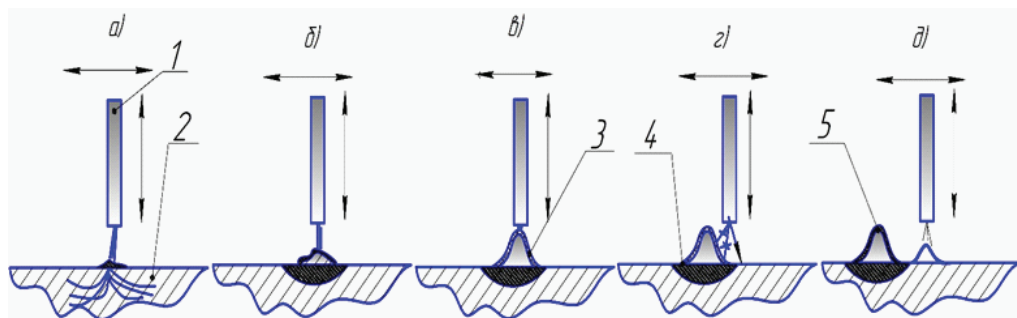


Рис. 4. Процесс образования бугристого покрытия: 1 – электрод, 2 – образец, 3 – остаточные напряжения в поверхности бугра, 4 – легированный слой, 5 – бугор

напряжений на внешних поверхностях бугров (рис. 4, г, д), что не дает возможности получать сплошные покрытия как при наплавке или сварке.

При большой энергии импульсов остаточные напряжения возникают не только на поверхности бугров, но и рядом с ними (рис. 4, а-з). Поэтому искра выбирает путь наименьшего сопротивления, т. е. не на самом бугре и не рядом с ним, а на некотором расстоянии от него, где напряжение и, соответственно, сопротивление минимальное. В результате действия этого механизма перемещения искры и образуется бугристое покрытие.

Исходя из модели (рис. 4, з), можно сделать вывод о том, что для управления искрой с целью, чтобы она попадала на бугор прямо или сбоку, необходимо разместить электрод в керамической трубке (рис. 5, а) с зазором  $\sim 1,5$  мм на диаметр и подавать на него наряду с основным, инициирующий высоковольтный разряд 15–20 кВ, при этом трубку направлять в нужное место. Есть предположение, что в этом случае можно получить безбугристое покрытие достаточной толщины.

Анализ литературы показал, что существует несколько способов получения электроискровых покрытий с толщиной 2 мм и более. Один из способов заключается в том, что используются обрабатывающие электроды с анодом в виде проволоки, расположенном в плоскости вращения диска [9]. При вращении анода перенос алюминия идет равномерно и непрерывно обеспечивая толщину покрытия до 2 мм (рис. 6)

При нанесении покрытия наблюдается практически линейная зависимость переноса алюминия на титан, что объясняется «размазыванием» слоя покрытия по поверхности катода. Недостатком способа можно считать возможность царапания проволоочными электродами мягкой поверхности алюминиевых сплавов или полученного покрытия.

Другой способ получения толстослойных покрытий повышенной сплошности приведен в евразийском патенте № 0177066. Сущность способа заключается в получении сильно бугристого покрытия с последующим удалением 70 % толщины бугров с помощью электроискрового легирования повышенной мощности и дальнейшим разравниванием оставшейся части бугров с помощью того же электроискрового легирования. Периодическое повторение таких циклов позволяет получить покрытие на стали толщиной 10 мм и более.

Суть следующего способа электроискрового легирования (патент SU 1/634/413) заключается в том, что электроду-аноду сообщается движение мутации с прецессией, в результате чего разряд возбуждается между различными

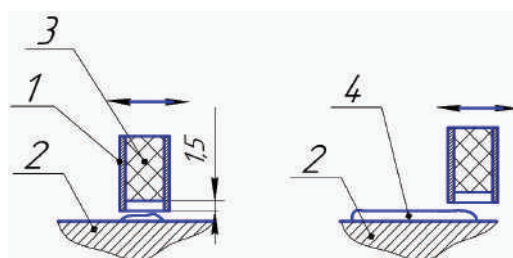


Рис. 5. Электрод с управляемой искрой: 1 – керамическая трубка, 2 – образец, 3 – электрод, 4 – полученное относительно ровное покрытие



Рис. 6. Зависимость привеса катода из титана от времени электроискрового легирования алюминием при вращающемся аноде

точками торца электрода-анода и обрабатываемой поверхности. По сути, это то же механическое «размазывание» нанесенного слоя по поверхности образца или детали.

Рассмотрение этих трех способов получения равномерных толстослойных (толщиной до 2 мм) покрытий показывает общую тенденцию к механическому «размазыванию» нанесенного слоя покрытия.

Кроме того, в настоящее время более прогрессивным методом по сравнению с механическим «размазыванием» покрытия по обрабатываемой поверхности является использование мощных электрических и магнитных полей в области нанесения покрытия, которые будут создавать значительные дополнительные усилия для осаждения частиц анода на поверхность детали. Это явление должно уменьшить концентрацию разряда в отдельных точках и позволяет покрытию более равномерно распределяться по поверхности. Данное предположение может касаться не только нанесения покрытий на алюминиевые, но также на стальные и чугунные поверхности. На сегодняшний день данные по этому вопросу в литературных источниках не найдены, вероятно, есть необходимость исследовать это направление в ближайшем будущем.

Основными препятствиями для глобального расширения использования метода электроискрового легирования во всех отраслях промышленности является повышенная шероховатость получаемых покрытий, их небольшая толщина – около 0,2 мм – и остаточные внутренние напряжения, не позволяющие существенно увеличивать толщину покрытия. Ранее эту проблему пытались решить разными методами, в частности, методами изменения технологии нанесения покрытий (например, последовательное нанесение разных слоев покрытия, нейтрализующих действие предыдущих), и появлялись не-

которые успехи, но нанесение покрытия на основании данных технологий требует необоснованно больших как временных, так и трудовых затрат. Данная проблема требует нестандартного решения.

На основе анализа механизма получения покрытий повышенной толщины и, в частности, процесса образования бугров и впадин, а также распределения остаточных внутренних напряжений, влияющих на толщину, прочность и износостойкость покрытия, были собраны и обобщены теоретические и опытные данные, и в качестве вывода предлагаются следующие направления исследования:

1) изменение вида траектории и параметров движений обрабатывающего электрода, генерируемых вибровозбудителем;

2) изменение структуры обрабатывающего электрода – использование электрода в виде проволоки, расположенной в плоскости вращения диска, заключение электрода в керамическую трубку и т. п.;

3) использование дополнительных факторов для осаждения материала электрода в зоне нанесения, влияющих на процесс получения покрытий (например, создание магнитных полей в процессе нанесения).

## Цитированная литература

1. **Квасов, Ф. И.** Промышленные алюминиевые сплавы / Ф. И. Квасов, И. Н. Фридляндер. – Москва : Металлургия, 1984. – 342 с. – Текст : непосредственный.

2. **Белецкий, В. М.** Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) / В. М. Белецкий, Г. А. Кривов. – Киев : Коминтех, 2005. – 156 с. – Текст : непосредственный.

3. **Лазаренко, Б. Р.** Некоторые научные проблемы электрической эрозии материалов / Б. Р. Лазаренко. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1969. – № 2. – С. 7–11.

4. **Бурумкулов, Ф. Х.** Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин, П. В. Сенин, В. И. Иванов. – Саранск : Красный Октябрь, 2003. – 504 с. – Текст : непосредственный.

5. **Бакуто, И. А.** О факторах, влияющих на образование покрытий при электроискровом способе обработки / И. А. Бакуто, М. К. Мицкевич. – Текст : непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1977. – № 3. – С. 17–19.

6. **Антошко, В. Я.** К вопросу об ограничении толщины упрочненного слоя при электроискровом легировании / В. Я. Антошко, А. Е. Гитлевич, Н. П. Коваль // Электронная обработка материалов. – 1975. – № 4. – С. 21–22. – Текст: непосредственный.

7. **Гитлевич, А. Е.** Об ограничении толщины слоев, формируемых в процессе элек-

троискрового легирования / А. Е. Гитлевич, Н. Я. Парканский, Д. А. Игнатьков. – Текст: непосредственный // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 3. – С. 25–29.

8. **Фатыхова, Г. М.** Режимы и технологии нанесения на чугунные изделия многослойных покрытий с заданными свойствами : специальность 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фатыхова Гузэлия Мирбатовна; ГОУ ВПО Казанский государственный энергетический университет. – Казань, 2008. – 157 с. – Текст : непосредственный.

9. Упрочнение поверхностей комбинированными способами / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев, Л. А. Хворостухин. – Москва: Машиностроение, 1991. – 144 с. – Текст : непосредственный.

УДК 621.723, 62-1

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

*В. Г. Звонкий, Ф. Ю. Бурменко, Д. Ю. Бурменко*

*Предложена конструкция устройства для анализа и оценки состояния износостойкости упрочняющих покрытий при интенсификации процесса и повышении достоверности определения показателей износа, которые являются основными проблемами для всех областей техники, с целью повышения надежности и долговечности машин, механизмов и приборов.*

**Ключевые слова:** *устройство для исследования, показатели износа, повышение надежности механизмов и приборов.*

## A DEVICE FOR ANALYZING AND EVALUATING THE STATE OF WEAR RESISTANCE OF REINFORCING COATINGS

*V. G. Zvonky, F. Y. Burmenko, D. Y. Burmenko*

*The design of a device for analyzing and evaluating the state of wear resistance of reinforcing coatings is proposed, while intensifying the process and increasing the reliability of determining wear indicators, which are the main problems for all fields of technology, in order to increase the reliability and durability of machines, mechanisms and devices.*

**Keywords:** *device for research, wear indicators, increasing the reliability of mechanisms and devices.*

Устранение дефектов от износа является решением проблемы при выходе из строя машин и другого оборудования, снижении срока их службы, поэтому большинство задач, направленных на повышение надежности и долговечности объектов, связано с износостойкими упрочняющими покрытиями.

Такие методы упрочнения поверхностей, как термическая и химико-термическая обработка, пластическое деформирование поверхности, не всегда обеспечивают значительное повышение износостойкости контактных поверхностей. Следовательно, действия в данной области направлены на разработку технологий изготовления деталей, обладающих комплексом специальных свойств (высокая износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость) и при этом имеющих высокие эксплуатационные характеристики (малый износ, особенно в условиях трения без смазочного материала; приработку сопряженных поверхностей; стойкость в агрессивных средах). Очевидно, перспективным направлением создания поверхностных слоев с улучшенными эксплуатационными свойствами является формирование на контактных поверхностях изделий гальванических покрытий.

Формирование контактной поверхности происходит, как правило, в сочетании различных по интенсивности и видам элементов разрушения и изменений физико-механических свойств материала под воздействием внешних факторов, а непрогнозируемость параметров износостойкости обуславливает методические трудности в их анализе и оценке состояния упрочняющих покрытий в сочетании с применяемыми методами определения износа контактной поверхности на основе микрометрирования, взвешивания, профилографирования с помощью обычных и специальных профилографов.

В требованиях, предъявляемых к устройствам для исследования параметров износостойкости, должны учитываться особенности работы пары трения: сочетание характеристик, условий контакта и относительного перемещения. При испытаниях на износостойкость изделий с покрытием необходимо учитывать не только условия работы пары трения, но и физико-механические свойства самих покрытий и специфику технологии их формирования.

Развитие техники вызывает необходимость разработки новых технологий электрохимических производств, которые могут создать гальванические покрытия, обладающие высокой износостойкостью, антикоррозионными и антифрикционными свойствами, а также разработки методов и устройств их контроля.

Известен способ и устройство для испытания материалов на трение и износ, заключающийся в том, что пару трения, состоящую из испытываемого образца и сопряженного с ним контрообразца, нагружают сжимающей силой, приводят образец во вращение и измеряют его износ [1]. Однако данное техническое решение не позволяет проводить контроль и определять степень износа различного вида покрытий (например, гальванических, коррозионностойких, лакокрасочных) ввиду их незначительной толщины. Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является способ и устройство для определения степени износостойких покрытий, в котором на рабочую поверхность образца, имеющего другой цвет, наносят покрытие из испытываемого материала, которое под воздействием контрообразца изнашивается путем его истирания, а об износостойкости судят по времени полного износа покрытия, причем момент окончания износа определяют визуально по изменению цвета покрытия на цвет образца [2]. Недостатки данного способа – низкая эффективность процесса и невысокая достоверность результатов ис-



пытания. Это связано с тем, что для фиксации показателей износа после минутного воздействия контробразцом на покрытие образца устройство останавливают, образец протирают и, если на эталонном материале просматривается покрытие, устройство запускают заново. Эти операции проводятся до тех пор, пока цвет покрытия не сменится на цвет эталонного материала.

Конструкция предлагаемого устройства обеспечивает измерение основных физико-механических и химических свойств гальванических покрытий (коррозионная и антифрикционная стойкость, надежность, переходное электрическое сопротивление, пористость), которые являются важными характеристиками качества технологического процесса их нанесения и обуславливают область их применения. Осуществляя интенсификацию процесса и повышение достоверности определения показателей износа, которые достигаются тем, что износостойкость покрытия образца определяют по величине переходного электрического сопротивления «материал покрытия – материал образца», момент окончания износа устанавливают по скач-

кообразному снижению сопротивления вплоть до нулевого значения при коротком замыкании цепи «образец–контробразец». При этом в устройстве для определения износостойкости покрытий узел нагружения контробразца оснащен датчиком определения нагрузки, а сам контробразец снабжен измерительным электродом с подведенными к нему токоведущими проводниками, непосредственно связанными с измерительным прибором, с помощью которого обеспечивается определение переходного электрического сопротивления. Кроме того, в целях расширения возможности применения устройства его можно устанавливать для работы в универсальный токарный станок, в качестве механизма вращения образца использовать шпиндель токарного станка, а в качестве привода узла нагружения – его пиноль.

Устройство, изображенное на рис. 1, содержит держатель 1 образца 2 с испытываемым покрытием 3, кинематически связанного с приводом вращения 4, и держатель 5 контробразца 6, соединенным с узлом нагружения 7, состоящего из телескопически установленных один в другом

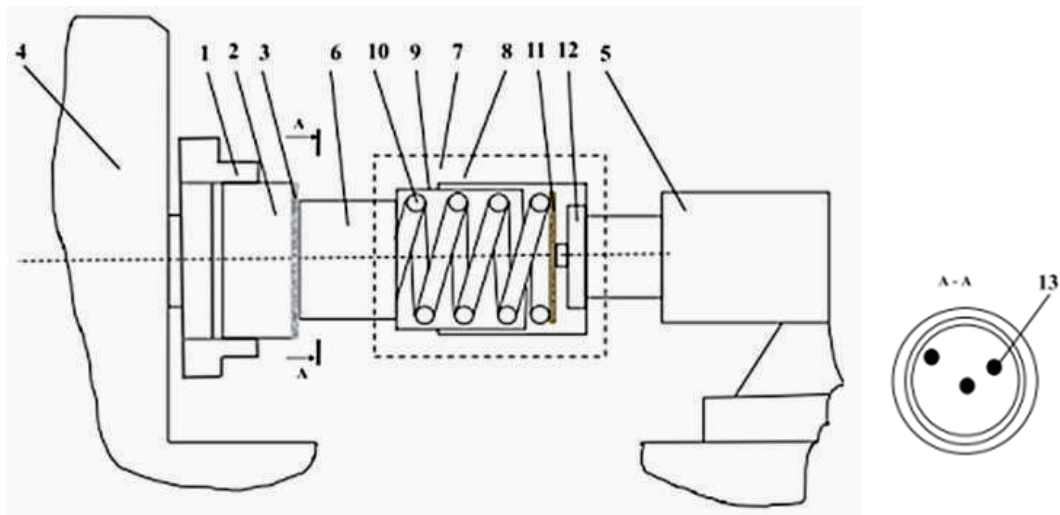


Рис. 1. Конструктивная схема устройства



внешнего 8 и внутреннего 9 стаканов, в полости которых размещена нажимная пружина 10 с тарелкой 11, связанной с датчиком давления 12. В контроробразец 6 вживлены измерительные электроды 13 с подведенными к нему токоведущими проводниками, непосредственно связанными с измерительным прибором 14 (рис. 2), посредством которого обеспечивается определение переходного электрического сопротивления.

Работа устройства по анализу и оценке состояния износостойкости упрочняющих покрытий (см. рис. 1) заключается в том, что его устанавливают в универсальный токарный станок (например, 1К62) и в качестве механизма вращения образца используют шпиндель 4 токарного станка, а в качестве привода узла нагружения – пинюль 5 токарного станка.

На образец 1 наносят испытываемое покрытие 2, например, коррозионнотой-

кое, нанесенное гальваническим способом, устанавливают его в держатель 1 и подводят к нему посредством пинюли 5 контроробразец 6, создавая требуемое изнашивающее давление посредством пружины 10, контролируемое датчиком давления 12. Запускают устройство, обеспечивая необходимую скорость вращения образца 6, при этом посредством контактного трения «образец–контроробразец» происходит износ испытываемого покрытия 3, при этом посредством измерительных электродов 13 снимаются показатели переходного сопротивления, которые фиксируются в виде осциллограммы (рис. 3). Момент окончания износа определяют по величине переходного сопротивления, при котором возникает его скачкообразное снижение вплоть до нулевого значения.

На осциллограмме (см. рис. 3) видна характеристика переходного сопротивления «материал покрытия – материал об-

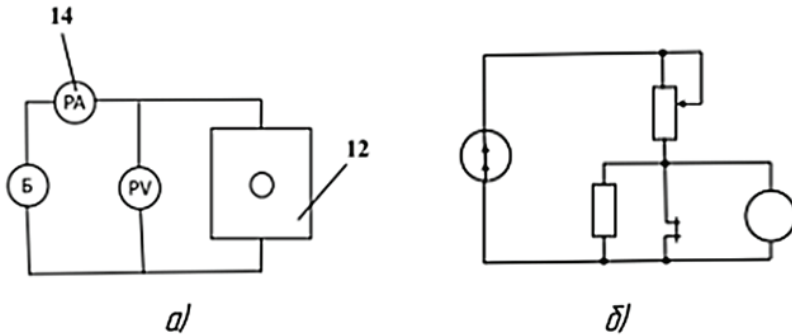


Рис. 2. Электрическая схема измерительного прибора: а – датчика давления; б – электрода

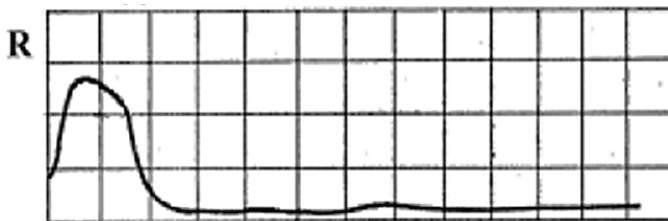


Рис. 3. Осциллограмма характеристики переходного сопротивления «материал покрытия – материал образца» в процессе истирания

разца» в процессе истирания покрытия 3, где сначала наблюдается некоторый рост сопротивления за счет первичного взаимодействия контактных поверхностей тел при их относительном перемещении, а затем в процессе приработки пары трения по мере истончения покрытия в результате износа переходное сопротивление снижается. При достижении полного износа происходит электрическое замыкание цепи, что видно по снижению вплоть до нулевого значения.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет оперативно опре-

делить окончание процесса износа, а также получить его наглядное отображение, что интенсифицирует процесс испытаний и повышает достоверность определения показателей при проведении исследований.

### Цитированная литература

1. Авт. свид. СССР № 1260735, МПК G01 № 3/56, опуб. 30.09.86, бюл. № 36.
2. Патент РФ № 2303773, МПК G01 № 3/56, опуб. 27.07.2007 г., бюл. № 21.

УДК 631.331, 631.3.05 (047.31)

## ИННОВАЦИОННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА

Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий, В. С. Михайлов, А. В. Димогло

*Проведен анализ технического уровня устройств для контроля работы высевающих аппаратов сеялок точного высева. Выявлены такие конструкционные и технологические недостатки, как неравномерность высева, низкая технологическая надежность. С целью повышения точности результатов испытаний высевающих аппаратов сеялок точного высева предложена система контроля высеваемого материала косвенным путем без размещения датчиков в зоне снятия показателей.*

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, высевающий аппарат, процесс дозирования, высевающий диск.

## INNOVATIVE ENGINEERING SOLUTIONS IN RESEARCH PARAMETERS OF SOWING MACHINES OF PNEUMATIC SEEDERS OF PRECISION SEED DRILLS

F. Y. Burmenko, V. G. Zvonky, V. S. Mikhailov, A. V. Dimoglo

*The analysis of the technical level of devices for monitoring the operation of seeding machines of precision seed drills is carried out. Such structural and technological disadvantages as uneven seeding, low technological reliability have been identified. In order to improve the accuracy of the test results of the seeding machines of precision seed drills, a system for monitoring the seeded material indirectly without placing sensors in the zone of removal of indicators is proposed.*

**Keywords:** experimental setup, seeding machine, dosing process, seeding disk.

На современном этапе развития агротехнологий лидирующие позиции занимают технологии точного земледелия, элементы которых интенсивно разрабатываются и осваиваются различными сферами сельского хозяйства, где важнейшей операцией является посев, а от его качества зависит конечный результат – урожайность. Повышение урожайности в системе точного земледелия достигается равномерным распределением заданной нормы семян по гектару пашни высевальным аппаратом точного посева. При беспорядочном распределении оптимального числа семян на гектаре теряется значительный процент урожайности, что подтверждает научную гипотезу о важности рационального размещения на площади каждого семени растения высевальным аппаратом с учетом зависимости от их размерно-массовых характеристик. А отличие в таких значениях, как длина, ширина, толщина семян, объемная и единичная их масса может сказаться на соответствующих распределениях при штучном посеве. При таком подходе достигается не только экономия посевного материала, но и топливо-смазочных материалов, а точный посев снижает применение ручного труда, повышает урожайность и рентабельность в сельском хозяйстве.

Поскольку большое значение имеют показатели качества посева, это содействует совершенствованию и постоянной модернизации высевальных аппаратов точного посева и, как следствие, повышается целесообразность применения новых лабораторных установок по их испытанию, что обусловлено необходимостью получения достоверных показателей технологического процесса высевального аппарата.

Большинство современных сеялок оборудовано устройствами контроля их работы – глубины посева, интервала размещения семян и т. д., т. е. посевными параметрами. Анализ схем агрегата ука-

занного функционального назначения показал, что устройство для контроля работы высевальных аппаратов сеялок оснащено средством контроля посева семян. Данное средство контроля имеет недостаток, который заключается в пневматическом принципе действия удаления семян из зоны действия контрольных датчиков, находящихся в проходном сечении воздухопровода и перекрывающих его, что создает помехи движению потока воздуха и нарушает достоверность снятия показаний [1].

Кроме того, в качестве исследуемого материала использованы шарики-драже (сферы), имитирующие высеваемые семена, которые плотно присасываются к круглым отверстиям диска пневматического высевального аппарата, что не соответствует реальным условиям его работы, так как высеваемые семена различных сельскохозяйственных культур не имеют идеальной сферической формы и не плотно прилегают к присасывающим отверстиям [2].

Представляет интерес испытательный стенд для пневматических высевальных аппаратов, в котором система контроля высевального материала фиксирует движение семян как на входе в аппарат, так и на выходе из него, что повышает степень оценки технологического процесса посева семян [3]. Однако в данном устройстве система контроля высевального материала не обеспечивает фиксацию показателей степени присасывания семян к отверстиям высевального диска, что не позволяет исследовать и оптимизировать параметры присасывающих отверстий и адаптировать их конфигурацию к формоочертанию высеваемого материала. Это объясняется тем, что в зоне высевального диска отсутствуют датчики фиксации прососа воздуха между семенами и присасывающим отверстием, так как там нет возможности разместить сенсор измерительного прибора из-за отсутствия места установки, при этом не ограничивая проходное сечение пневмомагистрали.

Предлагаемое решение относится к методам и средствам оценки показателей качества выполнения технологического процесса пневматических высевальных аппаратов сеялок, в частности для оценки неравномерности высева семян, с целью повышения точности результатов испытаний косвенным путем без размещения датчиков в зоне снятия показателей. Указанная цель достигается тем, что испытательный стенд включает исследуемый высевальной аппарат с высевальным диском, средства контроля и фиксации процесса высева материала с комплектом датчиков, воздухоприготовительную систему с вакуумной камерой и пневмомагистралями, поддон сбора материала и привод параллельно всасывающей магистрали, связанной с вакуумной камерой высевального диска, подключен байпасный отвод, который содержит последовательно расположенные сильфонный компенсатор и дифференциальный пневматический конвертер, включающий сообщаемую с вакуумной магистралью измерительную и сообщаемую с атмосферой компенсационную камеры, разделенные между собой мембраной. При этом мембрана посредством штифтового передаточного звена взаимодействует с цифровым индикатором и оснащена тензометрическим датчиком, связанным со средством контроля.

Соединение одного из датчиков средства контроля (с расположенным на мембране тензометрическим датчиком) с вакуумной камерой посредством байпасного отвода позволяет фиксировать изменение в ней разряжения в зависимости от степени перекрытия отверстий высевального диска семенами (высевальным материалом), а перемещение мембраны фиксируется цифровым индикатором, при этом его отсчетная шкала оттарирована в зависимости от величины размера (зазора) перекрытия.

Размещение между вакуумной камерой и дифференциальным пневматическим конвертером сильфонного компен-

сатора позволяет создать промежуточное буферное звено для снижения скорости движения потока воздуха и его кинетической энергии, что выравнивает перепады давления в пневмосистеме при пульсации, возникающей при захвате и сбросе диском высеваемого материала.

Выполнение дифференциального пневматического конвертера из двух камер – сообщаемой с вакуумной магистралью измерительной и сообщаемой с атмосферой компенсационной, разделенных между собой мембраной (диафрагмой), – позволяет за счет разницы давления в этих камерах посредством изгиба мембраны, действующей штифтом на цифровой индикатор, фиксировать зазор в числовом выражении с точностью до 0,01 мм.

Наличие тензометрического датчика на разделительной мембране позволяет фиксировать изменение и перепады вакуума в пневмомагистрали и контролировать параметры работы пневматической системы.

Исполнение компенсатора в виде сильфона позволяет увеличить площадь поверхности компенсатора за счет минимизации его габаритных размеров.

На рис. 1 схематично изображен стенд для испытания пневматических высевальных аппаратов сеялок точного высева, который включает исследуемый высевальной аппарат, содержащий семенной бункер 1, высевальной диск 2 и семяпровод 3. Высевальной диск 2 смонтирован в семенном бункере 1 и одной стороной примыкает к вакуумной камере 4. Стенд оборудован системой контроля и фиксации высеваемого материала 5, содержащей два проходных емкостных датчика 6 и 7 и поддон 8 сбора материала со счетчиком 9 падающих в него семян. Работу стенда обеспечивает привод 10 высевального диска 2 и создающая вакуум пневмосистема, которая включает эжектор (экспандер) 11, посредством пневмомагистрали 12 сообщаемый с вакуумной камерой 4.

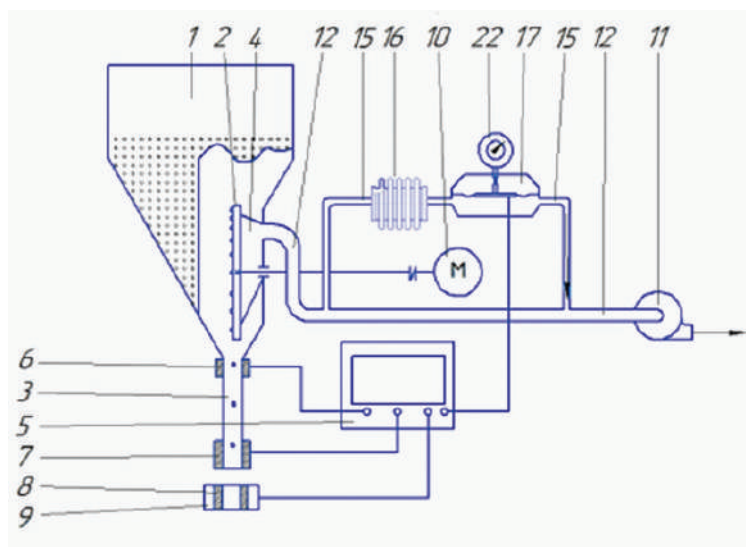


Рис. 1. Конструктивная схема стенд для испытания пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева

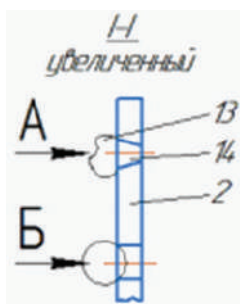


Рис. 2. Схема присоса высеваемого материала к отверстиям высевающего диска

Для фиксации показателей степени присасывания семян 13 к отверстиям 14 высевающего диска 2 (рис. 2) на всасывающей пневмомагистральной 12, связанной с вакуумной камерой 4, параллельно с ней подключен байпасный отвод 15, содержащий последовательно расположенные сильфонный компенсатор 16 и дифференциальный пневматический конвертер 17 (см. рис. 1).

Дифференциальный пневматический конвертер 17 (рис. 3) представляет со-

бой самобалансирующий пневматический прибор, включающий сообщающуюся с вакуумной магистралью 12 измерительную 18 и сообщающуюся с атмосферой компенсационную 19 камеры, которые разделены между собой эластичной мембраной 20, при этом мембрана 20 посредством штифтового передаточного звена 21 взаимодействует с цифровым индикатором 22 и оснащена тензометрическим датчиком 23, связанным со средством контроля 5 (см. рис. 1).

Технологический процесс работы стенда осуществляется следующим образом.

Предварительно стенд подготавливают к работе: засыпают в бункер 1 высеваемый материал, запускают эжектор 11 и приводом 10 устанавливают необходимый режим вращения высевающего диска 2, соответствующий поступательной скорости движения высевающей секции.

Эжектор (экспаузер) 11 создает в пневмосистеме стенда необходимое разрежение, при этом за счет вращения высевающего диска 2 и вакуума в камере

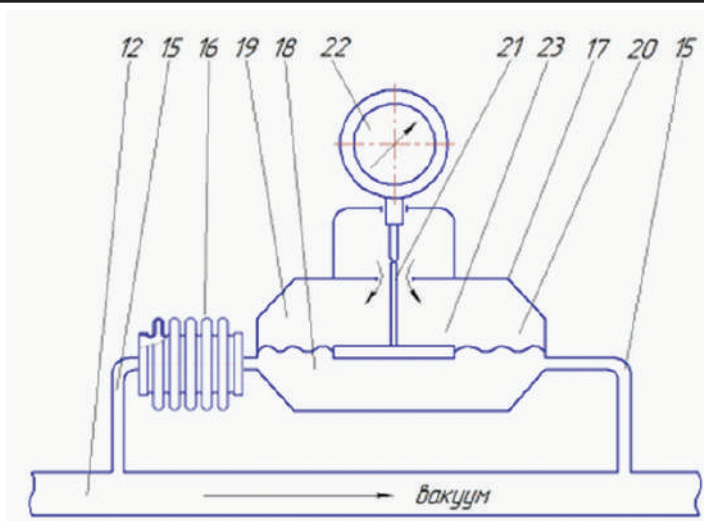


Рис. 3. Конструктивная схема дифференциального пневматического конвертера

4 семена 13 из бункера присасываются к отверстиям 14 высевающего диска 2 и при выходе из зоны действия вакуумной камеры 4 при отсутствии присасывающей силы сходят с диска, выпадая в семяпровод 3. Падающие семена проходят через датчики 6, 7, 8 и попадают в поддон 9. Данные от датчиков передаются в систему фиксации 5 для оценки неравномерности высева семян исследуемым высевающим аппаратом.

Параллельно со снятием этих показателей проводится оценка степени присасывания семян к отверстиям высевающего диска. За счет работы эжектора 11 через байпас 15 в измерительной камере 18 дифференциального пневматического конвертера 17 создается такой же вакуум, как и в пневмомагистрале 12, а в компенсационной камере 19 – атмосферное давление, при этом разделительная мембрана 20 под действием вакуума изгибается, а размещенный на ней тензометрический датчик 23 фиксирует изменение и перепады вакуума в пневмомагистрале 12. Одновременно за счет разницы давления в измерительной 18 и компенсационной 19

камерах, за счет изгиба мембраны 20 она воздействует через штифт 21 на цифровой индикатор 22, отсчетная шкала которого оттарирована в зависимости от величины размера (зазора) перекрытия, что позволяет его фиксировать в числовом выражении с точностью до 0,01 мм.

Ниже приведены алгоритмы работы стенда при испытании и исследовании пневматического высевающего аппарата на примере различных семян.

*Пример 1.* Высев семян кукурузы сорта «Победа» с помощью диска с 26-ю отверстиями, диаметр которых 5,2 мм.

Перед началом испытаний проводится тарирование отсчетной шкалы цифрового индикатора 22 в соответствии с величиной перекрытия рабочего отверстия 14 высевающего диска 2. Для этого параллельно с основным (рабочим) диском устанавливаются контратип (накладку) диска из тонкого листового материала (пластика, технического картона/паронита и др.), расположение и диаметр отверстий которого повторяют (дублируют) основной диск.

Тарирование начинают с фазы, когда оси отверстий диска-контратипа совпада-



ют с осями отверстий рабочего основного диска. Включается пневмосистема станда, и цифровым индикатором 22 фиксируется полное максимальное открытие присасывающих отверстий. Одновременно тензометрическим датчиком 23, связанным со средством контроля 5, регистрируется изменение и перепады вакуума в пневмомагистрали 12.

Второй и последующими фазами за счет смещения диска-контратипа относительно рабочего диска проводят перекрытие его высевающих отверстий соответственно на 10, 20, ... 100 % проходного сечения, фиксируя при этом показатели цифровым индикатором 22 и тензометрическим датчиком 23. Тарировочная диаграмма представлена на рис. 4.

После проведения процесса тарирования диск-контратип снимается, и на станде проводятся основные испытания пневматического высевающего аппарата на высеве семян кукурузы, при этом данные цифрового индикатора 22 показывают

степень перекрытия семенами отверстий диска (зазора между семенем и отверстием), что позволяет экспериментально подобрать оптимальный диаметр (конфигурацию) отверстий.

На рис. 5, а приведены данные, показывающие зависимость степени перекрытия отверстия высевающего диска семенами кукурузы (степень присасывания семян) от его диаметра.

*Пример 2.* Высев семян лука сорта «Днестровский» с испытываемым диском со 102 шестигранными отверстиями диаметром 1 мм.

Подготовка к испытаниям проводится аналогично описанному в примере 1, только используются другие варианты и исполнение высевающего диска. Результаты исследований по оптимизации параметров высевающих отверстий для семян лука приведены на рис. 5, б.

Как видно из графиков, представленных на рис. 5, степень перекрытия

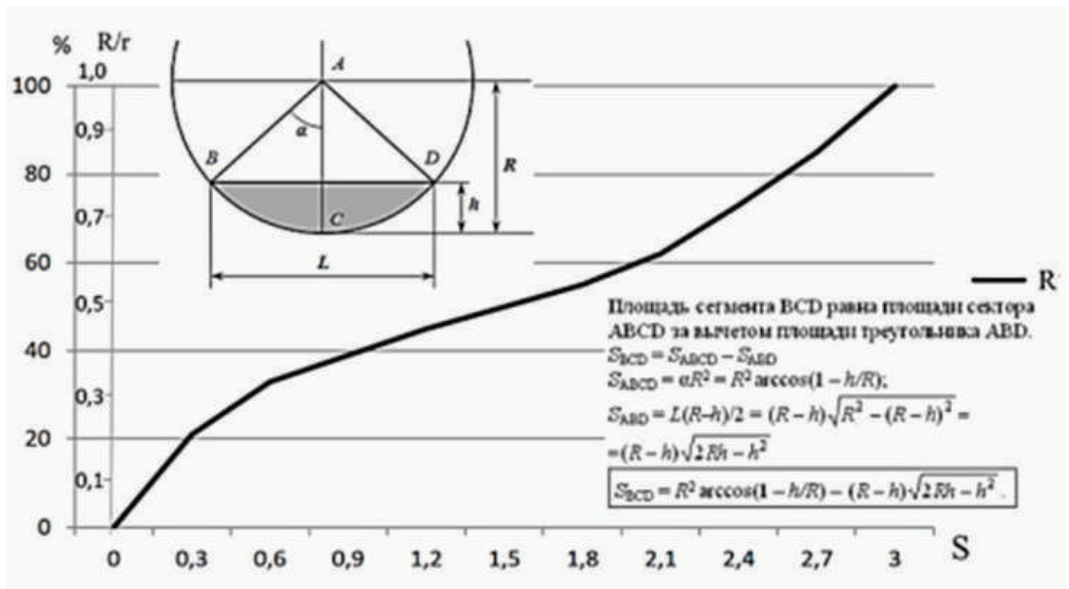


Рис. 4. Тарировочная диаграмма



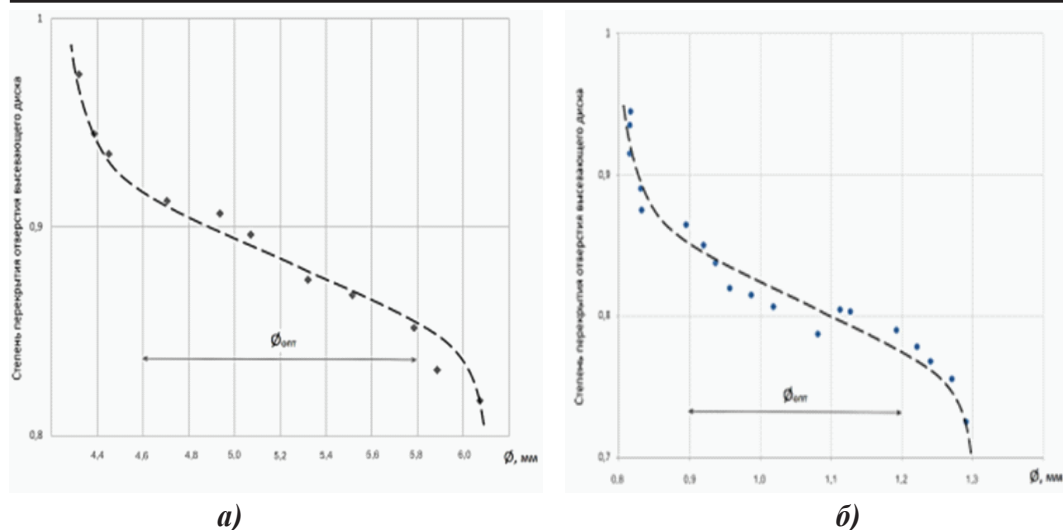


Рис. 5. Зависимость степени перекрытия отверстия высевального диска семенами кукурузы от его диаметра: а) для семян кукурузы в интервале диаметров от 4,6 до 5,8 мм; б) для семян лука в интервале диаметров от 0,9 до 1,2 мм

семенами отверстий высевального диска зависит от их диаметра, при этом наблюдаются оптимальные размеры геометрических параметров отверстий для семян кукурузы в интервале диаметров от 4,6 до 5,8 мм (рис. 5, а) и для семян лука в интервале диаметров от 0,9 до 1,2 мм (рис. 5, б).

Анализ графика на рис. 5, а показывает, что при высеве семян кукурузы с увеличением присасывающих отверстий высевального диска более 5,8 мм наблюдается повышенный расход воздуха для обеспечения процесса присоса семян, так как семена перекрывают отверстия на 75–77 % и порядка 25 % энергии потока воздуха не используется.

В то же время при диаметре отверстий менее 4,6 мм перекрытие составляет порядка 90 %, но в виду несимметричной конфигурации семян кукурузы место наблюдается неполная их укладка в сформированную отверстием ячейку и возможен несанкционированный их сход с диска вне зоны сброса вакуума.

Анализ графика на рис. 5, б показывает аналогичную ситуацию с семенами лука, когда с увеличением отверстий свыше 1,2 мм получаем перекрытие 75–77 % его диаметра, а при уменьшении отверстия до 0,9 мм происходит сход семян с диска вне зоны их падения в семяпровод. Кроме того, из-за малого диаметра появляется тенденция забивания отверстия ячейки с таким диаметром налетом протравливателя или инкрустатора, имеющегося на поверхности семян лука, что приводит к пропуску при высеве.

Проведенные исследования показали, что пневматическая система дискового высевального аппарата в значительной степени реагирует на изменение диаметра отверстий высевальных дисков, вследствие чего необходимо обеспечивать качественный подбор параметров и конфигураций ячеек к соответствующему виду высеваемого материала.

Таким образом, на предложенном стенде могут проводиться испытания пневматических высевальных аппаратов и

исследование процесса степени присасывания семян различных культур к отверстиям высевающего диска, что позволяет оптимизировать геометрические параметры отверстий и адаптировать их конфигурацию к формоочертанию высеваемого материала.

Эффективность стенда достигается за счет возможности ускоренных испытаний высевающих аппаратов и повышения точности полученных результатов косвенным методом.

### Цитированная литература

1. Патент РФ № 60300: МПК А01С 7/00, опубл. 27.01.2007, бюл. № 3
2. Киреев, И. М. Исследование распределения семян пневматическим высевающим аппаратом точного высева / И. М. Киреев, З. М. Коваль. – Текст : непосредственный // Техника и оборудование для села – № 6. – 2019. – С. 12–16.
3. Патент РФ № 201770: МПК А01С 7/00, опуб. 12.01.2021, бюл. № 2.

УДК 62-2.004.6:531.8

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПОЧВЕННОЙ КОРРОЗИИ

*Ф. М. Ерхан, Н. И. Корнейчук*

*Исследовано влияние физико-химических свойств почв на динамику коррозионной активности и определение величины защитного потенциала для электрохимической защиты металлических конструкций от почвенной коррозии и на динамику образования почвенной коррозии в зависимости от состава почв и его удельного электрического сопротивления.*

**Ключевые слова:** физико-химические свойства почв, металлические конструкции, почвенная коррозия, почва, удельное сопротивление, потенциал нулевого заряда, защитный потенциал.

## INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL ON THE VALUE OF THE PROTECTIVE POTENTIAL OF METAL STRUCTURES FROM SOIL CORROSION

*F. M. Erkhan, N. I. Korneychuk*

*The influence of the physical and chemical properties of soils on the dynamics of corrosion activity and the determination of the protective potential for the electrochemical protection of metal structures from soil corrosion and on the dynamics of soil corrosion formation depending on the composition of soils and its electrical resistivity has been studied.*

**Ключевые слова:** physical and chemical properties of soils, metal structures, soil corrosion, soil, specific resistance, zero charge potential, protective potential.

На основе исследований [1, 2] можно утверждать, что почва представляет собой сложную физико-химическую структуру, и такие факторы, как количество влаги, насыщенность кислородом, концентрация химических соединений, кислотность, способствуют созданию и формированию электролитической среды, обладающей собственной электропроводностью, которая влияет на коррозионную активность почвы и на процесс коррозии металлоконструкций.

Коррозия является одним из наиболее опасных видов разрушения деталей машин и металлоконструкций.

Вследствие коррозии ежегодно теряется до 10 % выплаваемого металла. Кроме того, народное хозяйство несет огромные убытки, связанные с вынужденными простоями по устранению возникающих при этом отказов и снижением эффективности использования систем и объектов.

Проблемы защиты металлических конструкций от почвенной коррозии являются весьма актуальными, так как динамика их использования возрастает из года в год. Для продления срока службы таких конструкций необходимо разрабатывать современные методы их защиты от почвенной коррозии, чтобы сохранить их физико-механические свойства в процессе эксплуатации.

В связи с этим целью настоящей работы является определение величины потенциала нулевого заряда, обеспечивающего эффективную катодную защиту металлоконструкций от почвенной коррозии.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Исследовать влияние условий прокладки, эксплуатации и физико-химических свойств почвы на металлоконструкции (трубопровода) на величину потенциала нулевого заряда.

2. Определить долю сквозных язв в стальных трубопроводах и металлических конструкциях в зависимости от удельного электрического сопротивления грунта.

## Методика исследования

Для создания и поддержания нулевого заряда защитного потенциала был разработан специальный источник тока, который позволяет получить несинусоидальный периодический ток с обратным регулируемым импульсом по фазе.

Формы регулируемых кривых несинусоидального периодического тока с обратным регулируемым импульсом, получаемого с помощью разработанного источника тока, приведены на рис. 1.

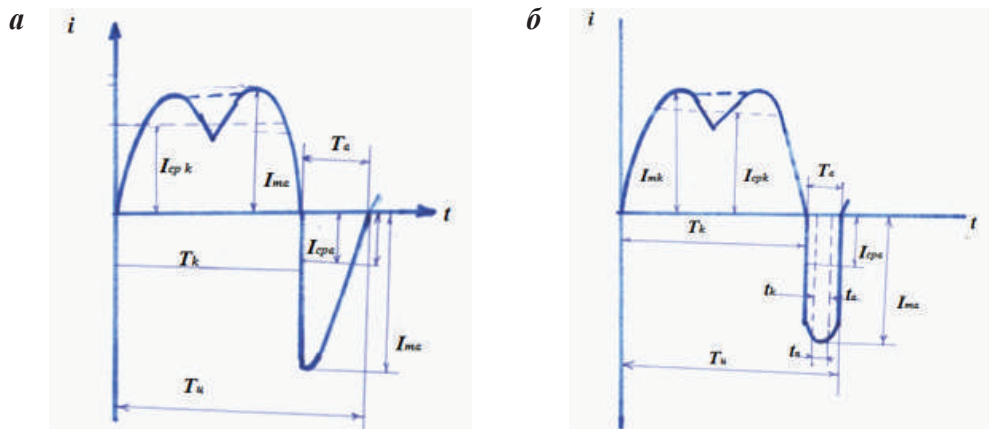


Рис. 1. Формы импульсов с обратным регулированием по величине импульса и фазы

Технические параметры источника тока имеют следующие обозначения:

$i$  – мгновенное значение переменного тока;

$t$  – продолжительность импульсов токов;

$T_k; T_a$  – максимальная продолжительность катодного (прямого) и анодного (обратного) импульсов тока;

$T$  – период несинусоидального импульса тока;

$I_m^k; I_m^a$  – амплитудные значения катодного (прямого) и анодного (обратного) составляющих тока;

$I_{cp}^k; I_{cp}^a$  – средние значения за первой основной гармоникой катодного (прямого) и анодного (обратного) составляющих тока;

$t_n; t_{II}$  – длительность паузы в начале и конце обратного импульса тока;

$t_a$  – длительность обратного импульса тока.

Соотношения между катодным  $I_m^k$  и анодным  $I_m^a$  токами определяется как  $\beta = I_m^k / I_m^a$  и показывает жесткость токовой характеристики.

Соотношение используемой электрической энергии определяется длительностью прямого  $\Delta\tau_{np}$  и обратного  $\Delta\tau_{об}$  импульсов тока при равенстве соответствующих токов  $I_m^k = I_m^a$  и равенстве их продолжительности  $t_a = T_C$  и для разработанного источника тока составляет  $\Delta\tau = \Delta\tau_{np} / \Delta\tau_{об} = 7,4$ .

Максимальная длительность прямого импульса тока  $\Delta\tau_{np}$  при представленных формах кривых несинусоидального тока равна 16,7, а обратного импульса тока  $\Delta\tau_{об} = 3,7$ .

Отношение максимальных длительностей катодного (прямого) и анодного (обратного) импульсов токов равно 4,5, а соотношения напряжений равно 7,5.

Полученные результаты [4] показывают, что лучшие свойства защиты металлических конструкций от почвенной кор-

розии демонстрирует электрохимическая защита, основанная на создании и поддержании защитного потенциала нулевого заряда в дополнительной электрической цепи пульсирующего тока, где защищаемая поверхность металлической конструкции является катодом.

Установлено, что процесс коррозии – многофакторное явление, зависит от ряда факторов: тип почвы (кислотное или щелочное), влажность почвы и ее температура. В зависимости от типа почвы необходимый защитный потенциал нулевого заряда для прекращения процесса коррозии разный.

Особенно динамично коррозия развивается в черноземной почве, это вызвано тем, что удельное сопротивление чернозема сравнительно низкое, а его влажность – 10–20 %.

Необходимо отметить, что почвенная коррозия может протекать более интенсивно вследствие попадания в почву промышленных или бытовых стоков, загрязнения почвы шлаком, щебнем, нахождения в почве металлического лома или разлагающихся органических веществ. Также возрастает коррозионная агрессивность почвы, если ее типичное состояние было изменено искусственно вследствие строительных, сельскохозяйственных или иных работ.

При обосновании защитного потенциала металлических конструкций от почвенной коррозии необходимо отметить, что в соответствии с Единой системой защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС) [4] физико-химические свойства почв, в которых расположены металлические конструкции (трубопровод), температура транспортируемого продукта (для трубопроводов) влияют на значение защитного потенциала при электрохимической защите металлических конструкций.

Коррозионную активность почв по отношению к металлическим конструкциям можно оценить по следующим показателям: удельное сопротивление ( $\rho$ ); потеря

массы образцов ( $\Delta m$ ); плотность поляризующего тока ( $\delta I$ ) и величина защитного потенциала ( $\Delta \phi$ ).

Использование разработанного источника тока позволило нам установить значения потенциала нулевого заряда в зависимости от условий прокладки и эксплуатации металлоконструкции (трубопровода) (табл. 1 и 2).

Для различных типов металлоконструкций и трубопроводов динамика коррозионного образования различна и является функцией, зависящей от температуры среды и почвы.

В зависимости от температуры транспортируемого продукта, при более чем 278 К (5 °С) минимальный поляризационный защитный потенциал равен (–0,8 В) относительно насыщаемого медно-сульфатного электрода сравнения. Минимальный защитный потенциал с омической составляющей при температуре транспортируемого продукта от 323 К (50 °С) до 343 К (70 °С) равен (–1,10 В); от 343 К (70 °С) до 373 К (100 °С) равен (–1,15 В).

Для грунтов с высоким удельным омическим сопротивлением ( $\rho \geq 100, \Omega \cdot \text{м}$ ) значения минимального защитного потен-

циала с омической составляющей должны быть определены экспериментально или аналитическим путем в соответствии с нормативными документами [4, 5].

Для трубопроводов с упрочненной сталью с пределом прочности 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>) и более допускаются поляризационные потенциалы более отрицательные, чем (–1,10 В).

В грунтах с высоким удельным омическим сопротивлением ( $\rho \geq 100, \Omega \cdot \text{м}$ ) допускаются более отрицательные потенциалы с омической составляющей, установленные экспериментально или аналитическим путем в соответствии с нормативными документами.

В современных нормативных документах удельное электрическое сопротивление грунта рассматривается как основная характеристика его коррозионной агрессивности.

Так, в соответствии с [5] коррозионная агрессивность грунта считается низкой при удельном сопротивлении свыше  $\rho > 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , средней – при сопротивлении от  $20 < \rho < 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и высокой – до  $\rho < 20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  [4, 5].

Действительно, проведенные исследования [4] согласовываются с ранее про-

Таблица 1

Минимальные значения защитных потенциалов для металлических конструкций

Условия прокладки и эксплуатации металлоконструкции (трубопровода)	Минимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	Поляризационный	С омической составляющей
Грунт с удельным электрическим сопротивлением не менее ( $\rho \geq 10, \Omega \cdot \text{м}$ ) или содержанием водорастворимых солей не менее 1 г на 1 кг грунта или при температуре продукта не более 293 К (20 °С)	–85	–90
Грунт с удельным электрическим сопротивлением не менее ( $\rho \geq 10, \Omega \cdot \text{м}$ ) или содержанием водорастворимых солей не менее 1 г на 1 кг грунта, при опасном влиянии блуждающих токов или промышленной частотой (50 Гц) и постоянных токов: при возможной микробиологической коррозии, при температуре транспортируемого продукта более чем 293 К (20 °С)	–0,95	–1,05

**Максимальные значения защитных потенциалов для металлических конструкций  
в зависимости от конкретных условий и температуры продукта**

Условия прокладки и эксплуатации металлоконструкции (трубопровода)	Максимальный защитный потенциал относительно насыщенного медно-сульфатного электрода сравнения, В	
	Поляризационный	С омической составляющей
При прокладке трубопровода с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С) В грунтах с удельным электрическим сопротивлением менее ( $\rho \leq 10, \Omega \cdot \text{м}$ ) или подводной прокладке трубопроводов с температурой транспортируемого продукта выше 333 К (60 °С)	-1,10	-1,50
При других условиях прокладки трубопроводов: с битумной изоляцией; с полимерной изоляцией	-1,15 -1,15	-2,50 -3,50

веденными исследованиями [5] о долях сквозных язв в общем числе коррозионных поражений трубопровода в зависимости от удельного сопротивления почв, результаты представлены на рис. 2.

Определение удельного электрического сопротивления грунта ( $\rho$ ) проводят в трассовых или лабораторных условиях в соответствии с рекомендациями [7], измеряя силу тока между соседними электродами, находящимися в исследуемом грунте, которые поляризуются от внешнего источника тока.

Несмотря на то, что удельное электрическое сопротивление грунта, безусловно, является характеристикой его коррозионной агрессивности, полностью полагаться на эту характеристику, оценивая коррозионность грунта, нельзя.

Во-первых, грунт обратной засыпки трубопровода может отличаться от естественного грунта плотностью, влагосодержанием и другими характеристиками, а следовательно, и удельным сопротивлением.

Удельное электрическое сопротивление грунта очень сильно зависит от времени года: весной и осенью, в период

дождей, оно будет падать, в засушливую летнюю погоду – возрастать, поэтому динамика развития почвенной коррозии неоднородна.

На динамику протекания коррозионных явлений особое влияние имеют внешние факторы, к которым можно отнести состав коррозионной среды, pH среды, температуру, удельное электрическое сопротивление почвы, скорость динамики коррозионной среды и другие факторы.

Зависимость скорости коррозии от концентрации водородных ионов (pH) представлена на рис. 3, что соответствует [7].

Из анализа скорости коррозионного процесса и концентрации водородных ионов (pH) в составе раствора, где расположена защищаемая металлическая конструкция, следует, что с ростом концентрации водородных ионов (pH) скорость коррозионного процесса снижается.

Из приведенного анализа следует, что почвы обладают сложной структурой, и детерминированные факторы, такие как количество влаги, насыщенность кислородом, концентрация химических соединений, кислотность (pH) состава, способствуют созданию электролитиче-



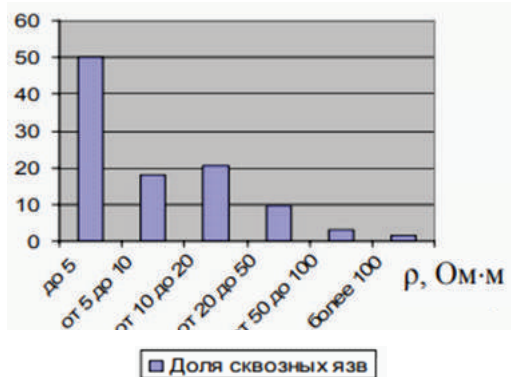


Рис. 2. Зависимость доли сквозных язв в стальных трубопроводах от удельного электрического сопротивления грунта

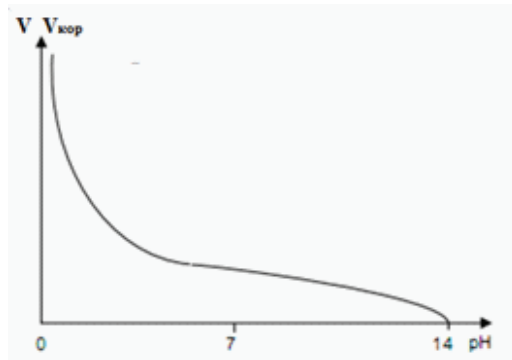


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии от концентрации водородных ионов (pH)

ской среды, которая обладает собственной электропроводностью, что влияет на коррозионную активность почвы и коррозионную устойчивость металлоконструкций.

Динамика скорости коррозионного образования и влияние состава почвы на металлоконструкции носит нелинейный характер, а к определяющим факторам относится удельное электрическое сопротивление почвы ( $\rho$ ) и ее кислотность (pH).

При этом чем больше омическое сопротивление почвы, тем меньше доля дефектов в виде сквозных язв на металлических конструкциях.

Активность почв по отношению к металлическим конструкциям можно оценить по следующим показателям: удельное сопротивление ( $\rho$ ); потеря массы эталонных образцов ( $\Delta m$ ); плотность поляризирующего тока ( $\delta I$ ) и защитного потенциала ( $\Delta\phi$ ).

Установлены предельные значения потенциала нулевого заряда в зависимости от условий прокладки и эксплуатации металлоконструкции (трубопровода), выявлена зависимость доли сквозных язв в стальных трубопроводах от удельного электрического сопротивления грунта.

## Цитированная литература

1. **Крупеников, И. А.** Почвенный покров Молдавии / И. А. Крупеников. – Кишинев : Штиинца, 1992. – 357 с. – Текст : непосредственный.
2. **Монтгомери, Дэвид Р.** Почва: эрозия цивилизации / Дэвид Р. Монтгомери. – Анкара, 2015. – 403 с. – Текст : непосредственный.
3. **Маркович, Р. А.** Коррозия морских гидротехнических сооружений / Р. А. Маркович, А. В. Колгушкин. – Текст : непосредственный // Коррозия «Территории «НЕФТЕГАЗ». – 2009. – № 2 (13). – С. 56–59.
4. **Корнейчук, Н. И.** Электрофизические процессы восстановления и упрочнения деталей машин. Отчет НИР, № гос. регистрации 111700352 / Н. И. Корнейчук, Ф. М. Ерхан. – Тирасполь, 2020. – 168 с. – Текст : непосредственный.
5. **Мальцева, Г. Н.** Коррозия и защита оборудования от коррозии : учебное пособие / Г. Н. Мальцева. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с. – Текст : непосредственный.
6. **Авдеенко, А. П.** Коррозии и защиты металлов / А. П. Авдеенко, А. Е. Поляков. – Краматорск : ДГМА, 2003. – 104 с. – Текст : непосредственный.
7. **Косов, В. П.** Европатент серия № 88031, Базель, Швейцария, 2012.



## УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ОТРАСЛЕВОМ КОНТЕКСТЕ

*Е. А. Царюк, В. Г. Звонкий*

*Рассмотрена методика управления системой подготовки специалистов, умения и навыки которых максимально приближены к современным условиям отраслевого производства региона. Данная методика включает в себя построение оптимальной траектории обучения на базе математических методов моделирования. Она позволит оптимизировать процесс формирования профессионального обучения в непосредственной практической связи с реальной отраслью производства.*

**Ключевые слова:** *инновационный подход, оптимальная траектория, весовые коэффициенты, критерий Кохрена, ранжировка, закон Ципфа.*

## MANAGEMENT OF THE ENGINEERING PERSONNEL TRAINING SYSTEM IN THE INDUSTRY CONTEXT

*E. A. Tsaruk, V. G. Zvonkii*

*The article considers the methodology of managing the system of training specialists as close as possible to the modern conditions of industrial production in the region, by constructing an optimal learning trajectory based on mathematical modeling methods. It will optimize the process of professional training formation in direct practical connection with the real industry of production.*

**Keywords:** *innovative approach, optimal trajectory, weight coefficients, Kohren criterion, ranking, Zipf's law.*

Повышение уровня эффективности системы подготовки инженерных кадров к максимально приближенным условиям отраслевого производства обеспечивается предварительным анализом состояния и тенденций развития отраслей, для которых готовятся кадры; требованиями работодателей к выпускникам; требованиями государственных образовательных стандартов; анализом сложившихся в практике подходов к построению моделей подготовки кадров и применению их в образовательном процессе.

По результатам статистического учета и анализа современного состояния и тенденций развития отраслей были определены предприятия, у которых удельный вес в общем объеме производства является

наибольшим. По результатам анкетирования представителей этих предприятий удалось выделить наиболее сложные профессиональные задачи, с которыми и предстоит справиться молодому специалисту на предприятии, и соотнести их с видами профессиональной деятельности ФГОС по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» [1, с. 131].

Результаты исследования в сочетании с теоретической базой построения моделей подготовки кадров стали основой повышения эффективности управления в условиях компетентностного подхода.

При решении задачи управления применим инновационный подход к разработке методики построения оптимальной траектории обучения на базе математических методов моделирования, что позволит

оптимизировать процесс формирования профессионального обучения и раскрыть потенциал содержательной составляющей общеобразовательных и профессиональных дисциплин, входящих в учебные модули, в непосредственной практической связи с реальной отраслью производства [2, с. 51].

По признакам смысловых межпредметных связей было предложено объединить учебные дисциплины в пять модулей, т. е. провести межпредметную интеграцию. В свете компетентного подхода междисциплинарная интеграция может быть определена по признаку вида деятельности, профессиональных задач и компетенций обучающихся в рамках требований государственных образовательных стандартов.

При формировании компетентной модели применялся метод экспертной оценки для определения перечня компетенций, закрепленных за учебными модулями. В качестве экспертов были привлечены специалисты как выпускающей кафедры «Автоматизация технологических процессов и комплексов», так и смежного направления – кафедры «Машиноведения и технологического оборудования» инженерно-технического института ПГУ.

Экспертная оценка производилась с соблюдением определенных правил:

1. Опрос экспертов происходил в письменной и индивидуальной форме.

2. Анкета состояла из утверждений, можно было дать только однозначный ответ.

3. Контрольным критерием проверки была величина общей трудоемкости плана обучения.

Принимая во внимание, что общая трудоемкость плана обучения составляет 240 зачетных единиц, в расчетах исключены модуль «Государственная итоговая аттестация», общая трудоемкость которого строго зафиксирована вузом, и блок «Дисциплины по выбору», который позволяет обеспечить активное личное участие студентов в формировании своей индивидуальной образовательной траектории.

Далее, в результате экспертной оценки компетенций, отнесенных к каждому из учебных модулей, определим «вес», выраженный в зачетных единицах, который присваивается с учетом требований работодателей (табл. 1). Следует учесть, что в силу общности формулировок компетенций их закрепление возможно зачастую сразу в нескольких блоках. В дальнейшем это позволит проанализировать ситуацию, когда одна и та же компетенция формируется последовательно несколькими дисциплинами в разные отрезки обучения и на каждом этапе своего формирования долж-

Таблица 1

**Пример ранжирования компетенций по видам деятельности в рамках блока «Общественно-инженерный» согласно экспертной оценке**

Вид деятельности	Оценка дисперсии по требованиям работодателя	Вид компетенции	Вес компетенций, соотнесенных с видами деятельности, в зачетных единицах
Научно-исследовательский	84,41	Профессиональные	14,94
Проектно-конструкторский	72,73		17,16
Производственно-технологический	80,85		6,23
Организационно-управленческий	75,06		
		Универсальные	0,65
		Общепрофессиональные	10,36
Итого			54,68

на соответствовать заданному значению уровня сформированности компетенций.

Результатом экспертной оценки должен стать «вес» каждого учебного модуля (в зачетных единицах), определяющий его значимость для общеобразовательной программы, в зависимости с перечнем компетенций по видам деятельности (рис. 1).

Из диаграммы видно, что доля дисциплин общепрофильного и профильного блока наиболее значима. Это объясняется тем, что ведущая целевая функция профессионального образования – это подготовка выпускников вуза к комплексному использованию теоретического и технологического инструментария всех изучаемых дисциплин при целостном решении профессиональных задач.

Для оценки внутренней непротиворечивости ответов экспертов применим метод весовых коэффициентов важности [3, с. 112]. Заполним матрицу ответов и проанжируем объекты по величине весовых коэффициентов важности  $k$ -ого порядка:

$$b_i(k) = \frac{p_i(k)}{\sum_{i=1}^n p_i(k)}, \quad (1)$$

где  $p_i(k)$  – интегрированная важность  $k$ -го порядка для  $i$ -го объекта;  $n$  – число сравниваемых объектов.

Правильность заполнения матрицы и вычисления величин проверим по следующему равенству:

$$\sum_{i=1}^n p_i(1) = n^2. \quad (2)$$

Вычислим коэффициент внутренней непротиворечивости ответов  $l$ -го эксперта по формуле:

$$q_l = \frac{n^3 - \left[ \sum_{i=1}^n p_i(2) \right]_l}{\frac{1}{3} (n^3 - n)}. \quad (3)$$

Результаты обработки анкет позволили получить искомые коэффициенты в диапазоне от 0,976 до 0,998. Следовательно, все эксперты дали непротиворечивые ответы.

Для выделения факторов, вызывающих непримиримые разногласия экспертов, воспользуемся критерием Кохрена:

$$G = \frac{\max(S_i^2(k))}{\sum_{i=1}^n S_i^2(k)} < G_{\text{табл}}(5\%, v_{\text{числ}} = 5, v_{\text{зн}} = 37). \quad (4)$$

Подставляя значения, получим:

$$G = \frac{8,704}{83,788} = 0,1039 < 0,115.$$

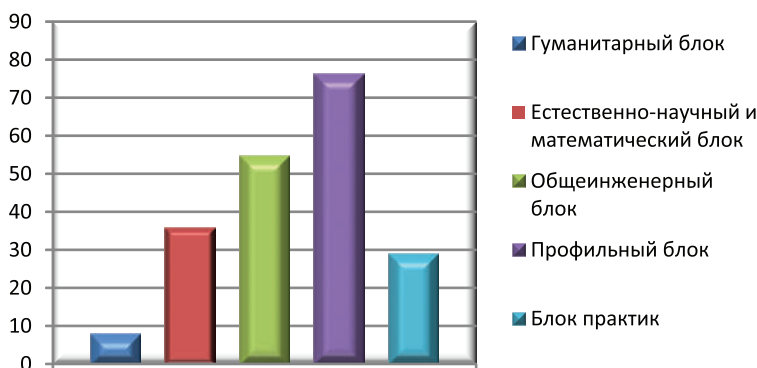


Рис. 1. «Вес» учебных модулей в общеобразовательной программе (в зачетных единицах)

С 95%-й уверенностью доказано, что существенных противоречий в высказывании экспертов по каждому отдельному фактору не имеется. Высказывания экспертов равнозначны.

Проверку правильности выводов экспертизы с помощью коэффициента конкордации произведем по формуле:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \sum_{l=1}^m p_{il}(1) - mn \right)^2}{\frac{1}{3} m \left( m(n^3 - n) - \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m (t_{il}^3 - t_{il}) \right)} \quad (5)$$

Подставляя значения, получим:  $W = 0,6561$ . Тогда расчетный критерий Пирсона рассчитаем по формуле:

$$\chi^2 = m(n-1)W, \quad (6)$$

сравниваем его с табличным значением  $\chi^2_{\text{табл}}(5\%, \nu = 38) = 49,80$ .

При выполнении условия  $\chi^2 = 6.36.0,6561 = 141,72 > 49,80$  найденный коэффициент конкордации признается значимым, т. е. считается, что эксперты высказались в основном согласованно,

противоречий в их мнениях нет, и полученное ранжирование  $b_i(2)$  можно принять за окончательное решение. Для удобства восприятия ранжировку лучше представить как гистограмму, построенную в порядке убывания числовых значений  $b_i(2)$ , взятых в виде процентов. При этом границу значимости ранжируемых факторов определим как средний процент  $b_{\text{ср}}(2) = 100/n, \%$  (рис. 2).

По результатам проведенного исследования можно заключить, что для эффективной реализации основной образовательной программы необходимо дополнить ее дисциплинами, реализующими компетенции, расположенные ниже границы значимости ранжируемых факторов. Эти дисциплины могут быть дисциплинами по выбору обучающихся и давать возможность расширения и /или углубления знаний, умений, навыков и компетенций, определяемых содержанием обязательных дисциплин, позволять студентам получить углубленные знания, навыки и компетенции для успешной профессиональной деятельности [4, с. 757].

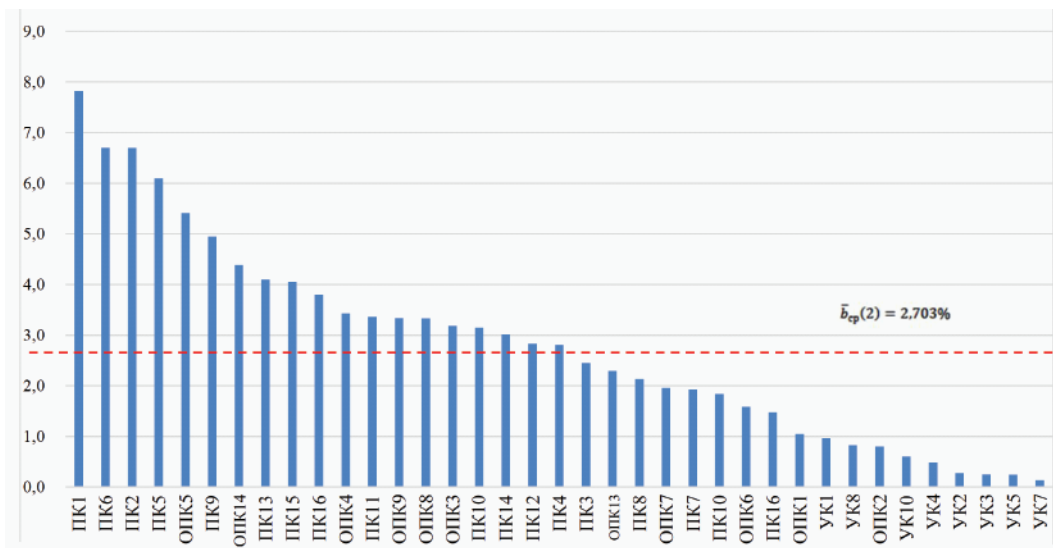


Рис 2. Ранжировка компетенций, взятых в виде процентов

Для окончательного решения вопроса о правильности ранжировки найдем конкретное числовое выражение закона Ципфа:

$$n(r) = \frac{A}{r^\gamma}, \quad (7)$$

где  $n(r)$  – число элементов системы, принадлежащих к виду ранга  $r$ ;  $A$  и  $\gamma$  – некоторые константы, которые по результатам ранжировки получим:  $A = 7,818$ ;  $\gamma = 2,581$ .

Окончательно кривая закона Ципфа определилась как:

$$\tilde{n}(r) = \frac{7,818}{r^{0,258}}. \quad (8)$$

Проверяем правильность получения формулы (5) по критерию Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{37} \frac{[n(r) - \tilde{n}(r)]^2}{\tilde{n}(r)} =$$

$$= 30,697 < \chi_{\text{табл}}^2 (5\%; = 37 - 3 = 34) = 48,50.$$

Это означает, что с 95%-й вероятностью ранжировка факторов проведена экспертами правильно.

Повышение эффективности системы подготовки инженерных кадров обеспечивается вузом, предоставляющим образовательные услуги, а формирование

управленческих решений обеспечивается блоком «Дисциплины по выбору», определенным отраслевым контекстом и спецификой предприятий.

## Цитированная литература

1. **Звонкий, В. Г.** Моделирование и управление системой подготовки инженерных кадров с учетом региональных нужд и интересов / В. Г. Звонкий, Е. А. Царюк. – Текст : непосредственный // Вестник Приднестровского Университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2017. – № 3(57). – С. 131–135.

2. **Звонкий, В. Г.** Информационная поддержка принятия решений при подготовке инженерных кадров / В. Г. Звонкий, Е. А. Царюк. – Текст : непосредственный // Труды Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные системы»: в 2 частях. – Воронеж : Издательство ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021. – Ч. 2. – С. 51–56.

3. **Долгов, Ю. А.** Статистическое моделирование: учебник для вузов / Ю. А. Долгов. – Тирасполь: Полиграфист, 2011. – 348 с. – Текст : непосредственный.

4. **Жужжалов, В. Е.** Современные требования к подготовке инженерных кадров / В. Е. Жужжалов, О. А. Баранова. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2014. – № 2 (61). – С. 757–759. – URL: <https://moluch.ru/archive/61/9238/> (дата обращения: 29.04.2022).

УДК 338.51:331.362

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЯ В УЧЕБНЫХ МАСТЕРСКИХ

С. А. Устименко, В. С. Золотарёв

*Описана краткая методика определения затрат на изготовление изделия в условиях учебных мастерских в рамках учебных практик с использованием экономической теории ценообразования и применением шаблонов взаимосвязанных расчетных таблиц Excel. Данная методика позволяет с учетом затрат на изготовление определить цену изделия.*

**Ключевые слова:** себестоимость, полная себестоимость, производственный процесс, рентабельность продукции, расходы, коммерческие расходы.

## DETERMINATION OF THE COST PRICE OF MANUFACTURING OF THE PRODUCT IN TRAINING WORKSHOPS

S. A. Ustimenko, V. S. Zolotarev

*A brief methodology for determining the cost price of manufacturing a product in the conditions of training workshops within the framework of training practices using the economic theory of pricing and using templates of interconnected Excel calculation tables is described. The methodology allows, taking into account manufacturing costs, to determine the cost price of the product.*

**Keywords:** cost price, full cost price, manufacturing process, product profitability, expenses, business expenses.

Производственный процесс изготовления машины требует затрат живого и овеществленного труда. Поскольку ресурсы человеческого труда представляют собой наивысшую ценность для человеческого общества, то их рациональное расходование предопределяет уровень благосостояния всех членов общества. В процессе производства продукции экономия затрат труда дает ресурсосберегающая технология. Основная задача технологии машиностроения – изготовление машин с наименьшими затратами живого и овеществленного труда, т. е. снижение себестоимости, что является одним из источников повышения материального уровня жизни. При этом снижение себестоимости не должно идти в ущерб качеству продукции, поскольку это обязательное условие ее выпуска [1, с. 489].

Связь между затратами обоих видов труда и их сумму отражает формула се-

бестоимости единицы продукции. Себестоимость продукции – это часть общественного труда, выраженная в денежной форме, которая складывается из затрат на приобретение средств производства и затрат на изготовление и реализацию [2].

Полная производственная себестоимость детали может быть определена методом калькуляции затрат по формуле:

$$C_o = C_m + C_3 + C_3 + C_{\text{доп}} + C_{\text{соц.н.}} + A_o + Y + C_{\text{обп}} + C_{\text{обх}} + K,$$

где  $C_m$  – затраты на основные материалы на одну деталь (1);

$C_3$  – затраты на основную заработную плату (2);

$C_{\text{доп}}$  – затраты на дополнительную заработную плату основных рабочих (3);

$C_{\text{соц.н.}}$  – единый социальный налог (4);

$C_3$  – затраты на энергию для технологических целей (5);

$A_o$  – затраты на амортизацию и ремонт оборудования (6);



У – затраты на содержание помещений (7);

$C_{\text{обп}}$  – общепроизводственные расходы (8);

$C_{\text{обх}}$  – общехозяйственные расходы (9);

К – коммерческие расходы (10).

Проанализировав характер затрат, можно предположить следующее:

– затраты по статьям 2, 3, 4, и 8 могут быть полностью исключены, так как работы выполняются в рамках учебных практик и не подразумевают начисление заработной платы учащимся;

– затраты по статьям 7 и 9 могут быть определены косвенно, исходя из нормативных данных хозяйственной службы ПГУ.

**Целью** исследования является разработка методики определения себестоимости, включающей статьи затрат по пунктам 1, 5, 6, 10.

Таким образом, формула приобретает следующий вид:

$$C_0 = C_M + C_3 + A_0 + U + C_{\text{обх}} + K.$$

Определение себестоимости проводится по статьям затрат в следующей последовательности.

### 1. Затраты на основные материалы

Потребляемое количество основных материалов определяется исходя из массы заготовок с учетом годовой программы выпуска по формуле:

$$M = G_3 \cdot N.$$

При этом затраты на основные материалы на одну деталь рассчитываются по формуле:

$$C_M = H_M \cdot C_M,$$

где  $H_M$  – норма расхода материала на одну деталь с учетом немерных отходов технологических прибылей и др. (кг принимается на 2 % больше массы заготовки);  $C_M$  – цена 1 кг материала, руб.

Для выполнения точного и быстрого расчета данных затрат составляем расчетную таблицу Excel, в которой ячейки

Таблица 1

Расчет затрат на материалы в расчетных таблицах Excel

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К
	Наименование и обозначение материала	Наименование детали	Кол. Деталей в изделии	Количество выпускаемых изделий	Масса, кг	Длина, мм	Единица нормирования определяющая цену определяющие цену	Стоимость единицы нормирования материала, руб.	Стоимость заготовки, руб.	Стоимость материала на программу, руб.
1										
2	<b>итого затраты на материалы</b>								<b>54,9</b>	<b>823,2</b>
3	Уголок В – 50x50x5 ГОСТ8509 – 93 Ст3см2ГОСТ535 – 2005	Корпус	1	15	0,82	243	0,82	25,58	21,0	314,6
4	Крут В1 – II – НД28 ГОСТ2590 – 2006 Ст3см2ГОСТ535 – 2005	Втулка, Пята	1	15	0,2	44	0,044	137,3	6,0	90,6
5	В1 – II – НД17 ГОСТ2590 – 2006 Ст3см2ГОСТ535 – 2005	Винт регулировочный	1	15	0,097	30	0,03	30,2	0,9	13,6
6	В1 – II – НД14 ГОСТ2590 – 2006 Ст3см2ГОСТ535 – 2005	Винт, Ось рычага, Ось поршня	1	15	0,094	100	0,1	20	2,0	30,0
7	В1 – II – НД22 ГОСТ2590 – 2006 Ст3см2ГОСТ535 – 2005	Ось, Клин, Гайка регулировочная	1	15	0,1	130	0,13	73,75	9,6	143,8
8	Труба Ц-Р-20x3-4000 ГОСТ3262-75	Гильза	1	15	0,096	80	0,08	41,6	3,3	49,9
9	Труба Ц-Р-27x4-4000 ГОСТ3262-75	Направляющая	1	15	0,097	70	0,07	53,3	3,7	56,0
10	Труба Ц-Р-20x3-4000 ГОСТ3262-75	Рукоятка	1	15	0,096	80	0,08	41,6	3,3	49,9
11	В – ПН – 0 – 5 ГОСТ19903 – 74 Ст3см2ГОСТ1577 – 93	Серьга	1	15	0,095	75	0,095	26,4	2,5	37,6
12	В – ПН – 0 – 16 ГОСТ19903 – 74 Ст3см2ГОСТ1577 – 93	Рычаг	1	15	0,1	55	0,1	24,75	2,5	37,1

с формулами защищены, чтобы таблица не могла быть повреждена пользователем. Ячейки, в которые вносятся данные о планируемом изделии, открыты.

При расчете пользователь должен точно знать вид и параметры материала заготовки, чтобы заполнить колонки В–Г. Затем необходимо уточнить стоимость этих материалов на рынке с учетом единицы нормирования, так как некоторые материалы нормируются по цене за метр длины и квадратный метр площади, а большинство – за килограмм веса. После этого заполняются колонки Н и I, а дальше расчет выполняется автоматически и результат виден в итоговой строке 2 в колонках J и K.

**2. Затраты на энергию для технологических целей** определяют по формуле:

$$C_3 = \frac{\left( \sum_{i=0}^m N_{эi} \times n_{з.о.} \times T_{шт.i} \right) Ц_3}{60},$$

где  $N_{эi}$  – установленная мощность двигателей станков (кВт) на  $i$ -й технологической операции;

$n_{з.о.}$  – общий коэффициент загрузки электродвигателей станка (0,8–0,9);

$T_{шт.i}$  – штучно-калькуляционное время по операциям технологического процесса, мин;

$Ц_3$  – цена 1 кВт часа электроэнергии, руб.;

$m$  – число операций технологического цикла.

С учетом технических характеристик оборудования мастерских составляется расчетная таблица 2 в том же файле, на следующем листе.

Первые колонки заполнены исходя из имеющегося оборудования в мастерских. Для расчета необходимо заполнить колонки с наименованием обрабатываемых

деталей, количество деталей и суммарное штучное время на изготовление деталей. В колонках G и H внесены расчетные формулы. Кроме того, в таблицу вносятся данные для расчета следующей статьи расходов, затрат на амортизацию и ремонт.

**3. Затраты на амортизацию и ремонт оборудования** могут быть определены по следующей формуле:

$$A_o = \frac{H \times \sum_{i=1}^m \Phi_i \times T_{шт.i}}{100 \times 60 \times Fg},$$

где  $\Phi_i$  – стоимость единицы оборудования на текущий период;

$m$  – количество станков на участке;

$T_{шт.i}$  – штучное время изготовления детали на данном станке, мин;

$H$  – общая норма амортизационных отчислений принимается 15 %;

$Fg$  – годовой фонд времени работы одного станка. Для мастерских этот фонд значительно меньше чем для производственного оборудования, так как учебная практика составляет примерно 1000 часов в год.

**4. Затраты на содержание помещений и общехозяйственные расходы** включают следующие виды отчислений: ремонт, освещение и уборку помещений, затраты на ветошь, моющие и чистящие средства, средства для уборки оборудования (их можно принять фиксированными, исходя из среднегодовых данных по факультету).

**5. Производственная себестоимость**  $C_{пр}$  определяется, таким образом, суммированием всех расходов, кроме коммерческих:

$$C_{пр} = C_m + C_3 + A_o + Y + C_{обх.}$$



Смета расходов, связанных с изготовлением изделия  
в условиях учебных мастерских

№ п/п	Наименование статей	Размерность	Условное обозначение	Затраты
1.	Стоимость заготовки	руб.	$C_M$	<b>54,9</b>
2.	Затраты на электроэнергию	руб.	$C_Э$	<b>19,6</b>
3.	Затраты на ремонт и амортизацию оборудования	руб.	$A_о$	<b>25,8</b>
4.	Затраты на содержание производственной площади участка	руб.	$У$	<b>5,0</b>
5.	Общехозяйственные расходы	руб.	$C_{обх}$	<b>5,0</b>
6.	Итого производственная себестоимость	руб.	$C_{пр}$	<b>110,3</b>
7.	Коммерческие расходы	руб.	$К$	<b>11,0</b>
8.	Полная себестоимость	руб.	$C_о$	<b>121,3</b>
9.	Рентабельность	руб.	$P$	<b>24,3</b>
10.	Цена оптовая единицы продукции	руб.	$Ц_о$	<b>145,5</b>

ние помещений; общехозяйственные расходы.

Таким образом, приведенная методика основана на классической экономической теории ценообразования и адаптирована к условиям производства продукции в учебных мастерских. Таблицы Excel являются самым простым средством расчета себестоимости и цены изделия, они позволяют сэкономить время на выполнение расчета и уменьшить вероятность технических ошибок. Кроме того, возможность изменения исходных данных позволяет быстро вносить коррективы.

Применение готовых простейших расчетных таблиц позволит спланировать затраты в начале учебного года, ориентировать на службы материального обеспечения, на приобретение необходимых материалов, а также в случае востребованности изделий на рынке получать средства для поддержания мастерских в рабочем состоянии.

В перспективе есть возможность создания малых предприятий на базе учебных мастерских, но это потребует наличия специальной структуры, которая будет заниматься вопросами легитимности хозяйственной деятельности, что неизбежно приведет к новым затратам.

### Цитированная литература

1. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учебное пособие для машиностроительных спец. вузов / И. М. Колесов. – Москва : Высшая Школа, 2001. – 591 с. – Текст : непосредственный.
2. Экономика и организация производства в дипломных проектах: учебное пособие для машиностроительных спец. вузов / под редакцией К. М. Великанова. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 285 с. – Текст : непосредственный.

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПЛАТ СЕМЕЙСТВА АРДУИНО

*Е. Н. Аксенов, А. В. Деткова*

*В статье представлены результаты разработки лабораторного стенда для проверки плат Ардуино. Рассматриваемая аппаратно-программная платформа часто используется в образовательных целях для изучения микроконтроллерных систем и робототехнических устройств. Возможность проверки платы перед повторным ее использованием облегчает поиск неисправностей разрабатываемого электронного устройства.*

**Ключевые слова:** *программно-аппаратная платформа, микроконтроллер, лабораторный стенд, структурная схема, принципиальная схема.*

## LABORATORY STAND FOR CHECKING ARDUINO FAMILY BOARDS

*E. N. Akseonov, A. V. Detcova*

*The article presents the results of the development of a laboratory stand for testing Arduino boards. The considered hardware and software platform is often used for educational purposes to study microcontroller systems and robotic devices. The ability to check the board before reusing it makes it easier to troubleshoot the developed electronic device.*

**Keywords:** *software and hardware platform, microcontroller, laboratory bench, block diagram, circuit diagram.*

Появление первых микропроцессоров ознаменовало начало новой эры в развитии микропроцессорной техники. Наличие в одном корпусе большинства системных устройств сделало микроконтроллер подобным обычному компьютеру.

Микроконтроллер – микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ или ПЗУ. По сути, это однокристалльный компьютер, способный выполнять простые задачи [1].

Чтобы собрать устройство на микроконтроллере, необходимо знать основы схемотехники, устройство и работу конкретного процессора, уметь программировать на ассемблере и проектировать

электронную технику. В настоящее время все изменилось. Сейчас существует аппаратно-программная платформа Arduino, предназначенная для сверхбыстрого создания электронных устройств, поддерживаемая разработчиками по всему миру и пользующаяся огромной популярностью в России и за рубежом. Платформа позволяет общаться и взаимодействовать с окружающим миром с помощью всевозможных датчиков, сенсоров, моторов и других узлов. Платформа состоит из двух частей: программной и аппаратной.

В качестве программной части выступает кроссплатформенная среда разработки Arduino IDE, которая может запускаться на операционных системах Windows, Linux, Mac OS. С помощью данной среды можно писать код и программировать платы. В комплекте с программой поставля-

ются многочисленные примеры, библиотеки и удобные утилиты [2].

В качестве аппаратной части выступают различные платы. На сайте производителя их насчитывается уже более двух десятков разновидностей. Так как платформа распространяется весьма свободно, то в продаже можно найти множество клонов и различных плат расширения.

Платформа постоянно развивается, происходит обновление среды разработки, совершенствование старых плат и появление новых. Вместе с каждой библиотекой поставляется пример ее использования. Например, для написания протокола обмена данными с GSM-модулем или со сканером отпечатков пальцев необходимо проверить работоспособность готовой библиотеки или устройства и продолжить работу.

Рассмотрим основные отличия между микропроцессорами и микроконтроллерами. Основная задача микропроцессора – обработка данных по специально написанной программе. Микроконтроллер – это микропроцессор, который предназначен для управления и контроля какого-либо процесса. Например, в компьютере или ноутбуке находится микропроцессор. Он обрабатывает огромный объем данных.

А в микроволновой печи, телевизоре или стиральной машинке находятся уже микроконтроллеры. Они управляют работой этих изделий, используя специально написанную для них программу [2].

Существует множество разных Arduino-совместимых плат. Совместимость означает возможность переноса кода. Написав код один раз для платы Arduino, можно потом использовать его на других платах, учитывая их ограничения. Платы различаются количеством встроенной памяти, частотой процессора (редко), количеством цифровых портов ввода/вывода, аналоговых портов, размерами.

Самые распространенные платы Ардуино – Arduino UNO, Arduino Mega (рис. 1), Arduino Nano.

Все «размеры» и разновидности Ардуино-плат абсолютно совместимы друг с другом. Поэтому проект, созданный на Arduino Nano, ничто не мешает реализовать на Arduino UNO или Arduino Mega, причем ни в коде, ни в схеме переделывать ничего не придется.

Существует большое количество разнообразных лабораторных стендов для изучения микроконтроллерных технологий и программирования, а также создания сложных автоматизированных систем на основе ап-

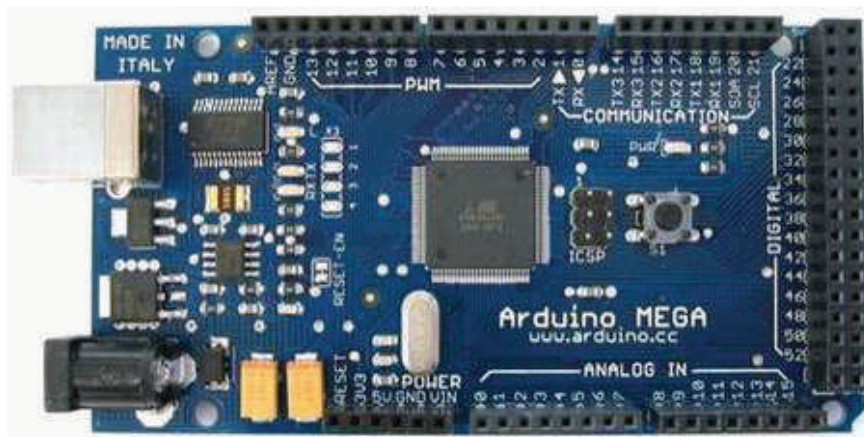


Рис. 1. Плата Arduino Mega



паратно-программной платформы Ардуино. Однако системы проверки и тестирования основных модулей самой платы отсутствуют, хотя необходимость в этом назрела уже давно. Китайские разработчики аналога аппаратно-программной платформы заменяют некоторые оригинальные модули платы на более дешевые и недолговечные.

Рассматриваемая аппаратно-программная платформа часто используется в образовательных целях для изучения микроконтроллерных систем и робототехнических устройств. Благодаря возможности многократного перепрограммирования микроконтроллера, одну и ту же плату можно использовать в разнообразных проектах, что влечет за собой ускоренное старение и износ компонентов платы. Возможность проверки платы перед повторным ее использованием облегчает поиск возможных неисправностей разрабатываемого устройства.

В данной статье представлен результат проектирования лабораторного стенда проверки платы Ардуино по следующим

модулям: узел проверки линий ввода-вывода, узел проверки АЦП и системы питания, узел проверки EEPROM и источника питания с предохранителем. Заодно в процессе работы проверяется мост интерфейса USB-последовательного порта для связи с микроконтроллером.

Разработка лабораторного стенда для тестирования различных модулей Ардуино проходит с использованием программных методов диагностики, применение которых позволит произвести тестирование высокой степени точности и обеспечить необходимую надежность разрабатываемых на основе аппаратно-программной платформы робототехнических устройств.

Рассмотрим структурную схему лабораторного стенда для проверки модулей Ардуино (рис. 2), которая состоит из следующих узлов: проверяемая плата Ардуино, узел проверки линий ввода-вывода, узел проверки АЦП и системы питания, узел проверки EEPROM и источника питания с предохранителем.



Рис. 2. Структурная схема лабораторного стенда

Центральным компонентом лабораторного стенда является проверяемая плата Ардуино. Наиболее распространенная неисправность платы Ардуино – выход из строя одной из цифровых линий ввода-вывода. Узел проверки линий ввода-вывода необходим для проверки всех линий ввода-вывода на исправность: на замыкание цепи питания VCC 5 В, на замыкание с землей и таким образом определяется способность выдавать 0 или 1 на выходе.

Часто выходит из строя аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который не может адекватно преобразовать аналоговое напряжение в цифровой код по какому-либо из каналов. Узел проверки АЦП проверяет все каналы аналого-цифрового преобразователя.

Узел проверки системы питания проверяет исправность стабилизатора напря-

жения платы Ардуино и заданный диапазон напряжения ( $5\text{ В} \pm 10\%$ ).

Энергонезависимое постоянное запоминающее устройство EEPROM гарантирует около 100 тысяч перезаписей этой памяти. При превышении числа перезаписей память EEPROM может неправильно сохранять данные. Узел проверки энергонезависимой памяти проверяет уже записанные данные и сверяет их с необходимыми.

Узел проверки источника питания с предохранителем используется для предотвращения повреждения платы Ардуино при возможном коротком замыкании и сверхтоков.

Принципиальная схема устройства раскрывает основные особенности схемотехнического построения разрабатываемого устройства (рис. 3).

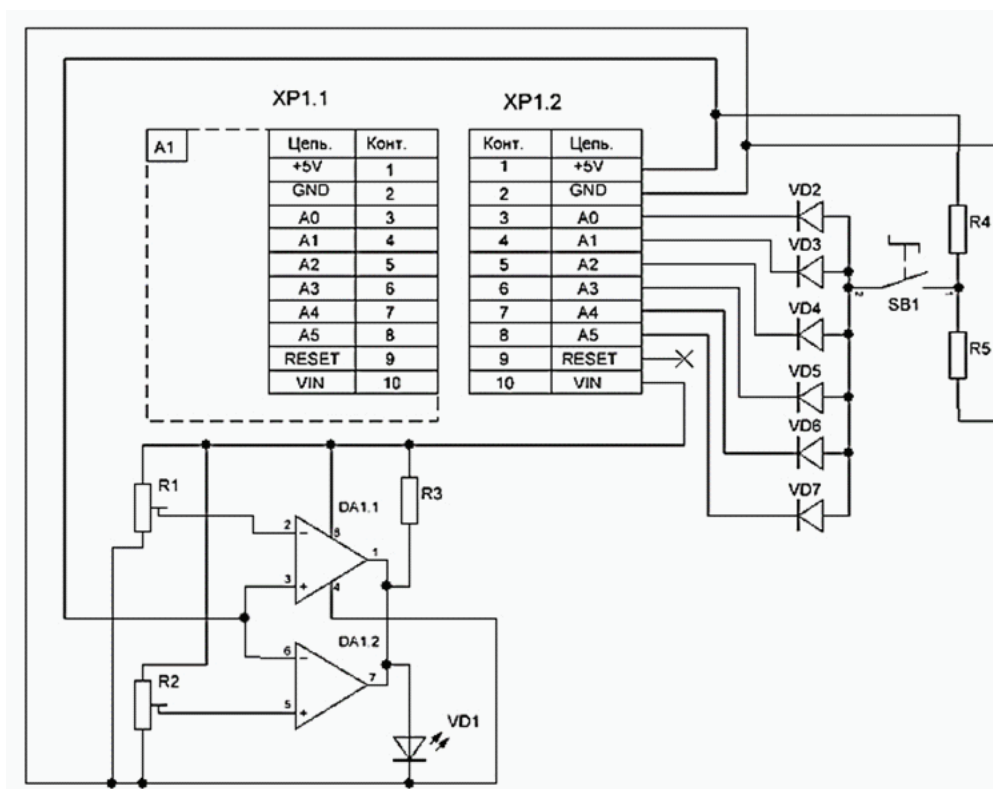


Рис. 3. Принципиальная схема лабораторного стенда

Принципиальные схемы служат основанием для разработки других чертежей, а также используются при наладке и эксплуатации систем автоматизации. Они разрабатываются в соответствии с техническим заданием и на основании решений, принятых в функциональной схеме автоматизации.

Центральным компонентом принципиальной схемы является проверяемая плата Arduino Uno A1 с разъемами  $XP1.1$ ,  $XP1.2$ . К этим разъемам подключаются справа два резистора  $R4$ ,  $R5$ . Они являются делителями напряжения и формируют ровно половину напряжения от источника питания, т. е. 2,5 В.

Резистивный делитель напряжения представляет собой два резистора, включенных последовательно друг за другом и параллельно источнику питания.

Данный делитель рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \times R5 / (R5 + R4).$$

Пример расчета:

Примем

$$U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}, R4 = 1 \text{ кОм}, R5 = 1 \text{ кОм}.$$

$$5 \times 1 / (1 + 1) = 2,5 \text{ В}.$$

На выходе делителя 2,5 В, хотя на входе – 5 В.

Резисторы делителя называют плечами. Верхнее плечо подключено к  $U_{\text{вх}}$ , нижнее – к  $GND$ , т. е.  $R4$  – верхнее плечо,  $R5$  – нижнее плечо.

Если номиналы обоих резисторов равны, напряжение будет поделено пополам. Важно знать, что общее сопротивление делителя должно быть значительно меньше сопротивления нагрузки, подключенной к нему (примерно в 100 раз). Как раз с нагрузкой порта Arduino, настроенного на вход, проблем никаких нет – это десятки

МОм. Но общее сопротивление делителя не должно быть и слишком низким. В этом случае происходят нагрев делителя и расход тока впустую. Общее сопротивление не должно быть ниже 4,7 кОм. Таким образом, идеальный диапазон сопротивлений от 4,7 кОм до 50 кОм

С помощью нажатия кнопки  $SB1$  это напряжение подается на 6 диодов  $VD2$ – $VD7$ , которые развязывают все аналоговые входы Arduino Uno друг от друга, для того чтобы сигналы поступали по каждой линии независимо. Поэтому 2,5 В за вычетом падения напряжения на диоде 0,6 В поступает на каждый из входов, и программно АЦП оценивает все напряжения. При опорном напряжении АЦП 5 В показания АЦП на всех каналах должны быть одинаковы и принимать значения в районе 400 единиц.

Внизу схемы расположен двухпороговый компаратор, который сравнивает напряжение питания Arduino Uno с двумя заданными порогами подстроечных резисторов  $R1$ ,  $R2$  – один выше порога, другой ниже. Если напряжение находится в норме – 5 В  $\pm$  10 %, то светодиод «Готовность»  $VD1$  горит.

Плата Arduino Uno подключается к внешнему источнику питания с цепью предохранителя на 0,5 А.

В процессе загрузки тестовой программы заодно проверяется исправность моста USB-последовательного порта. Если напряжение питания находится в норме, а загрузки не происходит, это означает, что неисправен мост либо целевой микроконтроллер. Но в случае неисправности моста виртуальный последовательный порт не появляется в диспетчере устройств персонального компьютера.

После загрузки тестовой программы происходит проверка линий ввода-вывода, содержимого EEPROM, АЦП. Неисправности других узлов, как правило, не встречаются.

Благодаря возможности многократного перепрограммирования микроконтроллера, одну и ту же плату можно использовать в разнообразных проектах, что влечет за собой ускоренное старение и износ компонентов платы. Возможность проверки платы перед повторным ее использованием облегчает поиск возможных неисправностей разрабатываемого устройства.

Лабораторный стенд для проверки плат семейства Ардуино необходим для проведения практических и лабораторных работ по таким дисциплинам, как «Микропроцессорные системы», «Цифровая схемотехника», «Прикладная электрони-

ка», и поможет обучающимся при отладке автоматизированных и робототехнических устройств.

### Цитированная литература

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – Москва : КноРус, 2013. – 800 с. – Текст : непосредственный.

2. Лабораторные работы по микропроцессорным системам: Методические указания / составители: Е. Н. Аксенов, А. В. Деткова. – Тирасполь, 2016. – 90 с. – Текст : непосредственный.

УДК 004.2

## МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА. ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ

*С. В. Зинченко, Ю. В. Балашова*

*Рассматривается микросервисная архитектура, ее особенности, преимущества и недостатки. Проводятся исследования различий микросервисной архитектуры от стандартной монолитной модели. Приводятся примеры областей применения данной архитектуры.*

**Ключевые слова:** микросервисная архитектура, монолитная архитектура, микросервис, API, приложение, разработка.

## MICROSERVICE ARCHITECTURE. BENEFITS AND FEATURES

*S. V. Zinchenko, Y. V. Balashova*

*The article discusses the microservice architecture, its features, advantages and disadvantages. Research is being carried out on the differences between the microservice architecture and the standard monolithic model. Examples of areas of application of this architecture are given.*

**Keywords:** microservice architecture, monolithic architecture, microservice, API, application, development.

Микросервисы – это тип архитектуры разработки приложений, который позволяет создавать облачные приложения [1].

В последние годы увеличение количества пользователей интернета и повсеместное распространение мобильных вычислений подтолкнули специалистов к разработке приложения с упором на «легкий» автономный компонент.

Разработчикам необходимо быстро развертывать приложения и вносить в них изменения без полного повторного развертывания. Это привело к новой парадигме разработки под названием «микросервисы», в которой приложение разбивается на набор небольших независимых модулей, выполняющих свои функции и взаимодействующих через API (Application Programming Interface – программный интерфейс приложения).

Несмотря на то, что это независимые компоненты, любое количество микросер-

висов может быть задействовано приложением для совместной работы и достижения желаемых результатов.

Архитектура микросервисов, часто называемая микросервисами, представляет собой архитектурный подход или стиль разработки приложений. Он включает в себя разделение больших приложений на более мелкие функциональные блоки, способные функционировать и обмениваться данными независимо друг от друга.

Архитектура микросервисов была разработана для преодоления проблем и трудностей, связанных с монолитными архитектурными подходами к разработке приложений (рис. 1).

Монолитная архитектура похожа на большой контейнер, содержащий все программные компоненты приложения: пользовательский интерфейс, серверную часть и базу данных. У нее было несколько ограничений: негибкость, ненадежность,



Рис. 1. Сравнение монолитной и микросервисной архитектуры

сложность масштабирования, медленная разработка и т. д.

Приложения, работающие по микросервисной архитектуре, деконструируются и разделяются на более мелкие единицы (микросервисы), к которым клиент может получить доступ с помощью шлюза API. Каждый из этих микросервисов развертывается независимо, но при необходимости может взаимодействовать друг с другом.

Проектирование приложений с использованием микросервисной архитектуры позволяет ускорить разработку, упростить обслуживание, обнаружение и устранение ошибок, повысить гибкость, доступность и масштабируемость [2].

**Принципы работы микросервисной архитектуры.** Архитектура микросервисов позволяет разбивать большие и сложные приложения на микросервисы.

Каждый микросервис предназначен для решения конкретных задач и функций приложения. Несколько таких микросервисов объединяются в одно эффективное приложение.

Такое интуитивно понятное функциональное разделение приложения дает несколько преимуществ. Клиент может использовать пользовательский интерфейс для генерации запросов. В то же время один или несколько микросервисов заказываются через API-шлюз для выполнения запрошенной задачи (рис. 2). В результате даже более сложные проблемы, требующие комбинации микросервисов, могут быть решены относительно легко.

**Ключевые преимущества микросервисной архитектуры.** Использование микросервисной архитектуры при разработке приложений может быть очень по-

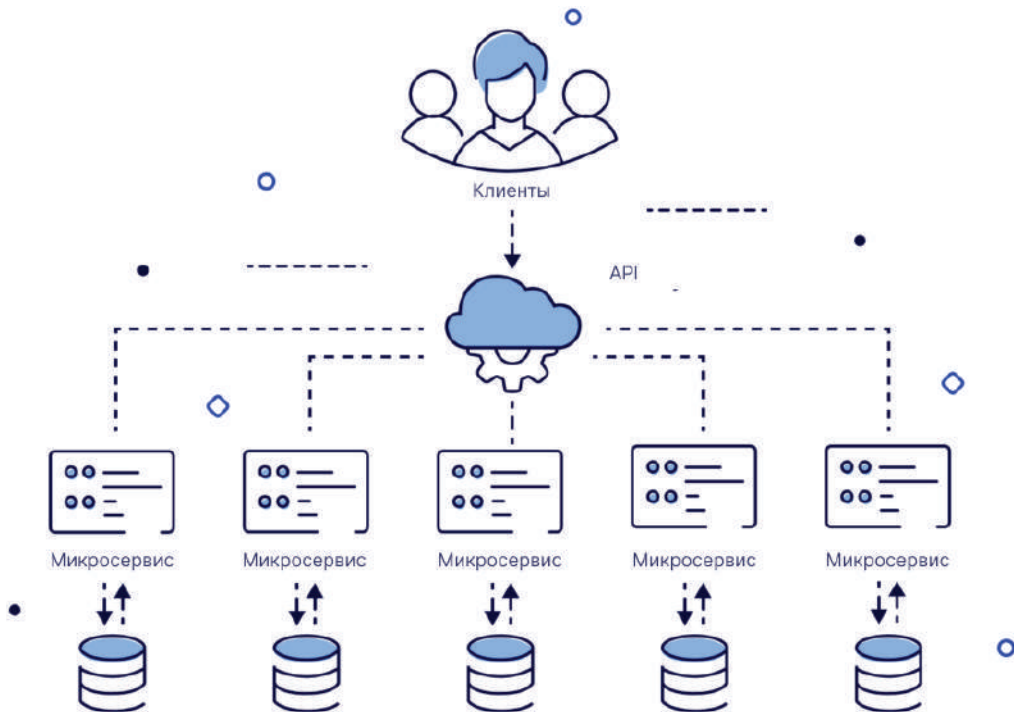


Рис. 2. Пример взаимодействия пользователей с микросервисами



лезным. Ниже приведены некоторые из основных преимуществ.

1. *Требуется меньше усилий по разработке приложения.* Из-за независимости микросервисов небольшие группы разработчиков могут параллельно работать над разными компонентами для обновления существующих функций. Это не только значительно упрощает определение необходимых сервисов, но и улучшает работоспособность приложения в целом.

2. *Возможность независимого развертывания.* Каждый микросервис, составляющий приложение, должен быть «full-stack» (универсальным – прим. ред.) микросервисом. Это позволяет независимо развертывать микросервисы в любой момент. Командам разработчиков легко работать над одним микросервисом, исправлять ошибки, а затем повторно развертывать его без повторного развертывания всего приложения.

3. *Микросервисная архитектура лучше справляется с изоляцией ошибок и багов.* В приложениях с монолитной архитектурой сбой небольшого компонента приложения может сделать его недоступным в целом. С помощью микросервисной архитектуры легко изолировать вызывающий проблемы компонент, поскольку все приложение разделено на автономные, полнофункциональные программные блоки. В случае возникновения ошибок другие несвязанные блоки продолжают функционировать.

4. *Отсутствие зависимости от технологического стека.* Технологический стек является набором языков программирования, баз данных, внешних и внутренних инструментов, сред и других подобных компонентов, используемых разработчиками для создания приложения. С помощью микросервисов разработчики могут свободно выбирать стек технологий, который лучше всего подходит для конкретного микросервиса и его функций.

**Использование микросервисной архитектуры.** Микросервисная архитектура делает разработку приложений более быстрой и эффективной. Возможности гибкого развертывания в сочетании с гибким применением различных технологий значительно сокращают продолжительность цикла разработки. Ниже приведены некоторые из наиболее распространенных областей применения архитектуры микросервисов [3].

1. *Обработка данных.* Микросервисы ускоряют задачи обработки данных, поскольку приложения, работающие на микросервисной архитектуре, могут обрабатывать больше одновременных запросов. Большие объемы информации могут быть обработаны за меньшее время, что обеспечивает более быструю и эффективную работу приложений.

2. *Медиаконтент.* Такие компании, как Netflix и Amazon Prime Video, ежедневно обрабатывают миллиарды запросов. Данные сервисы предлагают своим пользователям объемный медиаконтент. Микросервисы гарантируют, что множество запросов для различных субдоменов по всему миру будет обработано без задержек и ошибок.

3. *Миграция веб-сайта.* Миграция веб-сайта включает в себя существенное изменение и переработку основных областей веб-сайта: домена, структуры, пользовательского интерфейса и т. д. Использование микросервисной архитектуры поможет вам избежать простоев, наносящих ущерб бизнесу, и обеспечит плавное выполнение планов миграции без каких-либо проблем.

4. *Транзакции и счета.* Микросервисы идеально подходят для приложений, обрабатывающих большие объемы платежей и транзакций. Сбой приложения для обработки платежей может привести к огромным убыткам для компаний. С помощью микросервисов функциональность транзакций можно сделать более надежной без изменения остальной части приложения.

---

**Сложности в использовании микросервисной архитектуры.** Архитектура микросервисов сопряжена со множеством проблем, начиная от развертывания и заканчивая эксплуатацией и обслуживанием. Перечислим некоторые из них.

1. Межсервисная связь. Хотя микросервисы могут существовать и функционировать независимо, им часто необходимо взаимодействовать с другими микросервисами для выполнения определенных задач. Это требует поддержки полнофункционального API, служащего каналом связи между несколькими службами, составляющими приложение.

2. Циклические зависимости между сервисами. Циклическая зависимость в архитектуре микросервисов относится к взаимозависимости двух или более модулей приложений. Циклические зависимости могут затруднить масштабирование приложения или независимое развертывание микросервисов и управление ими.

Таким образом, микросервисная архитектура имеет ряд преимуществ перед

монолитной архитектурой. В некоторых случаях использование микросервисов является лучшей практикой разработки программного обеспечения. Крупнейшие разработчики приложений, такие как Google и Microsoft, активно используют микросервисную архитектуру для ряда приложений.

### Цитированная литература

1. Microservice architecture style. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/microservices> (дата обращения: 13.05.2022). – Текст: электронный.

2. What is Microservices Architecture? – URL: <https://cloud.google.com/learn/what-is-microservices-architecture> (дата обращения: 15.05.2022). – Текст: электронный.

3. The What, Why, and How of a Microservices Architecture. – URL: <https://medium.com/hashmapinc/the-what-why-and-how-of-a-microservices-architecture-4179579423a9> (дата обращения: 16.05.2022). – Текст: электронный.

---

# ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

УДК 001.51.

## НАУЧНО-ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С УРОВНЕМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА. РОЛЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ НАУКИ И МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

*Г. К. Дикусар, А. В. Готеляк, А. И. Дикусар*

*Приведены результаты анализа публикационной активности исследователей различных стран по всем отраслям знания (10 ведущих стран в области науки, стран Восточной Европы и СНГ), а также ее динамики за период 2000–2020 гг. по двум показателям: отношение доли вклада в мировой информационный процесс к доле населения страны в населении Земли и количества публикаций на миллион жителей в год. Показано наличие корреляции между этими показателями и уровнем социально-экономического развития общества.*

**Ключевые слова:** науковедение, наукометрия, корреляционный анализ, индекс человеческого развития, публикационная активность, финансирование науки, международное сотрудничество.

## SCIENTIFIC-PUBLICATION ACTIVITY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE LEVEL OF SOCIAL-ECONOMIC DEVELOPMENT OF SOCIETY. THE ROLE OF SCIENCE FUNDING AND INTERNATIONAL COOPERATION

*G. K. Dikusar, A. V. Gotelyak, A. I. Dikusar*

*The results of the publication activity of researches from various countries in all branches of knowledge (10 leading countries in the field of science, Eastern Europe and the CIS countries) as well as its dynamics for 2000–2020 by two indicators: the ratio of the share of contribution in the world information process to the share of countries population in the population of the Earth and the number of publications per million residents of the country per year. The presence of a correlation between these indicators and the level of socio-economic development of society, assessed by the human development index for all groups of countries is shown.*

**Keywords:** science studies, scientometrics, correlation analysis, human development index, publication activity, funding for science, international cooperation.

В Советском Союзе был популярен лозунг «Наука является непосредственной производительной силой общества». Правомерность этих слов не подвергалась сомнению в связи со значительными в тот период достижениями страны в научно-технической сфере. После распада Советского Союза необходимость развития науки в малых республиках бывшего СССР не столь очевидна. В настоящее время разработка методов оценки роли науки в жизни общества, ее влияния на уровень социально-экономического развития является задачей, решение которой принципиально важно для управляющих органов и лиц. Очевидно, что для этого необходимо совершенствование количественных методов оценки взаимосвязи науки с уровнем социально-экономического развития общества.

Развитие подобных методов стало возможным с созданием количественных методов описания науки, в частности, такого раздела науковедения, как наукометрия [1]. Среди известных моделей науки, используемых для описания и анализа ее влияния на различные сферы жизни общества, количественное описание возможно в рамках ее информационной модели. Согласно этой модели «наука – это самоорганизующаяся система, развитие которой управляется ее информационными потоками» [1]. Уже само это определение предполагает наличие нелинейных взаимосвязей и взаимозависимостей в системах «наука – производство», «наука – образование», «наука – социально-экономическое развитие общества» и др. Количественное описание взаимосвязи уровня социально-экономического развития общества и уровня его научного развития возможно только в том случае, если будут введены количественные показатели (желательно, обобщающие) уровня развития различных составляющих системы. Одним из таких показателей является впервые предложен-

ный А.И. Дикусаром [2] коэффициент научного развития (КНР, или  $SDI$  – Science Development Index), представляющий собой отношение доли вклада в мировой информационный процесс (науку) к доле населения страны в населении Земли:

$$\text{КНР (SDI)} = p_s/p_N, \quad (1)$$

где  $p_s$  – доля вклада исследователей конкретной страны в мировой информационный процесс, %, а  $p_N$  – доля населения этой страны в населении Земли, %. Приведенное выше соотношение можно рассматривать в качестве аналога ВВП на душу населения, только в сфере науки. Величина  $p_s$  рассчитывается на основе наукометрических показателей баз данных WoS или Scopus и представляет собой долю количества статей исследователей конкретной страны, опубликованных за определенный период во всех журналах этой базы данных за тот же период. Таким образом, по существу КНР – это показатель научно-публикационной активности исследователей конкретной страны в расчете на душу населения.

В работах [2–5] показано, что между этим показателем и уровнем социально-экономического развития общества имеет место ярко выраженная корреляционная связь с достаточно высоким коэффициентом корреляции, зависящим, однако, от степени развитости науки в том или ином обществе. Количественно же интегральный показатель уровня социально-экономического развития определялся на основе индекса человеческого развития (ИЧР) [6], ежегодно рассчитываемого специальной Комиссией ООН, – показателя, учитывающего уровень экономики страны (ВВП на душу населения с учетом паритета покупательной способности), уровень здравоохранения (средняя продолжительность жизни) и образования (среднее количество лет обучения). В цитированных выше ра-

ботах подчеркивалось, что наблюдаемая зависимость является нелинейной в том смысле, что для исследуемой системы характерна положительная обратная связь, в результате существования которой имеет место взаимное влияние.

Однако очевидно, что описанный выше показатель уровня развития науки далеко не единственный (так же, как и ИЧР – отнюдь не единственный показатель оценки уровня социально-экономического развития общества). Кроме того, оценки исследуемых связей и взаимозависимостей, как правило, справедливы для определенного периода времени, и наблюдается ярко выраженная динамика развития науки и уровня социально-экономического развития общества. Исследование динамики названных взаимосвязей так же, как оценка различных количественных показателей системы, важно не только с точки зрения получения чисто научных результатов, но и для определения трендов современного развития, что имеет безусловный приоритет для адекватных управляющих решений.

Настоящая работа посвящена решению ряда задач. Первая из них заключается в проверке возможности использования для оценки публикационной активности иного (в сравнении с КНР) количественного показателя, аналога коэффициента инновационной активности [7, 8] – числа публикаций в ведущих мировых журналах на миллион жителей конкретной страны в год. Сравнение публикационной активности (ПА) и инновационной активности (ИА), т. е. числа патентов на миллион жителей в год, выдаваемых патентными ведомствами определенных стран, представляет самостоятельный интерес. Однако не меньший интерес представляет динамика описанных выше показателей.

Другая задача заключается в изучении возможности использования ПА в качестве количественного показателя оцен-

ки взаимосвязи уровня развития науки и уровня социально-экономического развития общества.

## Методика исследований

В качестве основной базы анализа использована база данных Scopus, включающая более 22 000 журналов и сборников статей [9]. Анализ проводили по трем группам стран. В первую вошли 10 ведущих стран мира в области науки по количеству статей по всем отраслям знания за 2000 и 2020 годы. Эта десятка не была одной и той же в разные годы (не сильно, но менялась), что явилось следствием различной динамики вклада различных стран в мировой информационный процесс. Вторая группа – страны Восточной Европы, включающие как страны ЕС, так и постсоветские республики, а также страны Восточной Европы, не входящие в ЕС. Специальный анализ проводили для третьей группы – стран СНГ, в состав которых, как известно, входят и страны Восточной Европы, и азиатские страны.

Рассчитывали два показателя публикационной активности: КНР и ПА, определяемую числом публикаций в журналах этой базы данных на миллион жителей в год. Несмотря на близость этих двух показателей по физическому смыслу, они существенно различаются: КНР – это безразмерная величина, более того, она является отношением двух относительных величин, в то время как ПА также является относительной величиной, но размерной (число публикаций на миллион жителей в год).

Уровень социально-экономического развития, как и в более ранних работах [2–5], оценивали по [10], т. е. с использованием ИЧР за 2020 год. Полученные соотношения между публикационной активностью и ИЧР сравнивали с описанными за более ранний период времени.

## Результаты анализа и их обсуждение

### Динамика публикационной активности

В табл. 1 и 2 приведены данные общего количества публикаций, ПА и КНР за 2000 и 2020 годы по всем отраслям знания для десяти ведущих стран мира. Выбор этих стран осуществлен по максимальному количеству публикаций в журналах базы данных Scopus. Необходимо выделить несколько особенностей приводимых показателей:

1. Изменился лидер десятки. В 2000 году безусловным лидером мировой науки были США. По абсолютной публикационной активности исследователи США более чем втрое превосходили аналогичный показатель (второй за 2020 год) Великобритании (см. табл. 1). По результатам 2020 года лидировать стал Китай.

2. Общее количество публикаций растет во всех странах, но в существенно разной степени. Если в США и ведущих европейских странах количество публикаций выросло максимум в 2 раза, то в Китае – в 14. Лидерами роста общего количества публикаций среди ведущих стран являются Китай (рост по сравнению с 2000 годом почти в 14 раз), Индия ( $\approx 9$ ) и Россия (3,7).

3. Если в начале XXI века 72 % всего производимого нового знания «вырабатывалось» в странах, составляющих 35 %

населения Земли, то в 2020 году 79 % производилось в странах, население которых насчитывает около 50 % от населения Земли. И связано это с резким ростом науки в азиатских странах (Китай, Индия).

Интересно сравнить результаты ИА [8] и ПА. Инновационная активность рассчитывается как количество патентов на миллион жителей в год. Мировым лидером ИА в последние годы является Япония ( $\approx 1200$ ). В США этот показатель вырос с 1996 года почти вдвое и в 2012 году был равен  $\approx 460$ . В тройку мировых лидеров в последнее время буквально «ворвался» Китай ( $\approx 240$ ), причем с 1996 года данный показатель вырос в 240 раз. Сравнение этих значений для мировых лидеров ИА (Япония, США, Китай) показывает, что если в США количество патентов на миллион жителей приблизительно на порядок меньше, чем количество публикаций, в Китае – вдвое, то в Японии в настоящее время эти показатели практически не изменились. Учитывая, что ПА Японии за прошедший период осталась приблизительно на одном уровне ( $\approx 1000$  – как в 2000, так и в 2020 годах), можно заключить, что Япония в отличие от других ведущих стран, значительное внимание уделяет не только получению нового знания, но и его применению. В [11] было показано, что учет при оценке

Таблица 1

Публикационная активность ведущих стран мира в 2000 году

Страна	Количество статей, $N \cdot 10^{-3}$	ПА $\cdot 10^{-3}$	КНР
США	371	1,32	6,20
Великобритания	107	1,81	8,40
Япония	104	0,95	4,55
Германия	90	1,10	5,10
Франция	64	1,08	5,10
Китай	52	0,04	0,19
Канада	45	1,47	6,94
Италия	45	1,13	3,50
Россия	35	0,24	1,10
Испания	31	0,77	3,60



Публикационная активность ведущих стран мира в 2020 году

Страна	Количество статей, N·10 <sup>-3</sup>	ПА·10 <sup>-3</sup>	$\frac{ПА_{2020}}{ПА_{2020}}$	КНР	$\frac{КНР_{2020}}{КНР_{2020}}$
Китай	788	0,56	14,0	1,2	6,3
США	767	2,30	1,74	4,8	0,77
Великобритания	249	3,71	2,06	7,8	0,93
Индия	218	0,16	8,9	0,33	3,00
Германия	216	2,60	2,36	5,4	1,06
Италия	155	2,56	2,27	5,3	1,51
Япония	147	1,17	1,23	2,4	0,54
Франция	140	2,15	2,00	4,3	0,84
Канада	132	3,52	2,39	7,4	1,07
Россия	129	0,88	3,67	1,9	1,73

влияния уровня науки не только публикаций, но и патентов приводит к более высоким значениям коэффициента корреляции этого суммарного показателя (КНТР, коэффициент научно-технического развития) с ИЧР. В России ПА приблизительно в 6 раз превышает ИА, которая растет, начиная с 1996 года, и в 2012 году была равна  $\approx 150$ .

Для исследованной группы стран характерно наличие зависимости (взаимного влияния) уровня развития науки и уровня социально-экономического развития, оцениваемого КНР (рис. 1). Количественно она выражается уравнением:

$$\text{ИЧР} = 0,76 + 0,21 \cdot \lg \text{КНР} \quad (2)$$

с коэффициентом корреляции  $R = 0,94 \pm 0,12$  и коэффициентами этого уравнения  $0,76 \pm 0,02$  и  $0,21 \pm 0,03$ .

Следует обратить внимание на два обстоятельства:

1. Полученный коэффициент корреляции заметно выше полученного за более ранний период (2013 год), правда, не для ведущих стран, а для стран ЕС [5, 12]. Однако полученный ранее и описанный в [5, 1] коэффициент корреляции зависимости (2)  $R = 0,86$  был максимальным для различных групп стран. И его увеличение до значения, равного 0,94, следует рас-

сматривать в качестве свидетельства роста степени взаимосвязи рассматриваемых количественных показателей во времени.

2. В пользу этого вывода говорит и рост коэффициента уравнения (2), свидетельствующего об увеличении степени взаимосвязи ИЧР и КНР (0,21 и 0,15 – максимальные значения за разные периоды для стран ЕС) [9]. Следует обратить внимание также на тот факт, что ИЧР Японии при фиксированном значении КНР значительно превышает среднее значение для этого КНР исследуемой группы стран (см. рис. 1). Этот факт является дополнительным свидетельством того, что более обоснованным для установления количественной корреляции является использование КНТР (т. е. учет не только публикаций, но и патентов).

Использование вместо КНР показателя публикационной активности ПА приводит к следующему соотношению:

$$\text{ИЧР} = 0,74 + 0,06 \cdot \lg \text{ПА} \quad (3)$$

с коэффициентом корреляции  $R = 0,79 \pm 0,04$  (соответствующие коэффициенты  $0,74 \pm 0,02$  и  $0,06 \pm 0,02$ ), что может служить веским обоснованием неприменимости этого показателя для количественной оценки взаимосвязи. Очевидная причина

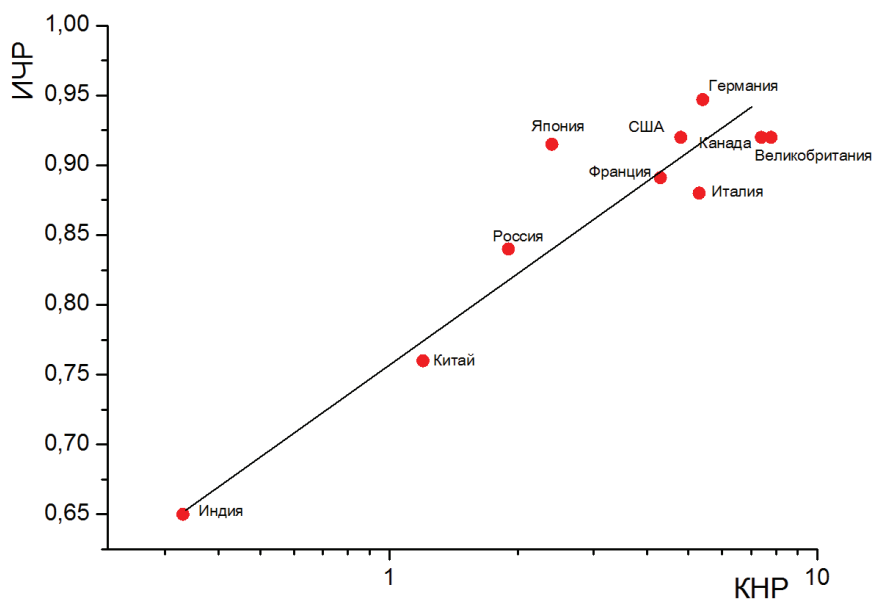


Рис. 1. Зависимость между КНР и ИЧР для ведущих стран в области науки (совокупный вклад в мировой информационный процесс  $\approx 80\%$ )

такого вывода заключается в том, что в отличие от ПА КНР отражает взаимное влияние составляющих системы (например, при росте публикационной активности, измеряемой КНР одной группы стран, КНР других может уменьшаться (см. табл. 2), что является следствием взаимного влияния). Таким образом, показатель ПА может быть использован только для систем с линейными связями, но не для нелинейных зависимостей, характерных для системы «наука – уровень социально-экономического развития».

#### *Роль международного сотрудничества*

КНР как мера публикационной активности, показывающая одновременно уровень научного развития общества, обладает интересной особенностью: эта величина уменьшается с увеличением численности населения (рис. 2, а). Однако аналогичная зависимость наблюдается и для доли международного сотрудничества

(рис. 2, б). Доля международного сотрудничества также связана с публикационной активностью, потому что представляет долю опубликованных и представленных в конкретной базе работ с международным участием, т. е. когда авторами работ являются авторы не только этой страны, но и других стран. Этот показатель также растет во времени у большинства. Например, с 2000 по 2020 годы он вырос у исследователей Китая с 13 до 24 %, США – с 19 до 40 %, Великобритании – с 27 до 61 %, Германии – с 31 до 55 %, Франции – с 33 до 60 %, Италии – с 29 до 50 % и т. д.

Очевидно, что наблюдаемая зависимость КНР от численности населения является следствием влияния уровня международного сотрудничества на эффективность научных исследований, что, в свою очередь, отражает степень взаимного влияния составляющих системы «наука – уровень социально-экономического развития».

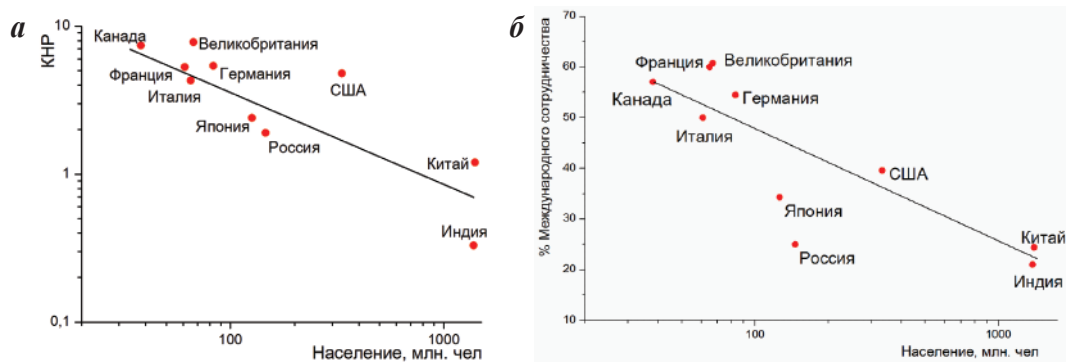


Рис. 2. Зависимость КНР (а) и доли международного сотрудничества (б) от численности населения ведущих стран мира в области публикационной активности (2020 год)

### *Роль финансирования научных исследований*

Описанные эффекты [2–5] взаимного влияния уровня развития науки и уровня социально-экономического развития общества, безусловно, связаны с ее финансированием. Это достаточно наглядно может быть показано на примере стран Восточной Европы, входящих в Европейский Союз, не входящих в него и постсоветских стран. Было показано, в частности, что КНР постсоветских стран находится в линейной зависимости от уровня финансирования науки (в % от ВВП) [12, с. 45]. С другой стороны, там же показано взаимное влияние ИЧР и КНР (соответствующий коэффициент в уравнениях (2) и (3) резко возрос для стран ЕС после принятия Лиссабонского соглашения (2000 г.) о введении в ЕС нормы финансирования науки  $\approx 3\%$  от ВВП с целью поддержки конкурентоспособности этих стран.

В табл. 3–5 представлены данные о публикационной активности различных стран Восточной Европы, из которых видно, что максимальные значения и КНР, и ПА у стран, входящих в ЕС. В зависимости от уровня международного сотрудничества этот показатель варьирует от  $\approx 2$  (Румыния, 40 % международного сотрудничества) до 8 (Словения, 55 % междуна-

родного сотрудничества) (см. табл. 4). В странах Восточной Европы, не входящих в ЕС (и, что естественно, при существенно меньшем уровне финансирования), КНР варьирует от 0,54 (Албания) до 2,7 (Сербия).

Для постсоветских стран максимальное значение КНР (Россия) обусловлено, с одной стороны, максимальным уровнем финансирования среди этих стран ( $\approx 1,2\%$  от ВВП). С другой стороны, относительно низкий уровень международного сотрудничества (25 %) является причиной более низкого значения КНР в сравнении, например, с Сербией (54 % международного сотрудничества). Кажется очевидным, что влияние уровня финансирования и международного сотрудничества не является однозначным, а представляет собой определенный тренд (см. рис. 2). Пример постсоветских стран: несмотря на то, что уровень международного сотрудничества России 25 %, а Молдовы – около 70 %, значительная разница в уровне финансирования (1,2 и 0,25 % от ВВП соответственно) является одной из причин разницы в КНР (1,9 и 0,54).

Совокупное влияние финансирования науки и уровня международного сотрудничества на публикационную активность приводит к таким значениям КНР, которые,

Таблица 3

## Публикационная активность постсоветских стран Восточной Европы в 2020 году

Страна	Количество статей, $N \cdot 10^{-3}$	ПА $\cdot 10^{-3}$	КНР
Россия	129,3	0,89	1,9
Украина	19,61	0,47	1,0
Беларусь	2,88	0,31	0,67
Грузия	2,37	0,64	1,25
Азербайджан	1,96	0,19	0,38
Армения	1,52	0,51	1,06
Молдова	0,63	0,22	0,54

Таблица 4

## Публикационная активность стран Восточной Европы, входящих в ЕС, в 2020 году

Страна	Количество статей, $N \cdot 10^{-3}$	ПА $\cdot 10^{-3}$	КНР
Польша	58,46	1,53	3,2
Чехия	28,25	2,64	5,8
Румыния	17,28	0,90	1,9
Венгрия	14,36	1,48	3,2
Словакия	9,53	1,73	3,7
Хорватия	8,84	2,10	4,4
Словения	7,86	3,80	7,8
Болгария	7,02	1,02	2,1
Литва	5,11	1,83	3,9
Эстония	4,47	3,35	7,1
Латвия	2,8	1,48	3,3

Таблица 5

## Публикационная активность стран Восточной Европы, не входящих в ЕС, в 2020 году

Страна	Количество статей, $N \cdot 10^{-3}$	ПА $\cdot 10^{-3}$	КНР
Сербия	8,90	1,29	2,7
Босния и Герцеговина	1,81	0,52	1,1
Северная Македония	1,12	0,54	1,1
Черногория	0,73	1,18	2,5
Албания	0,69	0,24	0,54

как это следует из рис. 3, находятся в корреляционной зависимости с уровнем социально-экономического развития (ИЧР). Подобная зависимость наблюдается не только в ведущих странах (см. рис. 1), но и в относительно малых странах Восточной Европы, входящих в ЕС, а также странах СНГ (см. рис. 3). Соответствующие количественные соотношения имеют вид:

$$\text{ИЧР} = 0,80 + 0,11 \cdot \lg \text{КНР} \quad (4)$$

с коэффициентом корреляции  $R = 0,85 \pm 0,18$  и коэффициентом взаимного влияния  $0,11 \pm 0,02$  для стран СНГ и

$$\text{ИЧР} = 0,79 + 0,13 \cdot \lg \text{КНР} \quad (5)$$

с коэффициентом корреляции  $R = 0,86 \pm 0,17$  и коэффициентом взаимного влияния  $0,13 \pm 0,13$  для стран ЕС Восточной Европы.

Несмотря на близость соответствующих коэффициентов для стран Восточ-

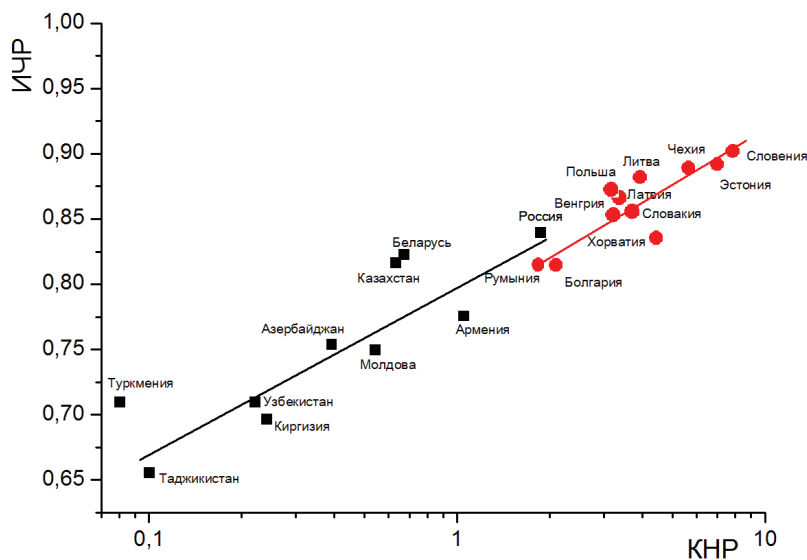


Рис. 3. Зависимость между ИЧР и КНР для стран Восточной Европы, входящих в ЕС, и стран СНГ

ной Европы и стран СНГ и значения ИЧР, показатели КНР выше для стран ЕС, что свидетельствует об определяющей роли финансирования, которая для стран ЕС в настоящее время соответствует  $\approx 3\%$  от ВВП. Одновременно из результатов, приведенных на рис. 3, следует, что не только уровень развития науки определяет уровень социально-экономического развития. При одинаковых значениях КНР для стран СНГ ИЧР выше в странах, имеющих собственные энергетические ресурсы (или имеющих определенные преимущества при доступе к ним) в сравнении со странами, такими ресурсами не обладающими.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что не только для ведущих в научном отношении стран, но и малых (в частности, образовавшихся после распада СССР) имеет место корреляция между уровнем развития науки в стране и уровнем ее социально-экономического развития. Очевидно, что поддержание соответствующего уровня определяется,

прежде всего, финансированием. Но даже если в силу определенных причин его невозможно поддерживать в требуемом объеме, использование международного сотрудничества может существенно повысить уровень развития науки в обществе, а следовательно, учитывая наличие положительной обратной связи, – и уровень социально-экономического развития. Высокий уровень корреляции составляющих системы «наука – уровень социально-экономического развития», наличие в этой системе нелинейных, синергетических связей определяется самой природой науки, которая является не только самоорганизующейся, но и многофункциональной, активно влияющей на различные стороны жизни общества системой.

## Выводы

Анализ публикационной активности ведущих стран в области науки, в том чис-

ле ее динамики, а также стран Восточной Европы и СНГ, оцениваемой различными показателями (КНР, число публикаций на миллион жителей в год), показал, что во всех группах стран наблюдается корреляция между уровнем научного развития общества, оцениваемым публикационной активностью, и уровнем его социально-экономического развития. Особенности этой корреляции состоят в следующем:

– наличие положительной обратной связи между двумя составляющими системы «наука – уровень социально-экономического развития общества»;

– определяющее влияние на составляющие системы финансирования науки и уровня международного сотрудничества;

– динамика и публикационной активности, и степени взаимосвязи составляющих системы свидетельствует о том, что основным трендом является рост ПА в различных странах мира, степень которого максимальна в азиатских странах (Китай, Индия);

– недостаточно высокий уровень финансирования науки в странах СНГ (в сравнении со странами ЕС) приводит к тому, что и КНР, и ИЧР выше в последней группе стран.

### Цитированная литература

1. **Налимов, В. В.** Изучение развития науки как информационного процесса / В. В. Налимов. – Текст: непосредственный // *Наукометрия*. – Москва: Наука, 1969.

2. **Дикусар, А. И.** Взаимное влияние социально-экономического и научного развития общества / А. И. Дикусар. – Текст: непосредственный // *Науковедение*. – 1999. – № 2. – С. 51–74.

3. **Дикусар, А. И.** Место исследователей Молдовы в мировом информационном процессе. Наукометрический анализ / А. И. Дикусар. – Текст: непосредственный // *Akademos*. – 2011. – № 2. – С. 28–35.

5. **Dikusar A. I.** Interdependenta dintre Stiinta Dezvoltarea Economico-Sociala UE, CSI, Republica Moldova / A. I. Dikusar, R. Cujba // *Akademos*. – 2015. – № 1(36). –P. 8–12.

6. **Дикусар, А. И.** Сравнительный анализ взаимосвязи между наукой и социально-экономическим развитием общества в странах ЕС и СНГ / А. И. Дикусар, Р. Кужба. – Текст: непосредственный // *Наука та наукознавство*. – 2015. – № 2(88). – С. 51–57.

7. *Human Development Reports (1990–2019)*. – URL: <http://hdr.undp.org>.

8. IP Statistics Data Center of Intellectual Property Organization. – URL: <http://ipstats.wipo.org/ipstatv2/ipstats/patents> Search.

9. **Архипова, М. Ю.** Статистический анализ и прогнозирование патентной активности России и ряда развитых стран мира / М. Ю. Архипова, Ю. С. Карпов. – Текст: непосредственный // *Вопросы статистики*. – 2014. – № 7. – С. 66–72.

10. *SCImago Journal. Country Rank*. – URL: [www.scimagojr.com](http://www.scimagojr.com).

11. *Human Development Reports 2020*. – URL: <http://hdr.undp.org/en/content/2020-hdr-media-package>

12. **Cujba, R.** Organizarea și autoorganizarea sistemelor de cercetare, dezvoltare și inovare în Republica Moldova. Aspecte sinergetice / Cujba Rodica // *Rezumatul tezei de doctor în științe economice*. – Chișinău, 2021.

13. **Дикусар, А. И.** От идеи к рынку: коммерциализация наукоемкой продукции / А. И. Дикусар, М. А. Кулешова, И. В. Яковец. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2021. – 136 с. – Текст: непосредственный.



## ИНВЕСТИЦИИ КАК ШАГ К СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕСТРОЙКЕ ЭКОНОМИКИ

*А. И. Есир*

*Приводятся теоретические основы сущности экономической категории «инвестиции», обозначается их важность и значимость для развития экономики государства и ее структурной перестройки, направленной на эффективность использования и получения максимального результата от вложений. Проводится анализ и оценка общих социально-экономических характеристик государства, рассматриваются основные показатели по инвестициям в основной капитал государства. Обозначены направления дальнейшего ведения инвестиционной политики государства.*

**Ключевые слова:** *инвестиции, структурная перестройка, экономика государства.*

## INVESTMENTS AS A STEP TO THE STRUCTURAL RESTRUCTURING OF THE ECONOMY

*A. I. Esir*

*In the article, the author gives the theoretical foundations of the essence of the economic category "investment", indicates their importance and significance for the development of the state economy and its restructuring, aimed at the efficiency of use and obtaining the maximum result from investments. The author analyzes and evaluates the general socio-economic characteristics of the state, and also considers the main indicators for investments in fixed capital of the state. Outlines directions for further conduct of the investment policy of the state.*

**Keywords:** *investments, restructuring, state economy.*

Современные экономические процессы для своего развития остро нуждаются в инвестиционных средствах, которые способствуют росту экономики, укреплению государства. Без систематической инвестиционной деятельности и выработанной политики невозможно реализовывать процессы развития, которые заключаются в расширении производства, ассортимента выпускаемой продукции и в конечном итоге ведут к структурной перестройке экономики. Рассмотрим некоторые определения сущности инвестиций.

Инвестиции – долгосрочные вложения капитала (внутри страны или за границей) в предприятия различных отраслей национального хозяйства [1, с. 193].

Инвестиции – долгосрочное вложение капитала в какие-либо предприятия, социально-экономические программы, проекты в собственной стране или за рубежом с целью получения дохода и социального эффекта [2, с. 203]

П. А. Самуэльсон определяет инвестиции как отказ от сегодняшнего потребления с целью увеличения выпуска в будущем [3, с. 783].

В законе ПМР «О государственной поддержке инвестиционной деятельности» инвестициями называются все виды имущества, права на них, а также неимущественные права, вкладываемые инвестором:

а) в уставный фонд (капитал) юридического лица Приднестровской Молдавской Республики;

б) в создание и (или) увеличение долгосрочных активов, используемых для

предпринимательской деятельности юридического лица Приднестровской Молдавской Республики [4].

Инвестиции могут быть классифицированы по определенным признакам, например, по объекту вложения – реальные и финансовые. Реальные инвестиции способствуют развитию производства, а финансовые направлены в такие активы, как ценные бумаги, уставные фонды, депозиты в коммерческих банках и др. В любом случае, основная цель их применения – получение максимальной прибыли инвестором.

Инвестиции в зависимости от страны происхождения могут быть отечественными и иностранными. Следует отметить, что в странах с переходной экономикой отечественных, т. е. внутренних инвестиций не хватает, поэтому они прибегают к созданию условий для притока иностранных инвестиций. Специфической чертой переходных экономик является то, что отток инвестиций за пределы экономики государства по значению больше, чем приток. Такая ситуация является проблемой и определенным барьером для развития экономики и структурной перестройки.

Реальные инвестиции, представляющие собой наибольший интерес для производств и их развития, а значит и для отраслей экономики государства, также могут быть разделены на определенные виды. Например, создание основных фондов предприятия, модернизация производственного процесса, увеличение объемов оборотных активов предприятия, капитальные вложения. Таким образом, инвестиции – это широкое экономическое понятие, имеющее несколько форм и видов реализации. Следовательно, капитальные вложения являются более узким понятием и могут рассматриваться лишь как одна из форм инвестиций, но не как их аналог [5].

На структуру и объем инвестиций в экономике влияют следующие факторы:

уровень накопления; уровень национального дохода; реальная ставка процента; норма прибыли; уровень налогообложения; инвестиционная политика мировой экономики; инвестиционная привлекательность экономики государства и т. д.

Согласно закону ПМР «О государственной поддержке инвестиционной деятельности», инвесторы имеют право осуществлять инвестиции в любые объекты и виды предпринимательской деятельности, кроме случаев, установленных настоящим законом.

Инвестиции на микро- и макроуровне направляются на расширение действующих производств и открытие новых, получение достаточной прибыли для организаций, повышение качества их продукции, осуществление политики расширенного воспроизводства и ускорение научно-технического прогресса, решение социальных и экологических задач, повышение производительности труда, регулирование макроэкономических пропорций и др.

Инвестиции не только решают экономические проблемы, но и способствуют развитию социальной сферы государства, что является одним из его приоритетов.

Все страны стремятся к структурным преобразованиям, которые обеспечат модернизацию их экономик, развитие современных наукоемких производств. Приднестровье для коренной модернизации своей экономики заинтересовано в привлечении иностранных инвестиций, которые можно было бы получить как из соседних стран, так и из стран ближнего и дальнего зарубежья. Потоки иностранного капитала смогли бы решить социальные, экологические и другие проблемы неэкономического характера.

Воздействие инвестиций как на микро-, так и на макроуровне зависит от их объема, и от проводимой в государстве инвестиционной политики. Для со-

вершенствования отраслевой структуры экономики для тех отраслей, которые нуждаются, необходимы не просто капиталовложения, а целевые инвестиции. Отраслевая структура инвестиций является важным фактором обеспечения макроэкономических пропорций. За счет инвестиций растет объем производства, национальный доход, развиваются отрасли и предприятия, удовлетворяющие в большей степени потребности в тех или иных продуктах и услугах.

С ростом накопительной части национального дохода происходит рост инвестиций. Таким образом, чем выше эффективность инвестиций, тем больше рост национального дохода. Высокая эффективность инвестиций дает абсолютный рост национального дохода и способствует росту доли потребления и накопления.

Инвестиции оказывают влияние на решение не только экономических, но и экологических и социальных проблем:

- рост денежных доходов населения;
- искоренение безработицы;
- снижение бедности;
- улучшение жилищных условий и т. д.

Значимость инвестиций в экономическом развитии нашла свое отражение во многих научных теориях. Кейнсианская теория определения оптимальных размеров валового национального продукта (ВВП), при котором экономика достигает состояния равновесия, показывает, что при росте инвестиций рост ВВП будет происходить в гораздо большем размере,

чем первоначально дополнительные инвестиции [5, с. 167].

Структура и объем инвестиций, осуществляемых в стране, во многом зависят от соотношения потребления и накопления в структуре национального дохода. Накопительная часть инвестиций будет тем выше, чем больше будет часть национального дохода, направленная на накопление. Соотношение между накоплением и потреблением не может быть постоянным. Оно изменяется под воздействием многих факторов (доход домашних хозяйств, богатство накопленное, уровень цен, экономические ожидания, величина потребительской задолженности, уровень налогообложения, циклическое развитие экономики). На уровень накопления и потребления значительное влияние оказывают в части накопления степень эффективности использования капитальных вложений и ввода основных фондов, а в части потребления – уровень доходов населения [6, с. 70].

По данным табл. 1 можно отметить, что внутренний валовой продукт в национальной валюте за последние пять лет показывает уверенный рост в период с 2016 по 2019 год, а в 2020 году происходит снижение на 731,3 миллиона рублей или на 5 %. Такая ситуация связана с объявленной Всемирной организацией здравоохранения пандемией, вызванной новой коронавирусной инфекцией. В 2020 году наблюдалось снижение мирового ВВП на рекордный уровень до минус 4,4 %, так-

Таблица 1

Характеристики экономики ПМР в 2016–2020 гг. [7, 8]

Показатели, млн. руб.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
ВВП	11464,6	12298,8	13800,1	14635,3	13904,0
Инвестиции в основной капитал	1085,4	818,0	1387,9	1737,4	1408,0
Ввод в действие основных средств	1262,4	829,2	1398,3	1499,1	1266,0
Денежные доходы населения	9760,6	12769,3	14344,2	16369,5	16108,3
Денежные расходы	9869,8	12075,6	13799,7	15433,1	14862,7
Денежные сбережения населения	-119,7	693,7	544,5	936,4	1245,6

же в этот год Международным валютным фондом было зафиксировано такое экономическое явление, как «остановка экономики».

Если в период с 2016 по 2019 год можем отметить рост и положительную динамику всех анализируемых показателей, что свидетельствует об улучшении инвестиционной составляющей экономики ПМР, то в 2020 году уже снижается ВВП, что рассматривается как отрицательное явление. Такая же тенденция наблюдается по остальным строкам, приведенным в таблице, т. е. в период с 2016 по 2019 год наблюдается рост ввода в действие основных средств, денежных доходов и расходов населения за исключением денежных сбережений населения, которые увеличились по сравнению с 2019 годом до величины 1 245,6 млн руб. (на 33,02 %). Таким образом, население в условиях кризиса уменьшило расходы и увеличило свои сбережения, что характерно для экономических кризисных явлений.

Соотношения между денежными доходами населения и накоплениями влияют на формирование других пропорций в экономике. Одними из важнейших характеристик национальной экономики являются сложившиеся макроэкономические пропорции, которые лежат в основе сбалансированности национальной экономики. В 2020 году происходит снижение доходов населения по причине экономического кризиса на фоне увеличения денежных сбережений, что подтверждает отсутствие условий для увеличения инвестирования со стороны населения государства.

Макроэкономические пропорции предполагают такое распределение общественного труда между отраслями и сферами экономики, которое обеспечивает их сбалансированное развитие и удовлетворение общественных потребностей. Особенности формирования макроэкономических пропорций зависят от типа национальной экономики.

Макроэкономические пропорции составляют систему из следующих элементов:

- общеэкономические – между сферами экономики;
- межотраслевые – количественные и качественные соотношения между отраслями;
- внутриотраслевые – между взаимосвязанными производствами внутри одной отрасли;
- территориальные – соотношения в границах определенной территории или между различными экономическими районами;
- межгосударственные – количественные и качественные соотношения между макроэкономическими показателями отдельных государств.

Важно подчеркнуть, что на практике сбалансированность и пропорциональность неустойчивы и постоянно нарушаются.

Диспропорции могут возникнуть как в результате экономического роста, так и в периоды экономического кризиса, резкого изменения международной обстановки и других факторов. Поэтому постоянно имеется необходимость поддерживать сбалансированность путем корректировки пропорций. Преобразование пропорций воспроизводства и структуры народного хозяйства – особо сложный процесс. Он не может быть осуществлен в короткие сроки, так как для этого требуются крупные капиталовложения и достаточно длительный инвестиционный период.

Рассмотрим макроэкономическое воздействие инвестиций на примере экономики ПМР. Следует отметить, что достижение высокого экономического роста возможно именно за счет роста инвестиционных вложений.

На основании данных табл. 2 делаем вывод, что в Приднестровье инвестиции в основной капитал увеличились в период с

2017 по 2019 год до 1 737 421 тыс. руб., а в 2020 году – снизились до 1 407 950 тыс. руб. (на 18,96 %), что связано с кризисом в мировой экономике. Анализ инвестиций производственного назначения также показывает рост с 2017 по 2019 год и снижение в 2020 году на 28,7 %. Инвестиции непромышленного назначения в 2020 году показывают не снижение (как по другим показателям), а рост до 335 458 тыс. руб., т. е. на 43,84 % по сравнению с 2019 годом. Это происходит за счет реализации государственной программы по капитальным вложениям, направленным на реконструкцию и обновление объектов социальной направленности.

Вместе с тем одной из главных причин наличия диспропорций в экономике Приднестровья является неоптимальное состояние отраслевой и территориальной структуры инвестиций.

Рассмотрим в табл. 3 отраслевую структуру инвестиций. Наибольшую долю в общей сумме инвестиций в основ-

ной капитал занимает промышленность, в 2019 году ее доля составляет 44,75 %, в 2020 году – 34,86 % (наблюдается снижение по причине кризиса и уменьшения общей величины инвестиций в основной капитал). Снижение влияния инвестиций в 2020 году по сравнению с 2019 в промышленности составляет 36,87 %, хотя в 2020 году все отрасли народного хозяйства показывают снижение за исключением жилищного строительства, по которому вложения в 2020 году соответствуют величине 18 395 тыс. руб. Государство реализует политику капитальных вложений в объекты социального значения даже в условиях кризиса. Одной из главных отраслей экономики для нашего государства является сельское хозяйство, так как наш регион обладает хорошими климатическими условиями. На протяжении всего пятилетнего периода инвестиции в сельское хозяйство показывают рост в 2019 году до 280 068 тыс. руб., а в 2020 году происходит незначительное сни-

Таблица 2

**Основные показатели по инвестициям в основной капитал  
(без субъектов малого предпринимательства), тыс. руб. [7, 8]**

Инвестиции в основной капитал	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Всего	1 085 362	818 024	1 387 909	1 737 421	1 407 950
Объекты производственного назначения	827 166	614 266	1 179 112	1 504 209	1 072 492
Объекты непромышленного назначения	258 196	203 758	208 797	233 212	335 458

Таблица 3

**Инвестиции в основной капитал по основным отраслям экономики  
(без субъектов малого предпринимательства), тыс. руб. [7, 8]**

Инвестиции в основной капитал	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Всего	1 085 362	818 024	1 387 909	1 737 421	1 407 950
Промышленность	438 327	308 447	687 721	777 571	490 851
Сельское хозяйство	64 474	111 919	218 762	280 068	275 902
Транспорт и связь	178 404	91 511	154 670	176 510	132 252
Строительство	10 061	3 979	3 313	10 278	7 152
Жилищное строительство	6 752	6 741	2 422	2 671	18 395
Прочие отрасли	387 344	295 427	321 021	490 323	483 398

жение до 275 902 тыс. руб. (на 1,49 %). Транспорт и связь показывают снижение в 2020 году до 132 252 тыс. руб. (на 25,07 %) по сравнению с 2019 годом. Прочие отрасли государства также демонстрируют небольшое снижение в 2020 году до 483 398 тыс. руб. (на 1,41 %) по сравнению с 2019 годом.

Таким образом, анализ инвестиций в основной капитал по отраслям народного хозяйства государства показал, что падение в 2020 году произошло по всем отраслям народного хозяйства за исключением жилищного строительства. Наибольшее снижение в 2020 году отмечается в промышленности, что можно рассматривать как негативный фактор по причине ее важности для развития государства.

Полученные выводы говорят о том, что отраслевая структура, которая находится в неоптимальном состоянии, повлияла на формирование структуры ВВП. Для обеспечения занятости необходимо увеличить инвестиции в трудоемкие отрасли (гостиничный бизнес, туризм, розничная торговля).

Наряду с низкой долей выпуска продукции по экономическим районам ПМР, так как основная доля промышленности сосредоточена в г. Тирасполе, инвестиции в основной капитал составляют еще меньше. Такое положение в районах ограничивает эффективное использование трудовых ресурсов, делает актуальной проблему занятости. Низкий уровень производства в районах связан с недостаточным удовлетворением их потребности в инвестициях. Только незначительная часть вложенных инвестиций в экономику страны приходится на их долю. Как показывает анализ, регулирование в стране макроэкономических пропорций и обеспечение макроэкономической стабильности зависит как от объема инвестиционных вложений, так и от их территориальной и отраслевой структуры, поэтому государственная ин-

вестиционная политика, разработанная в рамках экономической политики развития государства должна содержать следующие факторы: количественное определение отраслевых и местных потребностей в инвестициях внутренних и внешних; оптимальное соотношение отраслевой и территориальной структуры инвестиций; совершенствование инвестиционного климата и системы страхования инвестиций; расширение возможностей организаций по реинвестированию; финансирование инвестиционных программ регионального развития и т. д.

Подводя итог, следует отметить, что инвестиции могут быть обозначены как формы и виды вложений капитала с целью решения определенной задачи как финансовой, так и социальной. Наибольший интерес для государства представляют собой реальные инвестиции, способствующие развитию производства в экономике государства, увеличению ВВП. Инвестиции влияют на уровень развития отраслей народного хозяйства, на занятость населения, их доходы и расходы, а также и сбережения денежных средств. Проанализировав основные показатели, касающиеся инвестиций, мы пришли к выводу, что рост просматривался включительно до 2019 года, а в 2020 году инвестиционная активность снизилась по причине пандемии, связанной с новой коронавирусной инфекцией, и «остановки экономики». Инвестиции непроизводственного назначения показывают рост даже в 2020 году, что связано с реализацией государственной программы капитальных вложений в социальные объекты республики. В отраслях народного хозяйства в 2020 году происходит снижение вложений (за исключением жилищного строительства, так как эта отрасль была профинансирована и поддержана государством). Государству необходимо решить обнаруженные в результате анализа проблемы.



**Цитированная литература**

1. Чернопятов, А. М. Экономика: учебник / А. П. Чернопятов. – Москва : Директ-Медиа, 2022. – 282 с. – Текст : непосредственный.
2. Нешитой, А. С. Инвестиции: учебник / А. С. Нешитой. – Москва : ИТК «Дашков и К», 2017. – 372 с. – Текст : непосредственный.
3. Самуэльсон, П. А. Экономика: учебник / П. А. Самуэльсон, В. Д. Нордхаус. – Москва : Бинном, 1999. – 800 с. – Текст : непосредственный.
4. Закон ПМР «О государственной поддержке инвестиционной деятельности», текущая редакция на 21.10.2021 года. – Текст : непосредственный.
5. Бланк, И. А. Основы инвестиционного менеджмента: [в 2 томах] / И. А. Бланк. – Москва : Омега – Л, 2008. – 660 с. – Текст : непосредственный.
6. Вейс, Т. П. Оценка инвестиций РФ в основной капитал в современных условиях / Т. П. Вейс. – Текст : непосредственный // Вестник Тульского филиала Финансового университета. – 2019. – № 1–1. – С. 67–72.
7. Статистический ежегодник Приднестровской Молдавской Республики – 2019 / Государственная служба статистики Приднестровской Молдавской Республики. – Тирасполь, 2019 – 187 с. – Текст : непосредственный.
8. Статистический ежегодник Приднестровской Молдавской Республики – 2020 / Государственная служба статистики Приднестровской Молдавской Республики. – Тирасполь, 2020 – 190 с. – Текст : непосредственный.

УДК 657

**ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНОЙ  
УЧЕТНОЙ ПОЛИТИКИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ***Т. П. Стасюк, В. Б. Зейдан*

*Сформулированы и обоснованы проблемы разработки эффективной учетной политики экономического субъекта, которые важно учитывать как при построении системы бухгалтерского учета, так и при проведении аудита и оказании сопутствующих аудиторских услуг. Также приведены некоторые пути решения обозначенных проблем, применение которых на практике будет способствовать разработке грамотной, полной и эффективной учетной политики предприятий, организаций, фирм.*

**Ключевые слова:** *учетная политика, проблемы формирования учетной политики, эффективность учетной политики.*

**PROBLEMS OF DEVELOPING AN EFFECTIVE ACCOUNTING POLICY  
IN MODERN PRACTICE OF ECONOMIC SUBJECTS***T. P. Stasyuk, V. B. Zeidan*

*The article formulates and substantiates the key problems of developing an effective accounting policy of an economic entity, which are important to take into account both when building an accounting system, and when conducting an audit and providing related audit services. Some ways of solving the*

*identified problems are also given, the application of which in practice will contribute to the development of a competent, complete and effective accounting policy of enterprises, organizations, firms.*

**Keywords:** *accounting policy, problems of formation of accounting policy, effectiveness of accounting policy.*

Действующая практика хозяйствования экономических субъектов, состояние их учетных систем, влияние методов и способов оценки и учета отдельных объектов на конкретные экономические показатели деятельности доказывают необходимость формирования эффективной учетной политики, т. е. политики, которая не только соответствует нормам законодательства, но и является инструментом, обеспечивающим получение максимальной прибыли и лучших показателей деятельности экономического субъекта и эффективного управления им.

Разработанная и принятая учетная политика в настоящее время является одной из форм финансовой отчетности и информационным источником ее чтения и понимания.

Вопросам формирования и оценки эффективности учетной политики посвящены труды М. Д. Акатьева, М. В. Беспалова, Н. Ю. Муравьевой, И. Ю. Никонова, Л. А. Парамонова, Ф. Н. Филина, А. И. Сумцова, Д. В. Формусатий.

Значимость учетной политики для предприятия зачастую недооценивается внутренними пользователями, что влечет за собой негативные последствия в деятельности предприятия, организаций, фирм [1]. При грамотном подходе к разработке учетной политики можно добиться весьма существенного повышения эффективности предпринимательской деятельности, оптимизировать налогообложение, рационально распределить функциональные обязанности между структурными подразделениями и исполнителями организации. Значение учетной политики организации в целях как бухгалтерского учета, так и аудита представлено на рисунке.

На практике зачастую не оценивается экономическая эффективность закреплен-

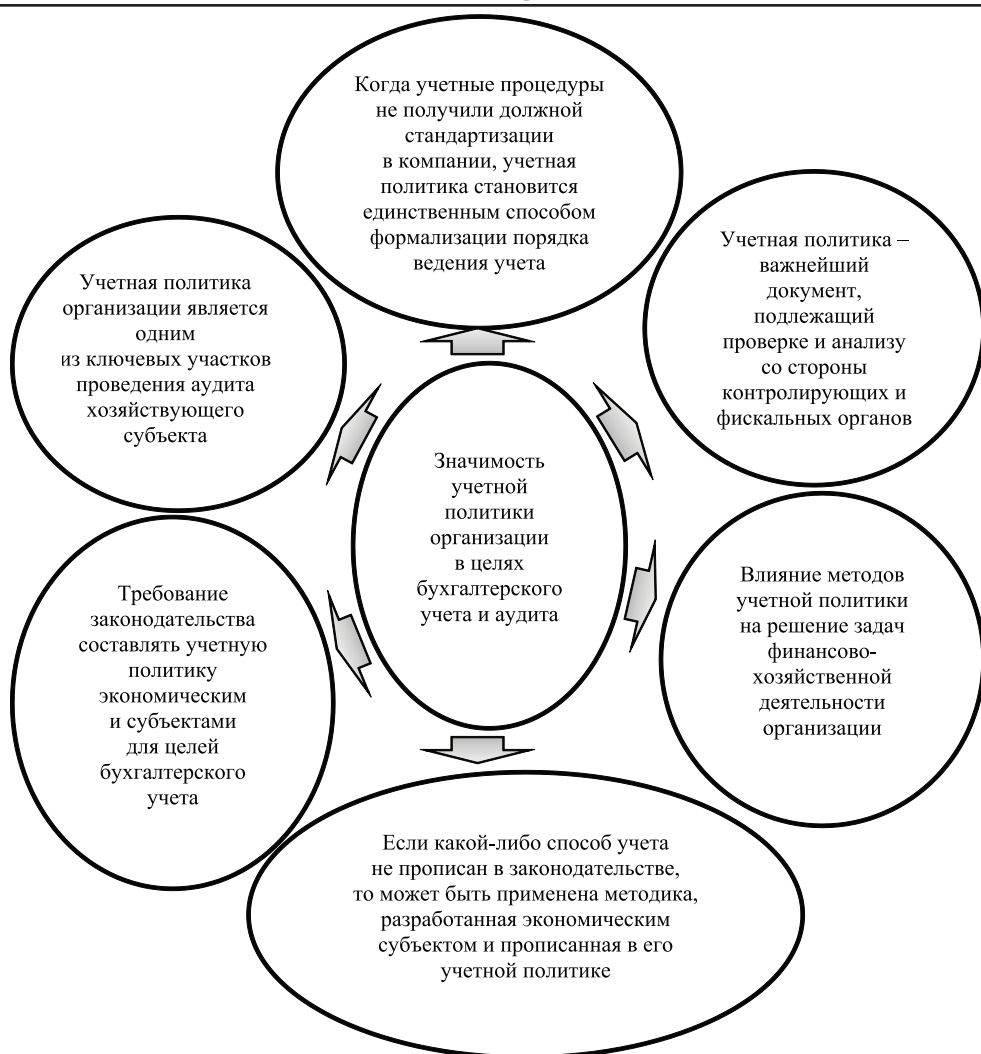
ных в учетной политике способов и методов учета.

**Эффективная учетная политика** представляет собой разработанный на базе грамотного профессионального суждения локальный нормативный акт, включающий совокупность оптимальных и экономически обоснованных методов и способов ведения учета, учитывающих отраслевую специфику и стратегические цели развития экономического субъекта и способствующих получению максимального эффекта от функционирования системы учета в рамках действующего законодательства [2, с. 103].

Формирование учетной политики организации требует от составителей и большого практического опыта в сфере бухгалтерского учета, и максимального внимания. С помощью учетной политики можно эффективно управлять всеми финансовыми ресурсами, а утвержденные элементы учетной политики оказывают влияние на формирование налоговых обязательств перед бюджетом и внебюджетными фондами.

Разработка учетной политики – достаточно трудоемкий процесс, обусловленный рядом проблем, возникающих на всех этапах работы над учетной политикой, начиная с определения приоритетных направлений построения системы учета в организации, техники ведения учета и заканчивая конкретными способами и методами бухгалтерского учета, которые влияют на оценку и принятие экономических решений пользователями финансовой отчетности.

Рассмотрим подробнее ряд проблем в процессе разработки эффективной учетной политики, имеющих ключевое значение как для системы бухгалтерского учета, так и для аудита и оказания сопутствующих аудиторских услуг.



Значение учетной политики организации в системе бухгалтерского учета и аудита

1. Проблема согласования поставленных при формировании и совершенствовании учетной политики целей для принятия решений по выбору способов ведения учета. Обозначенная проблема является одной из самых сложных.

2. Проблема сближения в учетной политике требований различных учетных систем бухгалтерского и налогового учета, учета в соответствии с международными стандартами, систем учета раз-

личных компаний, входящих в группу. Так, сложность законодательства в области налогообложения делает логичным и рациональным стремление бухгалтеров отождествить бухгалтерский и налоговый учет. При разработке и совершенствовании учетной политики она может также преследовать цель сближения с МСФО. Сближение учетных норм позволит снизить затраты на проведение трансформационных процедур [3, с. 59].

3. Проблема некоторой стандартизации при подготовке учетной политики. Данная проблема заключается в том, что при разработке учетной политики не берут во внимание отраслевые особенности экономического субъекта, его экономическое положение, влияние закрепленных методов учета на конечный результат деятельности и иные аспекты. В результате главный бухгалтер формально относится к подготовке обозначенного локального нормативного акта и воспринимает процесс как обязанность, т. е. наблюдается приоритет формы над содержанием.

4. Проблема законодательной базы, на основании которой формируется учетная политика. Суть проблемы в том, что учетное законодательство в Приднестровье очень часто меняется, содержит множество разнообразных законов, подзаконных актов, инструкций и постановлений, которые зачастую противоречат друг другу [4].

5. Недостаточная компетентность и осведомленность главных бухгалтеров о современных методиках и алгоритмах разработки учетной политики, сложности в процессе самостоятельной разработки отдельных методологических аспектов учета, закрепляемых в учетной политике ввиду отсутствия законодательной регламентации отражения в бухгалтерском учете тех или иных операций и действий; изучение последних изменений в законодательстве, термина «эффективность учетной политики»; оценка влияния закрепленных в учетной политике способов и методов учета на финансовые показатели предприятия, что впоследствии найдет отражение в финансовой отчетности [5, с. 17].

6. Проблема неполного раскрытия организационного, технического, методологического, налогового и управленческого аспектов учетной политики [6, с. 195].

7. Проблема выбора и закрепления оптимальных и наиболее экономически целесообразных для конкретного пред-

приятия, организации, фирмы способов и методов учета.

8. Проблема применения грамотного профессионального суждения бухгалтера при формировании учетной политики. Суть проблемы заключается в том, что при подготовке учетной политики компании необходимо принять во внимание показатели, определяемые расчетным путем на базе профессионального суждения бухгалтера, в частности проведение оценки на предмет обесценения и определения резерва по сомнительным долгам в отношении дебиторской задолженности, расчет резерва под возможное снижение стоимости материальных ценностей, определение справедливой стоимости активов и обязательств, определение срока полезного использования актива и др. Эти показатели оказывают влияние на достоверность финансовой отчетности и, как следствие, на решения, принимаемые пользователями на основании ее показателей, следовательно, применение необоснованных расчетных оценок прямо или косвенно влияет на итоговый финансовый результат хозяйственной деятельности предприятия, а также снижает степень надежности финансовой отчетности [7, с. 13].

9. Отсутствие аналитического аспекта учетной политики, который предполагает проведение специальных расчетов для определения наиболее целесообразных вариантов методов и способов ведения учета, а также систему показателей, возможных к использованию при проведении комплексного анализа финансового состояния в целях повышения эффективности учетной политики [8, с. 164].

10. Отсутствие на предприятиях системы контроля применения закрепленных в учетной политике методов и способов ведения учета, а также внесенных изменений, порядка раскрытия и формирования учетной политики [6, с. 114].

11. Проблема отсутствия механизма систематического проведения процедур

оценки эффективности учетной политики (как минимум ежегодно) [9].

Приведенные выше проблемы свидетельствуют о том, что разработка учетной политики должна быть основана на анализе большого числа нормативных актов в области регулирования бухгалтерского учета и налогообложения и регулярном мониторинге их изменений, учете специфики деятельности экономического субъекта, производственных особенностей, функций структурных подразделений, знании текущих экономических позиций организации и стратегических перспектив ее дальнейшего развития.

Кроме того, все перечисленные проблемы требуют разработки практических мероприятий по их устранению, в том числе:

- осуществление на постоянной основе контроля со стороны уполномоченных государственных органов, соблюдение организациями всех установленных законодательством требований при составлении учетной политики;

- повышение квалификации сотрудников, ответственных за формирование учетной политики;

- разделение управленческого и налогового учета с целью повышения качества организации и ведения учета;

- включение в учетную политику отдельного аналитического раздела с разъяснениями методики и порядка осуществления экономического анализа основных показателей деятельности организации, на их основе произведение оценки финансового состояния и тенденции развития. Также результаты анализа позволят выявить слабые и сильные стороны работы организации и принять эффективные управленческие решения.

Если решить обозначенные проблемы в процессе разработки эффективной учетной политики экономического субъекта, главные бухгалтеры смогут построить

грамотную систему бухучета, а практикующие аудиторы – более качественно проводить аудит и оказывать сопутствующие аудиторские услуги.

## Цитированная литература

1. **Никонова, И. Ю.** Влияние элементов учетной политики на показатели бухгалтерской отчетности / И. Ю. Никонова. – Текст : непосредственный // Известия. – 2013. – № 3.

2. **Стасюк, Т. П.** Формирование оптимальной учетной политики для повышения результативности деятельности экономического субъекта / Т. П. Стасюк, Д. В. Формусатий. – Текст : непосредственный // Ученые записки Российской академии предпринимательства. – 2018. – Т. 17, № 13. – С. 98–105.

3. **Филина, Ф. Н.** Бухгалтерский и налоговый учет: пути сближения / Ф. Н. Филина, М. В. Беспалов. – Москва : ГроссМедиа: РОСБУХ. – 2016. – С. 58–66. – Текст : непосредственный.

4. **Стасюк, Т. П.** Некоторые проблемы разработки учетной политики и ошибки при ее формировании и содержании, учитываемые в процессе проведения аудита / Т. П. Стасюк, А. Г. Куляк. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы и проблемы экономики и управления: материалы республиканской научно-практической конференции обучающихся по программам магистратуры экономического факультета по итогам научно-исследовательской работы в 2018–2019 уч. г. – Тирасполь : Изд-во Приднестр. ун-та, 2019.

5. **Акатьева, М. Д.** Современные тенденции в формировании учетной политики организации / М. Д. Акатьева. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет в издательстве и полиграфии. – 2013. – № 5 (167). – С. 17–21.

6. **Парамонова, Л. А.** Внутренний контроль и анализ эффективности применения учетной политики / Л. А. Парамонова. – Текст : непосредственный // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. – 2014. – № 3 (35). – С. 114–119.

7. **Стасюк, Т. П.** Расчетные бухгалтерские оценки и их значение при подготовке учетной политики и формировании финансовой отчетности / Т. П. Стасюк. – Текст : непосредственный // Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава экономического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко по итогам НИР 2019 года. – Тирасполь, 2021. – С. 12–19.

8. **Швидюк, Т. С.** Качественные критерии в аудите эффективности учетной политики /

Т. С. Швидюк, Н. Ю. Муравьева. – Текст : электронный // Вектор экономики. – 2018. – № 11. – URL : [http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2018/11/economicsmanagement/Muravyueva\\_Shvidyuk.pdf](http://www.vectoreconomy.ru/images/publications/2018/11/economicsmanagement/Muravyueva_Shvidyuk.pdf) (дата обращения : 12.01.2022)

9. **Шакина, О. В.** Аудит эффективности учетной политики: проблемы и решения / О. В. Шакина, В. В. Христолюбова // Вестник Чебоксарского кооперативного института. – 2009. – № 2 – С. 18–23.

УДК 657

## КОМПЛЕКСНО-РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА – ПУТЬ К УЛУЧШЕНИЮ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Т. П. Стасюк, Д. С. Меделян*

*Определена значимость комплексно-рейтинговой оценки для финансового состояния предприятия. Обозначены цели проведения комплексно-рейтинговой оценки. Подробно рассмотрена методика «эталонного предприятия». Обозначены этапы рейтинговой оценки, а также разграничены исходные показатели для проверки на группы. Детально раскрыт алгоритм действий при составлении сравнительной рейтинговой оценки финансового состояния предприятия.*

**Ключевые слова:** анализ финансового состояния, экономический субъект, методика анализа, платежеспособность, финансовая устойчивость, финансовый анализ, рентабельность, деловая активность, финансовые коэффициенты, рейтинговая оценка.

## COMPREHENSIVE RATING ASSESSMENT IS THE WAY TO IMPROVE THE FINANCIAL CONDITION OF THE ENTERPRISE

*T. P. Stasyuk, D. S. Medelyan*

*The article defines the importance of a comprehensive rating assessment for the financial condition of the enterprise. The objectives of the comprehensive rating assessment are outlined. The methodology of “reference enterprise” is considered in detail. The stages of the rating assessment are indicated, as well as the initial indicators for checking into groups are delimited. The algorithm of actions in the preparation of a comparative rating assessment of the financial condition of the enterprise is disclosed in detail.*

**Keywords:** financial analysis, economic entity, analysis technique, solvency, financial stability, financial analysis, profitability, business activity, financial ratios, rating assessment.



В настоящее время рыночные отношения требуют от предприятия эффективного управления бизнесом, немедленного и основательного внедрения новых технологий производства товаров и продаж их на рынке.

Стабильное финансовое состояние является необходимым условием для эффективного ведения бизнеса. Финансовое состояние отражает способности организации к самофинансированию основной деятельности, постоянному поддержанию платежеспособности. Для этого хозяйствующим субъектам следует иметь оптимальную структуру активов и пассивов, достаточную величину собственного капитала, а также результативно использовать финансовые ресурсы так, чтобы расходы предприятия не превышали их доходы [1, с. 233].

Поэтому поиск путей укрепления финансового состояния предприятий является основной задачей, которая стоит перед управленцем любого бизнеса, особенно в условиях рыночной нестабильности.

С целью оценки уровня экономического развития предприятия в сфере экономической деятельности, в которой оно функционирует, рекомендуется проводить сравнительную рейтинговую оценку финансового состояния [2, с. 89], которая основана на методике и теории финансового анализа организации при использовании рейтинговых значений.

Целью такой оценки является способность удовлетворять платежные требования по договорам компании, распределять компании по уровню надежности их финансового состояния, выполнять обязанности по налогообложению, возвращать суммы по кредитам и процентам, выплачивать заработную плату работникам [3, с. 128].

Для составления рейтинговой оценки существует несколько методик. Остановимся на методе «эталонного предприя-

тия», справедливо называемом некоторыми авторами «методом расстояний». В его основе лежит идея выявления расстояния от каждого изучаемого объекта до «эталонного предприятия», которое и показывает его место в рейтинге.

Метод обладает рядом преимуществ: в состав исходных данных можно включать различные финансово-экономические показатели. Но здесь следует быть внимательным – их значение должно оцениваться однонаправленно. К примеру, такие показатели, как период погашения дебиторской задолженности и коэффициент фондоотдачи основных средств (ОС), оцениваются по-разному. Положительная динамика коэффициента фондоотдачи ОС является благоприятным фактором, а вот увеличение периода погашения дебиторской задолженности отрицательно сказывается на финансово-экономическом состоянии предприятия. В таких ситуациях решением является установление эталонного значения не по максимальному значению показателя, а по каждому в отдельности, исходя из его содержания. По нашему примеру: для первого – минимальное значение, для второго – максимальное [4].

Этапы рейтинговой оценки:

- сбор, а также аналитическая обработка поступившей информации за рассматриваемый период времени;
- обоснование системы показателей, используемых для рейтинговой оценки и их классификация;
- расчет итогового показателя рейтинговой оценки финансового состояния предприятия;
- классификация (ранжирование) предприятий по рейтингу.

Исходные показатели для рейтинговой оценки принято объединять в четыре группы.

К *первой группе* относятся показатели оценки ликвидности финансовой устойчивости организации.

Ко второй – показатели оценки эффективности управления предприятием.

К третьей – наиболее обобщенные и важные показатели оценки рентабельности хозяйственной деятельности организации.

К четвертой – показатели оценки деловой активности предприятия [5, с. 38].

Алгоритм действий при составлении сравнительной рейтинговой оценки финансового состояния предприятия можно представить в виде последовательности следующих действий:

1. Для начала исходные данные представляем в виде матрицы, где по столбцам записаны номера предприятий ( $j = 1, 2, 3 \dots m$ ), а по строкам – показатели ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ).

2. По каждому показателю находим максимальное значение и заносим в столбец условного эталонного предприятия.

3. Исходные показатели матрицы стандартизируются в отношении соответствующего показателя эталонного предприятия по формуле:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_j a_{ij}}, \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  – показатель финансового состояния  $i$ -го предприятия;  $a_{ij}$  – значение показателя определенного предприятия;  $\max_j a_{ij}$  – максимальное значение (значение эталонного предприятия).

4. Значение рейтинговой оценки определяем для каждого анализируемого предприятия по формуле:

$$R_j = \sqrt{(1 - x_{j1})^2 + (1 - x_{j2})^2 + (1 - x_{jn})^2}, \quad (2)$$

где  $R_j$  – рейтинговая оценка для  $j$ -го предприятия;  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}$  – стандартизированные показатели  $j$ -го анализируемого предприятия.

5. Ранжирование предприятий осуществляется в порядке убывания рей-

тинговой оценки. Наивысший рейтинг получает предприятие с минимальным значением сравнительной оценки [6, с. 59].

Для применения данного алгоритма на практике никаких ограничений на количество сравниваемых показателей и предприятий не накладывается.

Также для выявления рейтинговой оценки финансового состояния организации могут использоваться данные как на дату составления баланса, так и в динамике. В первом случае исходные данные рассчитываются на основании финансовой отчетности на конец периода. Соответственно, и рейтинг предприятия определяется на конец года. Во втором случае исходные данные рассчитываются как темповые коэффициенты роста: среднее значение показателя отчетного периода делится на среднее значение соответствующего показателя предыдущего либо данные на конец периода делятся на значение соответствующего показателя на начало периода. Таким образом, получаем не только оценку текущего финансового состояния предприятия на определенную дату, но и оценку его усилий и возможностей по изменению этого состояния в динамике, на перспективу. Такая оценка является надежным измерителем роста конкурентоспособности предприятия в данной отрасли деятельности. Она также определяет более эффективный уровень использования финансовых и производственных ресурсов.

Автоматизация проведения анализа с использованием программы Microsoft Excel позволит оперативно определять рейтинговое место предприятия среди других хозяйствующих субъектов республики в одной и той же отрасли. Межхозяйственные сопоставления относят к важным элементам системы управления.

Итак, рейтинговая оценка указывает болевые точки в финансово-хозяйствен-

ной деятельности предприятия, раскрывает объективные направления реализации управленческих решений. Так, для повышения уровня коэффициентов рентабельности руководству предприятия следует контролировать два показателя – рост валового маржинального дохода и снижение затрат на систему продаж предприятия, что в свою очередь приведет к увеличению выручки от продаж, а, соответственно, и коэффициентов рентабельности предприятия.

Если предприятие сможет существовать, поддерживать баланс собственных активов и пассивов, развиваться в ситуации быстрого изменения внешней и внутренней реальности, в будущем его ждет только абсолютно устойчивое финансовое состояние.

### Цитированная литература

1. **Лелькова, Т. Э.** Методики анализа финансовых результатов / Т. Э. Лелькова. – Текст :

электронный // Молодой ученый. – 2017. – № 11 (145). – С. 231–234. – URL: <https://moluch.ru/archive/145/40727/> (дата обращения : 16.01.2022).

2. **Савицкая, Г. В.** Экономический анализ / Г. В. Савицкая. – Москва: НИЦ – ИНФРА-М, 2016. – 200 с. – Текст : непосредственный.

3. **Любушин, Н. П.** Финансовый анализ: учебник / Н. П. Любушин. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2016. – 300 с. – Текст : непосредственный.

4. **Стасюк, Т. П.** Совершенствование методики анализа финансового состояния предприятия / Т. П. Стасюк, М. Панаитова. – Текст : непосредственный // Сборник материалов РНПК Приднестровского государственного университета. – Тирасполь, 2020.

5. **Лысенко, Д. В.** Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности / Д. В. Лысенко. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – 608 с. – Текст : непосредственный.

6. **Крылов, С. И.** Финансовый анализ: учебное пособие / С. И. Крылов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 160 с. – Текст : непосредственный.

УДК 658

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Н. Н. Дмитриева, К. В. Коровякова*

*Раскрыты теоретические основы анализа использования трудовых ресурсов предприятия, которые являются важным фактором любого производства. Результаты экономического анализа необходимы для принятия рациональных управленческих решений. Рассмотрено понятие трудовых ресурсов коммерческой организации и представлена классификация ее персонала. Определены цели, задачи и методы анализа использования трудовых ресурсов.*

**Ключевые слова:** *трудовые ресурсы, персонал, труд, экономический анализ, фонд оплаты труда, принятие управленческих решений, трудовые затраты, производительность труда.*

## THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF LABOR RESOURCES COMPANY

*N. N. Dmitrieva, K. V. Korovyakova*

*The article reveals the theoretical foundations of the analysis of the use of labor resources of the enterprise. Labor resources are an important factor in any production. The results of economic analysis are necessary for making rational management decisions. First of all, the concept of labor resources of a commercial organization and the classification of its personnel are considered. The goals, objectives and methods of analyzing the use of labor resources are also defined.*

**Keywords:** *labor resources, personnel, labor, economic analysis, salary fund, managerial decision-making, labor costs, labor productivity.*

При осуществлении хозяйственной деятельности периодически обостряются многие проблемы, касающиеся эффективного функционирования экономических субъектов различных форм собственности. К ним относятся проблемы, связанные с анализом эффективности использования трудовых ресурсов и фонда оплаты труда. Эффективность управления трудовыми ресурсами предприятия непосредственно влияет на его конкурентоспособность и является одной из важнейших предпосылок создания преимуществ коммерческой организации.

Пандемия COVID-19 породила кризис, который привел к тому, что некоторые сферы деятельности потерпели урон и убытки. Многие предприятия закрылись или сократили масштабы своей деятельности, вследствие чего большое количество людей потеряло работу. Сейчас особо актуальна тема рационального использования трудовых ресурсов, так как это напрямую влияет на эффективное осуществление деятельности коммерческой организации.

В свою очередь, анализ использования трудовых ресурсов позволяет найти резервы повышения эффективности деятельности организации за счет наиболее полного и рационального использования численности работающих, рабочего времени, а также роста производительности

труда. Все перечисленное обусловило актуальность темы статьи.

Прежде чем рассматривать аспекты методики анализа эффективности использования трудовых ресурсов предприятия, важно понимать сущность категории «трудовые ресурсы».

**Ресурсы** – то, из чего или благодаря чему производятся блага. Ресурсы могут быть природными, человеческими и произведенными человеком [1, с. 17].

Вплоть до начала XX века труд рассматривался в основном в категориях, ориентированных на взгляды политэкономов XIX века, которые определяли труд как целесообразную деятельность человека, направленную на сохранение, видоизменение, приспособление среды обитания для удовлетворения своих потребностей, на производство товаров и услуг.

Марксистский подход к труду, в свою очередь, акцентирует внимание не на процессе взаимодействия человека с природой, а на определенных отношениях между его участниками.

Сторонниками неоклассической экономической теории понятие «труд» трактуется как фактор производства наряду с «землей» и «капиталом». Западные экономисты указывают, что фактор производства «труд» – это широкий термин, употребляемый для обозначения всех физических и умственных способностей

людей, применимых в производстве товаров и услуг (за исключением особого вида человеческих талантов, а именно – предпринимательской способности) [2, с. 17–19].

**Труд** (как вид экономических ресурсов) – это один из факторов производства, который характеризует возможности участия человека или группы людей в процессах производства материальных и духовных благ и ресурсов.

По сей день в терминологии существует проблема обозначения ресурсов для труда в производственной деятельности.

Правильное категориальное определение ресурсов для труда позволяет грамотно осуществлять их планирование, управление, развитие и т. д. Поэтому решение данного вопроса важно как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Таким образом, трудовые ресурсы – это часть трудоспособного населения, которая, обладая необходимыми умственными (интеллектуальными) и физическими способностями, может заниматься трудовой деятельностью. Трудовыми ресурсами конкретной организации выступает персонал – конкретные люди, занятые трудовой деятельностью в организации на договорной основе.

Персонал подразделяется на основной и неосновной (вспомогательный, прочий).

К персоналу, занятому в основной деятельности, относятся работники, непосредственно связанные с производством продукции, оказанием услуг, продажами (в торговых организациях) либо работающие в любой другой сфере деятельности, которая для организации является основной.

К персоналу, занятому в неосновной деятельности, относятся работники организации, не связанные с основной сферой деятельности организации.

Важным направлением классификации персонала является их распределение по *профессиям, специальностям и уровню квалификации*, которое необходимо для анализа состава и структуры кадров. *Профессия* отражает род трудовой деятельности, в которой занят тот или иной работник (например, токарь, слесарь, экономист, инженер и т. д.). *Специальность* выделяется в рамках профессии и характеризует более узкий вид трудовой деятельности, непосредственно связанный с той работой, которую выполняет какой-либо работник (например, слесарь-наладчик, слесарь-инструментальщик и др.) [3, с. 261, 263].

Трудовые ресурсы предприятия – это важнейший фактор производства. Они занимают одно из основных мест в процессе хозяйственной деятельности, во многом определяя выполнение плана производства, качество выпускаемой продукции, степень эффективности использования и контроль за основными и оборотными производственными фондами, величиной конечных результатов. Любая сфера деятельности невозможна без использования труда.

Трудовые ресурсы относятся к социально-экономической категории и считаются важнейшим объектом в теории и практике анализа и управления [4, с. 231].

От качества и эффективности трудовых ресурсов зависят результаты деятельности предприятия и его конкурентоспособность. Следовательно, одна из важнейших задач, стоящих перед руководителем предприятия, – это правильно подобранный персонал и эффективное его использование [5, с. 109–113]. Данная задача может быть реализована только при комплексном подходе к анализу использования персонала.

Цель анализа эффективности использования трудовых ресурсов – выявление резервов и неиспользованных

возможностей увеличения объема производства, повышения эффективности труда за счет наиболее полного и рационального использования численности работающих, рабочего времени, а также роста производительности труда и разработка мероприятий по использованию этих резервов.

Выделяют следующие задачи анализа использования трудовых ресурсов:

- выявление степени обеспеченности организации и ее структурных подразделений необходимыми трудовыми ресурсами в целом и в разрезе категорий и профессий, обоснование плана удовлетворения будущих потребностей в человеческих ресурсах;

- определение полноты и уровня рационального использования трудового потенциала;

- изучение динамики, состава и структуры трудовых ресурсов;

- выявление основных причин непроизводительных потерь рабочего времени;

- в части расходования фонда оплаты труда и включения затрат на заработную плату в себестоимость продукции: выявление отклонений в расходовании фонда оплаты труда и причин, вызвавших данные отклонения; влияние уровня производительности труда на расход фонда оплаты труда и себестоимость продукции, динамика роста средней заработной платы и его соответствие росту производительности труда; изучение структуры фонда оплаты труда по видам и установление непроизводительных выплат, связанных с различными недостатками организации производства и труда;

- определение степени эффективности системы оплаты труда и совершенствование структуры заработной платы в целях сохранения рабочего персонала и увеличения мотивации труда;

- в части производительности труда: установление степени выполнения плана

и темпов роста (динамики); выявление влияния экстенсивных и интенсивных факторов, способствующих повышению производительности труда и снижению трудоемкости производства; выявление резервов повышения производительности труда;

- изучение эффективности использования трудовых ресурсов и мотивации персонала;

- оценка влияния трудовых ресурсов на экономические показатели работы организации;

- выявление резервов повышения эффективности использования трудовых ресурсов.

Источниками информации для анализа труда и заработной платы на предприятиях являются:

- планы по труду;

- штатное расписание специалистов и служащих;

- расчеты потребности в основных производственных рабочих;

- данные табельного учета о движении рабочей силы;

- данные бухгалтерского учета о начислении заработной платы;

- статистическая отчетность [4, с. 231, 232].

Анализ эффективности использования трудовых ресурсов проводится поэтапно.

На первом этапе производится оценка обеспеченности организации трудовыми ресурсами. Аналитик должен изучить в динамике состав, структуру и численность персонала предприятия по основным категориям работников, их образовательному и квалификационному уровню, половозрастным критериям и др. Такой анализ позволяет определить количественный состав трудовых ресурсов и полноту обеспеченности ими производственных потребностей. Постоянный анализ обеспеченности организации рабочей силой по-



зволяет достичь реализации эффективной занятости.

На втором этапе изучаются основные направления формирования трудовых затрат предприятия. При этом анализируется в динамике основная и дополнительная заработная плата работников по их категориям, различные виды надбавок и установленных компенсаций, отпускные и т. д. В результате такого анализа определяются причины отклонений от норм расходов прямых трудовых затрат и утвержденных смет косвенных расходов.

Третий этап анализа представляет собой расчет показателей эффективности использования трудовых ресурсов на предприятии за отчетный период. При этом аналитиком рассчитывается общая производительность труда работников предприятия, индивидуальная выработка отдельного работника, трудоемкость выпускаемой продукции, фондовооруженность труда. Динамика перечисленных показателей демонстрирует, рационально ли использовались трудовые ресурсы за отчетный период. В свою очередь, факторный анализ позволит установить положительное или отрицательное влияние факторов на изменение показателей эффективности использования трудовых ресурсов.

Заключительный этап анализа предполагает выявление и обобщение внутрихозяйственных резервов повышения эффективности использования трудовых ресурсов организации [6, с. 403–405].

При проведении экономического анализа эффективности использования трудовых ресурсов применяется широкий спектр методов.

По мнению О. А. Агеевой, методы экономического анализа делятся на две группы: общенаучные и специфические.

*Общенаучные* методы включают в себя наблюдение, измерение, сравнение,

анализ, синтез, дедукцию, индукцию, моделирование, логический метод, метод экспертных оценок и др.

*Специфические* методы делятся на:

- традиционные методы обработки экономической информации;
- методы детерминированного факторного анализа;
- методы стохастического факторного анализа;
- методы оптимизации показателей [7, с. 14, 15].

В свою очередь, по мнению Н. В. Войтоловского, ведущим классификационным признаком является деление методов экономического анализа на качественные (неформализованные) и количественные (формализованные).

*Качественные (неформализованные)* методы базируются на описании причин и условий хозяйственной деятельности на логическом уровне. Они применяются, когда объект изучения либо слишком простой, либо настолько сложный, что учесть все взаимосвязи невозможно. Неформализованные методы используются в основном при прогнозировании состояния объекта в условиях неопределенности, т. е. когда отсутствует информация о возможных путях развития событий.

К качественным методам экономического анализа можно отнести метод сравнений, экспертный метод, метод уровневого прогнозирования, метод последовательного принятия решений, метод интервью, сценариев, а также методы коллективной генерации идей (мозгового штурма) и др.

В основе *количественных методов* лежат достаточно строгие формализованные зависимости, т. е. взаимосвязь анализируемых показателей и определяющих их факторов выражается с помощью формул. К таким методам относятся методы математического моделирования, экономико-статистические методы, индексный

метод, метод цепных подстановок, интегральный метод, метод выявления изолированного влияния факторов и др. [8, с. 50, 51].

Таким образом, анализ эффективности использования трудовых ресурсов дает возможность выявить резервы и неиспользованные возможности увеличения объема производства, повышения эффективности труда за счет наиболее полного и рационального использования численности работающих, рабочего времени, а также роста производительности труда.

### Цитированная литература

1. **Генкин, Б. М.** Экономика и социология труда: учебник для вузов / Б. М. Генкин. – [7-е изд., доп.]. – Москва : Норма, 2007. – 448 с. – Текст : непосредственный.
  2. **Одегов, Ю. Г.** Экономика труда: учебник и практикум для вузов / Ю. Г. Одегов, Г. Г. Руденко. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Юрайт, 2020. – 387 с. – Текст : непосредственный.
  3. **Тертышник, М. И.** Экономика организации: учебник и практикум для вузов / М. И. Тертышник. – Москва : Издательство, 2019. – 631 с. – Текст : непосредственный.
  4. **Толпегина, О. А.** Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: [в 2 частях]. Часть 1: учебник и практикум для вузов / О. А. Толпегина, Н. А. Толпегина. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Юрайт, 2020. – 364 с. – Текст : непосредственный.
  5. **Чурилов, И. Н.** Значение трудовых ресурсов в эффективности деятельности организации / И. Н. Чурилов. – Текст : непосредственный // Вопросы конвергенции социально-гуманитарных и естественно-технических наук: сборник научных трудов / под редакцией Ю. П. Соболевой. – Орёл : ОрелГИЭТ. – 2016. – № 3. – С. 109–113.
  6. **Шнянина, А. А.** Роль анализа использования трудовых ресурсов при принятии управленческих решений / А. А. Шнянина, И. Б. Белозерцева. – Текст : непосредственный // Интеллектуальный потенциал Сибири: 28-я Региональная научная студенческая конференция (г. Новосибирск, 13–22 мая 2020 г.): материалы конференции: [в 3 частях]. Часть 1: сборник научных трудов / под редакцией Д. О. Соколовой. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2020. – С. 403–405.
  7. **Агеева, О. А.** Бухгалтерский учет и анализ: [в 2 частях]. Часть 2. Экономический анализ: учебник для вузов / О. А. Агеева, Л. С. Шахматова. – Москва : Юрайт, 2020. – 240 с. – Текст : непосредственный.
  8. **Войтоловский, Н. В.** Экономический анализ: [в 2 частях]. Часть 1: учебник для вузов / Н. В. Войтоловского, А. П. Калининой, И. И. Мазуровой. – [7-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Юрайт, 2020. – 291 с. – Текст : непосредственный.
-

## СУЖДЕНИЕ АУДИТОРА КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ МНЕНИЯ О ДОСТОВЕРНОСТИ ОТЧЕТНОСТИ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ АУДИТОРСКОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

*Н. В. Зеленин*

*Рассматриваются особенности формирования и применения профессионального суждения аудитора в ходе аудиторской проверки с учетом требований нормативной базы Приднестровья и международных стандартов аудита. Проводится исследование процедур формирования суждений бухгалтера и аудитора, а также анализ толкования дефиниции «суждение аудитора» при составлении мнения аудитора о достоверности финансовой отчетности проверяемого объекта в процессе подготовки аудиторского заключения.*

**Ключевые слова:** профессиональное суждение аудитора, суждение бухгалтера, международные стандарты аудита, мнение аудитора, заключение аудитора, экспертная оценка аудитора, метод экспертных оценок.

## AUDITOR'S JUDGMENT, AS THE BASIS FOR FORMING AN OPINION ON THE RELIABILITY OF REPORTING WHEN PREPARING THE AUDITOR'S REPORT

*N. V. Zelenin*

*The article discusses the features of the formation and application of the auditor's professional judgment during the audit, taking into account the requirements of the regulatory framework of Pridnestrovie and international auditing standards. The author makes the research of the procedures for forming the judgments of an accountant and an auditor, as well as an analysis of the interpretation the definition an auditor's judgment when drawing up an auditor's opinion on the reliability of the financial statements the audited object in the process of preparing an auditor's report.*

**Keywords:** auditor's professional judgment, accountant's judgment, international auditing standards, auditor's opinion, auditor's report, auditor's expert assessments, method of expert assessments.

Переход системы бухгалтерского учета Приднестровья на международные стандарты финансовой отчетности (МСФО) повлек за собой принятие требований международных стандартов аудита (МСА) при проведении аудиторских проверок. Этому шагу предшествовала более чем десятилетняя планомерная работа правительства республики по подготовке и внедрению в практику учетной деятельности нормативных документов, регулирующих ведение бухгалтерского учета на основе МСФО. Это, прежде всего, стандарты бухгалтерского учета, инструктив-

ные нормативные документы по составлению финансовой отчетности. При этом в практике учетной работы будут возникать ситуации, когда требования национальных стандартов могут не совпадать с требованиями стандартов МСФО, но таких случаев по мере сближения нормативных баз со временем будет становиться все меньше. В этих условиях работа аудитора требует соответствующей подстройки в организации процедуры аудита в соответствии с требованиями МСА.

Одной из таких существенных новаций является расширение сферы применения профессионального суждения бухгалтера и, соответственно, вытекающие

из этого особенности формирования суждения аудитора о легитимности примененного бухгалтером суждения. На основании своего суждения аудитор вырабатывает мнение о достоверности финансовой отчетности и соответствии ведения бухгалтерского учета нормативным документам. Мнение о достоверности финансовой отчетности аудируемого объекта аудитор выражает в документе, который называется аудиторским заключением. Этот документ имеет правовое значение.

Формирование аудиторского заключения для пользователей финансовой отчетности осуществляется в соответствии с принципами, которые закреплены в нормативных документах, регламентирующих ведение бухгалтерского учета, составление финансовой отчетности и аудиторской деятельности. Эти принципы основаны на том, что, прежде всего, аудиторское заключение составляется только по результатам проведения аудита бухгалтерской (финансовой) отчетности хозяйствующего субъекта, выдается аудитором, имеющим право осуществлять аудиторскую деятельность и быть членом саморегулируемой организации аудиторов.

Рассматривая юридическую основу принципов формирования аудиторского заключения, прежде всего, выделяем нормативно-правовые документы, регламентирующие ведение национального бухгалтерского учета и аудиторской деятельности. Правовая основа документа подкрепляется необходимостью выполнения таких важных элементов аудиторского заключения, как требование составления в письменном виде с отражением всех денежных (стоимостных) значений в национальной валюте. Исправления, подчистки, помарки в письменном тексте аудиторского заключения не допускаются. Аудиторское заключение удостоверяется подписью руководителя аудиторской организации (индивидуальным аудитором) и скрепля-

ется печатью. По правилам делового оборота подписи должностных лиц ставятся на каждой странице заключения. Аудиторское заключение должно быть датировано не ранее даты завершения процесса получения достаточных надлежащих аудиторских доказательств. При этом пользователь финансовой отчетности аудируемого предприятия полагает, что аудитор учел влияние на финансовую (бухгалтерскую) отчетность всех событий и операций, возникших до этой даты и известных аудитору. Важным инструментом при формировании мнения аудитора о достоверности финансовой отчетности и соответствии ее всем существенным аспектам на определенную дату является профессиональное суждение аудитора.

В ходе формирования аудиторского заключения аудитор оперирует такими категориями, как суждение и мнение. На основании суждений вырабатывается мнение аудитора. Профессиональное суждение аудитора также широко применяется аудиторами для разработки методических документов, касающихся процедур проверки, правового оформления полученных аудиторских доказательств. Если мы обратимся к международным стандартам аудита, то увидим, что в процессе формирования и определения термина «профессиональное суждение аудитора» одновременно применяются два близких, но неравнозначных понятия – «мнение аудитора» и «суждение аудитора». Так, под термином «мнение» подразумевается понимание чего-либо, убеждение, вывод, в то время как дефиниция термина «суждение» определяется как форма мышления, предполагающая строго прописанный в нормативных документах порядок мышления, направленный на достижение истины. Различие в толкованиях приводит к тому, что правовая основа понятий «мнение» и «суждение» имеет разные оттенки значений, несмотря на близость толкований.

Определения, прописанные стандартами аудита, под профессиональным суждением аудитора толкуют его как точку зрения аудитора, базирующуюся на его знаниях, квалификации и опыте работы, которые служат основанием для принятия им субъективных решений в обстоятельствах, когда однозначно определить порядок его действий не представляется возможным, т. е. когда имеются элементы неопределенности. В этих обстоятельствах порядок формирования суждения аудитора регламентируется стандартами аудита, в которых сформулированы обязательные требования, а не порядок мышления, как у бухгалтера. Без выполнения этих требований мнение, выраженное в заключении аудитора на основании сформированных в ходе проверки суждений, не может считаться надлежащим. При этом в международных стандартах аудита прописан перечень вопросов, по которым аудитор может применять свое профессиональное суждение.

Результатом аудиторской проверки является выражение мнения аудитора о достоверности отчетности аудируемой организации и соответствии порядка ведения бухгалтерского учета требованиям национального законодательства об организации бухгалтерского учета на принципах МСФО, которое выражается в аудиторском заключении. В этом случае мнение аудитора рассматривается в аудиторском заключении как составная и неотъемлемая часть документа. Требования стандартов аудита к форме заключения и его содержанию дают возможность пользователям финансовой отчетности однозначно воспринимать содержание аудиторского заключения, правильно трактовать необычные обстоятельства, подпадающие под описание неопределенности, на которые обращено внимание в заключении.

Так, международный стандарт аудита (МСА200), регламентирующий общие

цели независимого аудитора и проведение процедуры аудита в соответствии со стандартами аудита в пункте А23 описывает особенности применения профессионального суждения, закрепляя его в качестве неотъемлемой процедуры аудита и важного легитимного элемента документа аудитора. В пункте А27 отмечается необходимость применения и документирования профессионального суждения в течение всего процесса аудита на основе соответствующих аудиторских доказательств, что является обоснованием необходимости применения суждения в ходе всей проверки и включения его в соответствующие методологические документы [1].

Профессиональное суждение применяется на всех этапах аудиторской проверки: планирование, сбор и оценка аудиторских доказательств, процедура выражения мнения о достоверности бухгалтерской (финансовой) отчетности. От компетентности и профессиональной квалификации выводов аудитора зависит качество работы аудитора и форма аудиторского заключения. Минимальные требования к профессиональному суждению аудитора вытекают из того, что предлагаемое суждение аудитора не исключает наличия иных мнений по рассматриваемому вопросу. В качестве существенного условия при формировании суждения аудитора предполагается наличие в той или иной степени неопределенности по проблемным вопросам, не прописанным в нормативных документах при условии, что объективность мнения аудитора не гарантируется, несмотря на то, что предлагаемое суждение основано на знаниях и опыте работы конкретного аудитора.

В ходе аудита финансовой отчетности аудитор выступает в качестве эксперта в отношении суждений бухгалтера, которые последний выражает при составлении отчетности, при этом аудитор учитывает особенности формирования профессио-

нального суждения бухгалтера, понимая его как форму мышления, предполагающую определенную последовательность мыслительных действий. Определено, что суждение бухгалтера представляется важным инструментом и элементом метода бухгалтерского учета, который используется при формировании учетной политики организации, составлении финансовой отчетности и в целях управленческого учета. Исходя из этой посылки, аудитор в случае выступления экспертом подразумевает под профессиональным суждением бухгалтера порядок его мышления по учету фактов хозяйственной жизни проверяемой организации на основе нормативных требований МСФО в интересах пользователей финансовой отчетности. Суждение бухгалтера должно быть объективно, не противоречить нормативным требованиям по бухгалтерскому учету относительно способов отражения операции для выработки достоверной финансовой отчетности и решения задач управленческого учета в целях минимизации вероятных рисков в условиях специфики деятельности организации, вариативности способов учета и неопределенности действующих нормативных актов.

Рассмотренный подход аудитора к экспертной оценке суждения бухгалтера, по нашему мнению, охватывает все особенности, связанные с формированием и применением профессионального суждения бухгалтером. Вместе с тем профессиональное суждение аудитора не всегда может претендовать на объективность. В этом случае для контроля качества экспертной оценки аудитора возникает необходимость привлечения к оценке суждений бухгалтера одного или нескольких специалистов, которые выразят свои мнения в отношении корректности оцениваемого суждения. На их основании появляется возможность выработать обобщенное или усредненное суждение группы по

рассматриваемому вопросу. В этом случае возможна замена суждений каждого в отдельности взятого эксперта более сложным, интегрированным суждением. Такой подход широко применяется в практике работы аудиторов и называется методом экспертных оценок.

Суждение аудитора может быть и основной модифицированного аудиторского заключения, которое выражается в виде заключения с оговоркой, условно-отрицательного или отказа от выражения мнения. Модифицированное заключение аудитора, как мнение, вырабатывается на основе суждений аудитора в условиях близких к неопределенности. В этих обстоятельствах аудитор вынужден учитывать информацию, косвенно или прямо оказывающую влияние на формирование мнения аудитора, которая небезынтересна для пользователей отчетности и дает основания для выражения заключения аудитора в одной из модифицированных форм. В таких условиях, являясь инструментом деятельности, профессиональное суждение аудитора помогает решению методологических проблем, периодически возникающих в учетной работе.

Актуальность подробного рассмотрения профессионального суждения аудитора и особенностей его применения обусловлена возможностью возникновения в процессе аудиторских проверок ситуаций, когда аудитор должен выразить свое суждение о легитимности и достоверности сформированного в финансовой отчетности суждения бухгалтера в отношении определенных фактов хозяйственной жизни в условиях неопределенности положений нормативных документов, регулирующих подобные операции. Такие суждения из-за наличия возникающих особенностей не всегда совпадают, что вызывает необходимость изучения особенностей процесса формирования профессионального суждения как аудитора, так и бухгалтера. Приме-



нение суждения в области бухгалтерского учета предусмотрено международными и национальными стандартами бухгалтерского учета, а в сфере аудиторской деятельности, соответственно, международными стандартами аудита. Определение понятия профессионального суждения не приводится ни в стандартах бухгалтерского учета, ни в международных стандартах аудита. В нормативных документах фиксируется лишь область применения и порядок мышления при его формировании. По этой причине для повышения степени достоверности отчетности в ходе аудиторской проверки профессиональное суждение бухгалтера аудируемого лица подтверждается и удостоверяется профессиональным мнением независимого аудитора, сформированным на основе суждений. Именно это дает пользователям финансовой отчетности уверенность в достоверности и объективности профессионального суждения, выраженного бухгалтером при ее составлении. С другой стороны, отсутствие законодательно закрепленного определения терминов «профессиональное суждение бухгалтера» и «профессиональное суждение аудитора» приводит к различным толкованиям самой категории профессиональное суждение. Толкования разнятся от мнения, высказанного профессиональным бухгалтером или аудитором, основанного на знаниях, квалификации и опыте, до мнения, принимаемого в условиях неопределенности, необходимости выбора вариантов из нескольких нормативно допустимых или отсутствия предпосылок для однозначного выбора.

Изучение аналитических материалов и научных публикаций специалистов в области теории аудита, анализ законодательных и нормативных актов в области регулирования аудиторской деятельности в Приднестровье и России показало отсутствие четко обозначенных границ приме-

нения и единых подходов к определению термина «профессиональное суждение». Одна из проблем, обозначенная ученым-экономистом Е. М. Гутцайт, связана с анализом фундаментальных аудиторских понятий: существенность, аудиторские риски, независимость аудитора и профессиональное суждение. Профессиональное суждение аудитора в этом случае рассматривается как обобщение понимания доказательства в точных науках, когда приходится привлекать и интуицию, но эта интуиция не основывается на чистой догадке, а подкрепляется опытом и квалификацией аудитора в рассматриваемых вопросах [2, 3].

С другой стороны, по нашему мнению, следует полагать, что профессиональное суждение аудитора выражает мнение, заключение определенного лица, являющееся основанием для принятия им решения в условиях неопределенности [4].

Наравне с этим в практике аудита существует понимание того, что профессиональное суждение аудитора является окончательным выводом, принимаемым аудитором по профессиональным проблемам, которые не имеют стандартного решения. Подобная точка зрения аудитора базируется на его знаниях, квалификации, опыте работы и служит основой для принятия им субъективных решений в обстоятельствах, когда нельзя однозначно определить порядок его действий [5].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что профессиональное суждение аудитора должно отвечать характеристикам, указывающим на то, что, являясь собственным мнением аудитора, оно не исключает наличие иных мнений по анализируемой проблеме. Мнение аудитора по проблемам, связанным с аудиторской проверкой и не имеющим стандартного решения, обычно вырабатывается в условиях неопределенности, при этом объективность мнения аудитора не гаран-

тируется и исходит из того, что мнение, основанное на знаниях, квалификации и опыте работы конкретного аудитора, не всегда может быть подкреплено нормативными требованиями. В этом случае профессиональное суждение аудитора выполняет функции дополнительной поддержки принятых решений по организации процедуры аудита в рамках существующего понятийного и методологического аппарата. Одновременно суждение является инструментом разрешения практических проблем, вытекающих из неопределенностей и противоречий, отраженных в документах нормативного и методологического характера, и вызывает необходимость сформулировать основные требования, предъявляемые к профессиональному суждению аудитора. Порядок формирования профессионального суждения аудитора основывается на принципах аудита и подготовки бухгалтерской и финансовой информации, при этом предполагается, что данные, имеющие отношение к аудиторской проверке, поступают к аудитору в результате их обработки при выполнении профессиональных обязанностей. В процессе работы с материалами данные трансформируются в суждение относительно изучаемой информации. Законы, нормы и правила оказывают влияние на процесс аудита, на формируемое профессиональное суждение и на конечный результат аудита – мнение аудитора, которое документально выражается в заключении аудитора, имеющем юридико-правовое значение в судебном и арбитражном процессах. Основные требования к информации, на основании которой аудитор формирует суждение, закреплены национальным законодательством: законами «Об аудиторской деятельности в Приднестровской Молдавской Республике», законом «О бухгалтерском учете и финансовой отчетности в ПМР», а также соответствующими

требованиями международных и приднестровских стандартов по бухгалтерскому учету и аудиту. Совокупность требований к суждению аудитора включает осмотрительность, нейтральность, целостность, уместность, надежность, последовательность, сопоставимость, правильное оформление по требованиям международных стандартов аудита. На наш взгляд, весомое значение отводится, прежде всего, осмотрительности, поскольку мнение высказывается аудитором в условиях неопределенности с принятием во внимание факторов, ограничивающих уместность и надежность информации, по которой аудитором высказывается суждение. Учитывается сопоставимость пользы от профессионального суждения и затрат на его формирование с учетом экономического и юридического содержания фактов хозяйственной жизни, на основании которых формулируется окончательное суждение. Область применения профессионального суждения аудитора прописана в стандартах аудита и сводится к выражению мнения о наличии и величине аудиторского риска, определению уровня существенности искажений проверяемой бухгалтерской отчетности, количестве и характере аудиторских процедур, процедуре документирования аудиторского процесса, особенностей раскрытия информации (например, событий после отчетной даты и др.) [6]. Деятельность аудитора посвящена вынесению суждения по тем или иным фактам хозяйственной жизни проверяемого лица и, как следствие, в результате он формирует и использует профессиональное суждение по определенным вопросам как составной элемент документа, в котором высказывается мнение в целом. Суждение аудитора формируется в таких областях, как оценка риска аудитора, риска пропуска существенных искажений, вызванных мошенничеством или ошибкой, ход при-

нения решений о характере, выбор времени и масштабности процедур аудита, оценка обоснованности суждений и оценок, вынесенных учетными специалистами аудируемого объекта при подготовке финансовой отчетности [1].

Таким образом, можно представить, профессиональное суждение аудитора, которое в отличие от профессионального суждения бухгалтера формируется с соблюдением определенного в стандарте бухгалтерского учета порядка мышления, как инструмент для принятия аудитором решений при оценке существенности мнения о достоверности финансовой (бухгалтерской) отчетности аудируемого лица в условиях неопределенности. Другими словами, при составлении аудиторского заключения на основании содержания нескольких профессиональных суждений аудитором вырабатывается мнение о достоверности и соответствии ведения проверяемой отчетности требованиям нормативной документации по бухгалтерскому учету в Приднестровской Молдавской Республике.

### Цитированная литература

1. МСА 200 «Основные цели независимого аудитора и проведение аудита в соответ-

ствии с международными стандартами аудита». – Текст : электронный. – URL : [http://www.consultant.ru/documents/cons\\_doc\\_LAW\\_317258](http://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW_317258) (дата обращения : 20.01.2022)

2. **Гутцайт, Е. М.** Методологические проблемы аудита / Е. М. Гутцайт. – Текст: непосредственный // Аудиторские ведомости. – 2002. – № 2, 4, 5, 6, 8, 10.

3. **Гутцайт, Е.М.** Аудиторская проверка с позиций теорий принятия решения в условиях неопределенности / Е. М. Гутцайт. – Текст: непосредственный // Аудиторские ведомости. – 2001. – № 8.

4. **Зеленин, Н. В.** Особенности формирования профессионального суждения бухгалтера и аудитора: сходство и различие / Н. В. Зеленин. – Текст: электронный // Вестник Приднестровского университета. – № 3. – 2021. – С. 340–346. – URL: [spsu.ru/science/nauchno-izdatelskaya-deyatelnost/vestnik-pgu](https://spsu.ru/science/nauchno-izdatelskaya-deyatelnost/vestnik-pgu) (дата обращения : 15.04.2022).

5. **Соколов, Я. В.** Профессиональное суждение бухгалтера: итоги минувшего века / Я. В. Соколов, Т. О. Терентьева. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет. – 2001. – № 12.

6. **Николаева, С. А.** Профессиональное суждение в системе нормативного регулирования бухгалтерского учета / С. А. Николаева. – Текст : непосредственный // Бухгалтерский учет. – 2000. – № 12.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ  
ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
зарегистрированных в Министерстве юстиции  
Приднестровской Молдавской Республики

## Изобретения

**(71)(73) Государственное образовательное учреждение «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»,**

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128

**(11) 545**

(21) 21100594

(51) A01C 7/00

(22) 09.11.2021

(15) 21.06.2022

**(72) Ф. Ю. Бурменко, А. В. Димогло, В. С. Михайлов, В. Г. Звонкий, Ю. Ф. Бурменко, Д. Ю. Бурменко**

(56) Патент РФ № 201770, A01C 7/00, 2021

**(54) Стенд для испытания пневматических высевающих аппаратов сеялок точного высева**, включающий высевающий аппарат с высевающим диском, средства контроля и фиксирования процесса высевания материала с комплектом датчиков, воздухоприготовительную систему с вакуумной камерой и пневмомагистралями, поддон сбора материала и привод, *отличающийся* тем, что с целью повышения точности результатов испытаний параллельно пневмомагистрали, связанной с вакуумной камерой высевающего диска, подсоединен байпасный отвод, содержащий последовательно расположенные сифонный компенсатор и дифференциальный пневматический конвертер, включающий сообщающуюся с пневмомагистралью измерительную и сообщающуюся с атмосферой компенсационную камеры, разделенные между собой мембраной, которая посредством штифтового передаточного звена взаимодействует с цифровым индикатором и оснащена тензометрическим датчиком, связанным со средством контроля.

**(71)(73) Государственное образовательное учреждение «Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко»,**

г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128

**(11) 546**

(21) 22100600

(51) B 23 H 3/00

(22) 27.06.2022

(15) 14.07.2022

**(72) Е. В. Ликризон, А. И. Дикусар, С. А. Силкин и Е. Н. Аксенов**

(56) Патент РФ «Способ электрохимической обработки титана и титановых сплавов». Зайцев А. Н., Гимаев Н. З., Житников В. П., Идрисов Т. Р. № 2271905 В23 Н 3/00. 2006.

**(54) Способ электрохимической обработки изделий из титана и титановых сплавов**, включающий использование электролитов на основе однокомпонентных водных растворов нейтральных солей, подачу пакетов анодных активирующих высокочастотных прямоугольных импульсов тока с регулированием периода их следования, синхронизированных с моментом максимального сближения колеблющегося электрода-инструмента с электродом-заготовкой, проведение обработки на малых рабочих межэлектродных зазорах, *отличающийся* тем, что с целью повышения производительности обработки за счет повышения концентрации электролита и изменения режима, в качестве электролита используют 20 % раствор  $\text{NaNO}_3$  с электропроводностью 0,15 См/см, который подают в зону обработки и поддерживают длительность прямоугольных высокочастотных импульсов 20 мкс до окончания обработки.

**(76) Сарахан Вадим Иванович,**

г. Тирасполь, ул. Краснодонская, д. 33, кв. 21

**(11) 547**

(21) 22100601

(51) C12H1/22, C12G 3/07

(22) 06.07.2022

(15) 31.08.2022

(56) Патент ПМР № 541 F1, C12H1/22, 2022

**(54) Способ получения крепкого алкогольного напитка**, включающий нагрев продукта в теплообменнике, подачу его под давлением по замкнутому циклу путем распыления на протяжении 48 часов в термоизолированную емкость с дубовыми клепками, самоостывание в течение 3–4 месяцев, определение степени готовности на основе физико-химического анализа его содержания и дегустации, *отличающийся* тем, что с целью расширения ассортимента, повышения эффективности производства и улучшения качества за счет ускорения процесса созревания, в качестве продукта используют смесь спирта этилового ректифицированного с водой умягченной крепостью 50–60 % об., нагретую до температуры 60–70 °С, которую после самоостывания по результатам степени готовности на основе физико-химического анализа и дегустации либо продолжают выдерживать в емкости на дубовой клепке, либо купажируют с другими ингредиентами и отправляют на дальнейшую технологическую обработку в соответствии с требованиями технологической инструкции.

2. Способ по п. 1, *отличающийся* тем, что используют ректифицированный спирт категории «Экстра» или «Люкс» (зерновой).

3. Способ по п. 1, *отличающийся* тем, что используют винный спирт.

4. Способ по п. 1, *отличающийся* тем, что используют смесь спиртов – ректифицированного категории «Экстра» или «Люкс» (зернового) и винного.

**ТОВАРНЫЕ ЗНАКИ**

**(730) Общество с ограниченной ответственностью «Венетто»,**

г. Тирасполь, ул. Шевченко, д. 91 «б»

**(111) 1998**

(210) 22201998

(220) 22.04.2022

(151) 20.05.2022

(180) 22.04.2032

**(540)**



(591) Желтый, белый, синий, голубой.

(526) ЕвроАвтоГАЗ

(511)

37 – обслуживание техническое транспортных средств; чистка транспортных средств; станции технического обслуживания транспортных средств.

**(730) Общество с ограниченной ответственностью «Фирма „Олюсс-ИК“»,**

г. Тирасполь, ул. К. Либкнехта, д. 159/2

**(111) 1999**

(210) 22201997

(220) 19.04.2022

(151) 20.05.2022

(180) 19.04.2032

**(540)**

**INFINITUM**

(511)

39 – бронирование билетов для путешествий; бронирование путешествий; организация пассажирских перевозок для третьих лиц через онлайн-приложение; организация перевозок по туристическим маршрутам; перевозки автобусные; перевозки пассажирские.

**(730) Толмачевская Екатерина Александровна,**

г. Тирасполь, ул. Космонавтов, д. 27, кв. 7

**(111) 2000**

(210) 22202003

(220) 15.06.2022

(151) 12.07.2022

(180) 15.06.2032

**(540)**



(511)

35 – продвижение продаж для третьих лиц.



**(730) Лукица Евгений Михайлович,**

г. Тирасполь, ул. Текстильщиков, д. 8, кв. 114

**(111) 2001**

(210) 22202004

(220) 23.06.2022

(151) 12.07.2022

(180) 23.06.2032

**(540)**

## BFC

(511)

25 – обувь, пуловеры/свитера, рубашки, одежда, одежда готовая, брюки, одежда верхняя, юбки, платья, трусы, пальто, куртки [одежда], комбинации [белье нижнее], боди [женское белье], банданы [платки], одежда из искусственной кожи, одежда кожаная, футболки, юбки-шорты, одежда вышитая, уборы головные.

41 – академии [обучение], парки аттракционов, развлечения, услуги артистов, организация конкурсов [учебных или развлекательных], прокат декораций для шоу-программ, организация досуга, радиопередачи развлекательные, публикация текстовых материалов, за исключением рекламных, прокат звукозаписей, библиотеки, обеспечивающие выдачу книг на дом, издание книг, монтирование теле- и радиопрограмм, шоу-программы, передачи развлекательные телевизионные, сады зоологические, предоставление спортивного оборудования, услуги казино [игры], услуги клубов [развлечение или просвещение], дискотеки, предоставление информации по вопросам развлечений, услуги в области азартных игр, клубы здоровья [оздоровительные и фитнес-тренировки], организация спортивных состязаний, обучение практическим навыкам [демонстрация], услуги студий записи, услуги спортивных лагерей, организация и проведение мастер-классов [обучение], организация конкурсов красоты, бронирование билетов на зрелищные мероприятия, монтаж видеозаписей, услуги караоке, клубы-кафе ночные [развлечение], услуги по распространению билетов [развлечение], организация и проведение концертов, услуги репетиторов, инструкторов [обучение], переподготовка профессиональная, выпуск музыкальной продукции, передача ноу-хау [обучение].

43 – агентства по обеспечению мест [гостиницы, пансионаты], услуги по приготовлению блюд и доставке их на дом, кафе, кафетерии, гостиницы, рестораны, закусовые, услуги баров, мотели, услуги ресторанов лапши «удон» и «соба», украшение тортов, услуги кальянных.

45 – бани общественные для гигиенических целей, бани турецкие, салоны красоты, услуги медицинских клиник, парикмахерские, больницы, помощь зубоврачебная / стоматология, маникюр, татуирование, услуги саун, услуги соляриев.

**(730) Общественная организация «Спортивно-футбольный клуб „Ла Фамилия“»,**

г. Бендеры, ул. Ткаченко, д. 10, кв. 30

**(111) 2002**

(210) 22202005

(220) 30.06.2022

(151) 12.07.2022

(180) 30.06.2032

**(540)**



(591) черный, желтый, оттенки красного, бронзовый.

(511)

25 – академии [обучение]; аренда спортивных площадок; бронирование билетов на зрелищные мероприятия; видеосъемка; воспитание физическое; издание книг; клубы-кафе ночные [развлечение]; клубы здоровья [оздоровительные и фитнес-тренировки]; обучение практическим навыкам [демонстрация]; организация и проведение мастер-классов [обучение]; организация и проведение спортивных мероприятий; организация конкурсов [учебных или развлекательных]; организация спортивных состязаний.

**(730) Акционерное общество «Жировой комбинат»,**

620085, Российская Федерация, Свердловская область,  
г. Екатеринбург, ул. Титова, 27

**(111) 2003**

(210) 22201999

(220) 06.05.2022

(151) 13.07.2022

(180) 06.05.2022

**(540)**



(511)

30 – майонез, майонезный соус; соусы [приправы]; соусы для пасты; приправы; пряности; специи; заправки для салатов, заправки на основе растительных масел.

**(730) Акционерное общество «Жировой комбинат»,**

620085, Российская Федерация, Свердловская область,  
г. Екатеринбург, ул. Титова, 27

**(111) 2004**

(210) 22202000

(220) 06.05.2022

(151) 13.07.2022

(180) 06.05.2022

**(540)**



(511)

30 – майонез, майонезный соус; соусы [приправы]; соусы для пасты; приправы; пряности; специи; заправки для салатов, заправки на основе растительных масел.

**(730) Акционерное общество «Жировой комбинат»,**

620085, Российская Федерация, Свердловская область,  
г. Екатеринбург, ул. Титова, 27

**(111) 2005**

(210) 22202001

(220) 06.05.2022

(151) 13.07.2022

(180) 06.05.2022

**(540)**

(511)

30 – майонез, майонезный соус; соусы [приправы]; соусы для пасты; приправы; пряности; специи; заправки для салатов, заправки на основе растительных масел.

**(730) Акционерное общество «Жировой комбинат»,**

620085, Российская Федерация, Свердловская область,  
г. Екатеринбург, ул. Титова, 27

**(111) 2006**

(210) 22202002

(220) 06.05.2022

(151) 13.07.2022

(180) 06.05.2022

**(540)**

## I love cooking

(511)

29 – блюда готовые на основе мяса замороженные; ветчина, голубцы, фаршированные мясом; заменители молока; крем сливочный; крокеты, маргарин; масла пи-

щевые, в том числе масла ароматизированные пищевые, смеси из масел пищевых; масло арахисовое; масло какао пищевое; масло кокосовое жидкое пищевое; масло кокосовое твердое; масло кукурузное пищевое; масло кунжутное пищевое; масло льняное пищевое; масло оливковое первого холодного отжима пищевое; масло оливковое пищевое; масло пальмовое пищевое; масло пальмоядровое пищевое; масло подсолнечное пищевое; масло рапсовое пищевое; масло соевое пищевое; молоко; молоко арахисовое; молоко арахисовое для кулинарных целей; молоко кокосовое; молоко кокосовое для кулинарных целей; молоко миндальное; молоко миндальное для кулинарных целей; молоко овсяное; молоко рисовое; молоко рисовое для кулинарных целей; молоко сгущенное; молоко скисшее; молоко соевое; молоко сухое; молоко топленое молочнокислого брожения; мясо, в том числе мясо свежее, мясо замороженное; мясные полуфабрикаты свежие, мясные полуфабрикаты замороженные, мясные изделия замороженные; мясо консервированное; напитки на основе арахисового молока; напитки на основе кокосового молока; напитки на основе миндального молока, паштеты из печени, печень, продукты молочные, свинина, сливки [молочный продукт]; сливки взбитые; субпродукты, сливки растительные; смеси жировые для бутербродов; составы для приготовления бульонов; составы и смеси для приготовления супов, в том числе жидкие составы для приготовления супов; составы и смеси для приготовления вторых блюд, в которых сушеные овощи являются основным ингредиентом; супы, в том числе замороженные супы; спреды на основе орехов; творог; творожные сыры; йогурт растительный, бульоны; овощи замороженные, овощные смеси замороженные.

30 – горчица, гречиха обработанная; изделия макаронные, заправки для салатов [приправа]; заправки для супов [приправа]; кетчуп [соус]; конфитюр молочный, крупа кукурузная; крупа манная; крупа овсяная; крупа ячневая; крупы пищевые; майонез, макароны; напитки какао-молочные; напитки кофейно-молочные, напитки шоколадно-молочные; пироги; пицца, приправы; рис, соус соевый; соус томатный; соусы [приправы], в том числе сливочные соусы; соусы для пасты; составы и смеси для приготовления вторых блюд, в которых крупы являются основным ингредиентом; составы и смеси для приготовления вторых блюд, в которых макаронные изделия являются основным ингредиентом; тесто готовое, в том числе тесто готовое замороженное; тесто для кондитерских изделий, тесто для кондитерских изделий замороженное; изделия кондитерские мучные (выпечка).

### Объекты авторского права

№ п/п	Наименование объекта	Ф.И.О. автора	Дата регистрации
1	2	3	4
308	Девиз	Ю.А. Мацебора	22.06.2022
309	Песня «Вперед, Шериф» и видеоклип к песне	Э.А. Бузук	22.08.2022
310	Псевдоним «Барынин Виктор Николаевич» (для публикации научных произведений)		22.08.2022

**ИЗВЕЩЕНИЯ**

1. Срок действия свидетельства № 1361 (заявка № 12201323) с приоритетом от 23 августа 2012 на товарный знак восстановлен и продлен с 23 августа 2022 года на 10 лет.

2. Наименование владельца свидетельства № 1852 (заявка № 1820183) на товарный знак изменено на следующее:

**(730) «Мета Плэтформс Инк. (Meta Platforms, Inc.).**

3. Наименование владельца свидетельства 1853 (заявка № 18201832) на товарный знак изменено на следующее:

**(730) «Мета Плэтформс Инк. (Meta Platforms, Inc.).**

4. Наименование владельца свидетельства № 1854 (заявка № 18201847) на товарный знак изменено на следующее:

**(730) «Мета Плэтформс Инк. (Meta Platforms, Inc.).**

5. Срок действия свидетельства № 1363 (заявка № 12201332) с приоритетом от 21 сентября 2012 года на товарный знак продлен с 21 сентября 2022 года на 10 лет.

6. Срок действия свидетельства № 404 (заявка № 02200320) с приоритетом от 19 августа 2002 года на товарный знак продлен с 19 августа 2022 года на 10 лет.

7. Срок действия свидетельства № 405 (заявка № 02200321) с приоритетом от 19 августа 2002 года на товарный знак продлен с 19 августа 2022 года на 10 лет.

8. Наименование владельца свидетельства № 1869 (заявка № 18201864) с приоритетом от 16 августа 2019 на товарный знак изменено на следующее:

**(730) Общество с ограниченной ответственностью «Ла Вида», г. Тирасполь, ул. К. Либкнехта, д. 377Б.**

9. Наименование владельца свидетельства № 1870 (заявка № 18201864) с приоритетом от 22 августа 2019 на товарный знак изменено на следующее:

**(730) Общество с ограниченной ответственностью «Ла Вида», г. Тирасполь, ул. К. Либкнехта, д. 377Б.**

10. Наименование владельца свидетельства № 1471 (заявка № 13201446) с приоритетом от 08 августа 2013 на товарный знак изменено на следующее:

**(730) Акционерное общество «Жировой комбинат», 620085, Российская Федерация, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Титова, 27.**

11. Срок действия свидетельства № 1471 (заявка № 13201446) с приоритетом от 08 августа 2013 на товарный знак продлен с 08 августа 2022 года на 10 лет.

12. Срок действия патента на промышленный образец № 427 (заявка № 1100475) с приоритетом от 14 ноября 2012 года продлен с 14 ноября 2022 года на 5 лет.

13. Срок действия патента на промышленный образец № 428 (заявка № 1100474) с приоритетом от 14 ноября 2012 года продлен с 14 ноября 2022 года на 5 лет.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аксёнов Евгений Николаевич** – старший преподаватель кафедры ИКТиС ИТИ, ПГУ им Т. Г. Шевченко.

E-mail: [evildesign@rambler.ru](mailto:evildesign@rambler.ru)

**Балашова Юлия Владимировна** – старший преподаватель кафедры интегрированные компьютерные технологии и системы ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [balashova\\_ju@mail.ru](mailto:balashova_ju@mail.ru)

**Берил Степан Иорданович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и теоретической физики физико-математического факультета, президент ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [president@spsu.ru](mailto:president@spsu.ru)

**Бурменко Даниил Юрьевич** – студент Инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [burmenco@gmail.com](mailto:burmenco@gmail.com)

**Бурменко Феликс Юрьевич** – профессор кафедры машиноведения Инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [burmenco@mail.ru](mailto:burmenco@mail.ru)

**Васильева Ольга Федоровна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры квантовой радиофизики и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [florina\\_of@mail.ru](mailto:florina_of@mail.ru)

**Ворническу Галина Ивановна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического анализа и приложений ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [vornicescu@gmail.com](mailto:vornicescu@gmail.com)

**Гайдаржи Георгий Харлампиевич** – кандидат педагогических наук, профессор

кафедры алгебры, геометрии и методики преподавания математики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [galla0808@yandex.com](mailto:galla0808@yandex.com)

**Гарбузняк Елена Сергеевна** – старший преподаватель кафедры информатики и программной инженерии Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [goldfenix@mail.ru](mailto:goldfenix@mail.ru)

**Герб Ольга Сергеевна** – студентка IV курса физико-математического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [gerb.lelya@bk.ru](mailto:gerb.lelya@bk.ru)

**Готеляк Александр Вячеславович** – старший преподаватель кафедры «Автоматизированные технологии и промышленные комплексы» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [alexgotelyak@gmail.com](mailto:alexgotelyak@gmail.com)

**Грабовецкая Татьяна Павловна** – преподаватель информатики и ИКТ ГОУ СПО «Приднестровский колледж технологий и управления».

E-mail: [gtp.20.05@mail.ru](mailto:gtp.20.05@mail.ru)

**Данильчук Виктор Васильевич** – старший преподаватель кафедры машиноведения и технологического оборудования Инженерно-технического института ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [vik-dani@mail.ru](mailto:vik-dani@mail.ru)

**Деткова Анна Васильевна** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры ИКТиС, заместитель декана факультета среднего профессионального образования по учебно-производственной работе ИТИ ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: [det-anna@yandex.ru](mailto:det-anna@yandex.ru)



**Дикусар Александр Иванович** – доктор химических наук, профессор кафедры «Автоматизированные технологии и промышленные комплексы» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: aidikusar@gmail.com

**Дикусар Галина Кирилловна** – доктор химических наук, профессор кафедры «Автоматизированные технологии и промышленные комплексы» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: dikusargk@gmail.com

**Димогло Анатолий Владимирович** – заведующий кафедрой «Технических систем и электрооборудования в АПК» аграрно-технологического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: dimoglo@rambler.ru

**Дмитриева Наталья Николаевна** – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета и аудита ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: mosy200175@mail.ru

**Долгов Алексей Юрьевич** – проректор по информатизации и инновационным технологиям в образовании, кандидат технических наук, доцент.

E-mail: dolgov@spsu.ru

**Ерхан Федор Михайлович** – доктор технических наук, профессор кафедры технических систем и электрооборудования в агропромышленном комплексе ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: terhan@mail.ru

**Есир Алла Ивановна** – старший преподаватель кафедры «Финансы и кредит».

E-mail: mik-dik@yandex.ru

**Звонкий Виталий Георгиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных технологий и промышленных комплексов ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: mr.zvonkiy@mail.ru

**Зейдан Валерия Борисовна** – магистрант экономического факультета кафедры бухгалтерского учета и аудита ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: zeidan90@mail.ru

**Зеленин Николай Валерьевич** – старший преподаватель кафедры «Бухгалтерский учет и аудит» экономического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: nikzelenin@mail.ru

**Зинган Анна Петровна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры квантовой радиофизики и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: zingan.anna@mail.ru

**Зинченко Сергей Владимирович** – преподаватель кафедры информационных технологий и автоматизированного управления производственными процессами ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: seregagranto@gmail.com

**Золотарёв Виктор Сергеевич** – технолог цеха № 5 научно-производственного объединения «Электромаш».

E-mail: ice.man2020@mail.ru

**Иванова Майя Дмитриевна** – кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии.

E-mail: mamayka85@inbox.ru

**Корнейчук Николай Иванович** – кандидат технических наук, профессор инженерных наук, промышленности и транспорта Бендерского политехнического филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: n.corneiciuc@uasm.md

**Коровякова Кристина Витальевна** – магистрант экономического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко, 1 курс.

E-mail: kristi.15092015@mail.ru

**Ляхомская Ксения Даниловна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры квантовой радиофизики и систем связи ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: ksedanna@yandex.ru

**Малютина Надежда Николаевна** – старший преподаватель кафедры алгебры, геометрии и МПМ, младший научный сотрудник НИЛ «Алгебра и её приложения» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко.

E-mail: 231004.bab.nadezhda@mail.ru

**Меделян Дмитрий Сергеевич** – магистрант экономического факультета кафедры бухгалтерского учета и аудита ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: dmitrijmedelyan@gmail.com

**Михайлов Владимир Сергеевич** – старший преподаватель кафедры технических систем и электрооборудования в АПК аграрно-технологического факультета ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

E-mail: voh\_a@mail.ru

**Обевзенко Михаил Александрович** – студент 4 курса физико-математического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: nikolamishking@mail.ru

**Соколов Владислав Владимирович** – ректор ПГУ им. Т. Г. Шевченко, доктор экономических наук, профессор.

E-mail: president@spsu.ru

**Старчук Александр Сергеевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: star-alex@idknet.com

**Стасюк Татьяна Петровна** – кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой бухгалтерского учета и аудита ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: tatiana.stasyuk@gmail.com

**Стица Алина Валерьевна** – студентка IV курса физико-математического факультета ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: miledy-2000@mail.ru

**Тягульская Людмила Анатольевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры информатики и программной инже-

нерии Рыбницкого филиала ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: tla.ki@list.ru

**Устименко Светлана Алексеевна** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры производства и эксплуатации технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: sveta\_ustim@mail.ru

**Царюк Елена Александровна** – старший преподаватель кафедры машиноведения и технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: len-caruk@yandex.ru

**Чернов Владимир Дмитриевич** – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Алгебра и её приложения» ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: volodya.black@gmail.com

**Шинкаренко Елена Георгиевна** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры алгебры, геометрии и методики преподавания математики ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: galla0808@yandex.com

**Щербаков Виктор Алексеевич** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института математики и информатики Республики Молдова, заведующий НИЛ «Алгебра и ее приложения» Приднестровского государственного университета им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: scerb@math.md

**Юрченко Евгений Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры машиноведения и технологического оборудования ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

E-mail: nauka\_iti@mail.ru

**Юрченко Ольга Егоровна** – старший преподаватель кафедры машиноведения и технологического оборудования ПГУ им. Т. Г. Шевченко.

E-mail: yestin05@gmail.com

---

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Akseonov Eveniy Nikolaevich** – Senior Lecturer of the Department of Integrated Computer Technologies and Systems, Engineering - Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [evildesign@rambler.ru](mailto:evildesign@rambler.ru)

**Balashova Yulia Vladimirovna** – Senior Lecturer of the Department of Integrated Computer Technologies and Systems, Engineering - Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [balashova\\_ju@mail.ru](mailto:balashova_ju@mail.ru)

**Beril Stepan Iordanovich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of General and Theoretical Physics of the Faculty of Physics and Mathematics, President of the Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [president@spsu.ru](mailto:president@spsu.ru)

**Burmenko Daniil Yurievich** – Student of the Engineering - Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [burmenco@gmail.com](mailto:burmenco@gmail.com)

**Burmenko Felix Yurievich** – Professor of the Department of Mechanical Engineering of the Engineering - Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [burmenco@mail.ru](mailto:burmenco@mail.ru)

**Chernov Vladimir Dmitrievich** – Junior Research Assistant of the scientific research laboratory "Algebra and its Applications" of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [volodya.black@gmail.com](mailto:volodya.black@gmail.com)

**Danilchuk Viktor Vasilyevich** – Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Technological Equipment Engineering and Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [vik-dani@mail.ru](mailto:vik-dani@mail.ru)

**Detcova Anna Vasilievna** – Assistant Professor of the Department of Integrated Computer Technologies and Systems, Deputy Dean of the Faculty of Secondary Vocational

Education for Educational and Production Work of the Engineering and Technical Institute, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [det-anna@yandex.ru](mailto:det-anna@yandex.ru)

**Dikusar Alexander Ivanovich** – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [aidikusar@gmail.com](mailto:aidikusar@gmail.com)

**Dikusar Galina Kirillovna** – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [dikusargk@gmail.com](mailto:dikusargk@gmail.com)

**Dimoglo Anatoliy Vladimirovich** – Head of the Department of Technical Systems and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex, Agricultural and Technological Faculty, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [dimoglo@rambler.ru](mailto:dimoglo@rambler.ru)

**Dmitrieva Natalia Nikolaevna** – Senior Lecturer of the Department of Accounting and Audit of the Faculty of Economics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [mosy200175@mail.ru](mailto:mosy200175@mail.ru)

**Dolgov Alexei Yurievich** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice-Rector for Informatization and Innovative Technologies in Education, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [dolgov@spsu.ru](mailto:dolgov@spsu.ru)

**Erhan Fedor Mikhailovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Systems and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: [terhan@mail.ru](mailto:terhan@mail.ru)

**Gaidarzhi Georgii Kharlampievich** – Candidate of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Algebra, Geometry and

Methods of Teaching Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: galla0808@yandex.com

**Garbuznyak Elena Sergeevna** – Senior Lecturer of the Department of Informatics and Program Engineering, of the Rybnitsa's branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: goldfenix@mail.ru

**Gerb Olga Sergeevna** – 4th year Student of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: gerb.lelya@bk.ru

**Gotelyak Alexander Vyacheslavovich** – Senior Lecturer of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: alexgotelyak@gmail.com

**Grabovetskaya Tatyana Pavlovna** – Teacher of Informatics and ICT, SEI SVE "Pridnestrovian College of Technology and Management".

E-mail: gtp.20.05@mail.ru

**Ivanova Maya Dmitrievna** – Candidate of Psychology of the Department of Psychology, Assistant Professor, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: mamayka85@inbox.ru

**Korneichuk Nikolai Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering, Industry and Transport, Bendery's polytechnic branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: n.corneiciuc@uasm.md

**Korovyakova Kristina Vitalievna** – 1st year Master's Student of the Faculty of Economics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: kristi.15092015@mail.ru

**Lyakhomskaya Ksenia Daniilovna** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Quantum Radiophysics and Communication Systems, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: ksedanna@yandex.ru

**Malyutina Nadezhda Nikolaevna** – Senior Lecturer of the Department of Algebra, Geometry and Methods of Teaching Mathematics, Junior Research Assistant of the scientific research laboratory "Algebra and its Applications" of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: 231004.bab.nadezhda@mail.ru

**Medelyan Dmitry Sergeevich** – Master's Student of the Faculty of Economics, the Department of Accounting and Audit, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: dmitrijmedelyan@gmail.com

**Mikhailov Vladimir Sergeevich** – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex, Agricultural and Technological Faculty, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: voh\_a@mail.ru

**Obevzenko Mikhail Alexandrovich** – 4th year Student of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: nikolamishking@mail.ru

**Shcherbacov Victor Alekseevich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Mathematics and Informatics of the Republic of Moldova, Head of the scientific research laboratory "Algebra and its Applications", Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: scerb@math.md

**Shinkarenko Elena Georgievna** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Algebra, Geometry and Methods of Teaching Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: galla0808@yandex.com

**Sokolov Vladislav Vladimirovich** – Doctor of Economics, Professor, Rector of the Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: president@spsu.ru

**Starchuk Alexander Sergeevich** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Gen-

eral and Theoretical Physics of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: star-alex@idknet.com

**Stasyuk Tatiana Petrovna** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Accounting and Auditing of the Faculty of Economics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: tatiana.stasyuk@gmail.com

**Stitsa Alina Valerievna** – 4th year Student of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: miledy-2000@mail.ru

**Tsaruk Elena Aleksandrovna** – Senior Lecturer of the Department of Automated Technologies and Industrial Complexes, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: len-caruk@yandex.ru

**Tyagulskaya Ludmila Anatolievna**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Software Engineering of the Rybnitsa's branch of Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: tla.ki@list.ru

**Ustimenko Svetlana Alekseevna** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Operation of Technological Equipment, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: sveta\_ustim@mail.ru

**Vasilieva Olga Fedorovna** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Quantum Radiophysics and Communication Systems of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: florina\_of@mail.ru

**Vornicescu Galina Ivanovna** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical Analysis and Applications of the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: vornicescu@gmail.com

**Yesir Alla Ivanovna** – Senior Lecturer, the Department of Finance and Credit.

E-mail: mik-dik@yandex.ru

**Yurchenko Evgeniy Vladimirovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Science and Technological Equipment, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: nauka\_iti@mail.ru

**Yurchenko Olga Egorovna** – Senior Lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Technological Equipment, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: yestin05@gmail.com

**Zeidan Valeriya Borisovna** – Master's Student of the Faculty of Economics, the Department of Accounting and Auditing, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: zeidan90@mail.ru

**Zelenin Nikolay Valerievich** – Senior Lecturer of the Faculty of Economics, the Department of Accounting and Auditing, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: nikzelenin@mail.ru

**Zinchenko Sergey Vladimirovich** – Lecturer of the Department of Information Technologies and Automated Control of Production Processes, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: seregagranto@gmail.com

**Zingan Anna Petrovna** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Quantum Radio physics and Communication Systems, the Faculty of Physics and Mathematics, Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: zingan.anna@mail.ru

**Zolotariov Victor Sergheevich** – Technologist of the workshop №5 of the Research and Production Association "Electromash".

E-mail: ice.man2020@mail.ru

**Zvonkiy Vitaliy Georgievich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automated Technologies and Industrial Complexes Shevchenko State University of Pridnestrovie.

E-mail: mr.zvonkiy@mail.ru



# СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА

<i>С. И. Берил, В. В. Соколов, А. Ю. Долгов, М. Д. Иванова.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДАЛЬНЕЙШЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА .....	3
<i>С. И. Берил, А. С. Старчук.</i> О БИПОЛЯРОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В «СЭНДВИЧАХ ГИНЗБУРГА». ЧАСТЬ I. ТЕОРИЯ БИПОЛЯРОННЫХ СОСТОЯНИЙ БОЛЬШОГО РАДИУСА В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ .....	10
<i>С. И. Берил, А. С. Старчук.</i> О БИПОЛЯРОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В «СЭНДВИЧАХ ГИНЗБУРГА». ЧАСТЬ II. ИССЛЕДОВАНИЕ КУПЕРОВСКОГО СПАРИВАНИЯ ПОЛЯРОНОВ В МОНОСЛОЯХ FeSe НА ПОДЛОЖКАХ SrTiO <sub>3</sub> И В ТРЕХСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ SrTiO <sub>3</sub> – FeSe – SrTiO <sub>3</sub> .....	18
<i>К. Д. Ляхомская, М. А. Обеззенко.</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ТРЕХКАНАЛЬНОМ НЕЛИНЕЙНОМ ОТВЕТВИТЕЛЕ С УЧЕТОМ ПОГЛОЩЕНИЯ И УСИЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ИЗЛУЧЕНИЯ .....	26
<i>О. Ф. Васильева, А. П. Зинган, О. С. Герб, А. В. Стица.</i> ОПТИЧЕСКИЕ ВЕНТИЛИ НА ОСНОВЕ ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОРЕЗОНАТОРАХ .....	31
<i>Т. П. Грабовецкая, Н. Н. Малютина, В. А. Щербаков.</i> ОБОБЩЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ И ЕДИНИЦЫ .....	37
<i>В. А. Щербаков, В. Д. Чернов, Н. Н. Малютина.</i> О НЕКОТОРЫХ ГРУППОИДАХ С ТОЖДЕСТВАМИ ТИПА БОЛА – МУФАНГ .....	56
<i>Е. Г. Шинкаренко, Г. И. Ворническу, Г. Х. Гайдаржи.</i> ДИДАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ В ФОРМИРОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ ОБУЧАЕМЫХ .....	60
<i>Л. А. Тягульская, Е. С. Гарбузняк.</i> ВЕБ-САЙТ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МАТЕМАТИКЕ .....	67



## ИНЖЕНЕРИЯ. ИНФОРМАТИКА

<i>В. В. Данильчук.</i> ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА С ВОЛЬФРАМОМ ИЗ БОР-ГЛЮКОНАТНОГО И ЦИТРАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТОВ .....	74
<i>Е. В. Юрченко.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЛОЖКИ ИЗ СТАЛИ 65Г И ТИПА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ .....	82
<i>Е. В. Юрченко, О. Е. Юрченко.</i> К ВОПРОСУ О ПОЛУЧЕНИИ БУГРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ .....	91
<i>В. Г. Звонкий, Ф. Ю. Бурменко, Д. Ю. Бурменко.</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ. ...	97
<i>Ф. Ю. Бурменко, В. Г. Звонкий, В. С. Михайлов, А. В. Димогло.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СЕЯЛОК ТОЧНОГО ВЫСЕВА .....	101
<i>Ф. М. Ерхан, Н. И. Корнейчук.</i> ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПОЧВЕННОЙ КОРРОЗИИ .....	108
<i>Е. А. Царюк, В. Г. Звонкий.</i> УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ОТРАСЛЕВОМ КОНТЕКСТЕ .....	114
<i>С. А. Устименко, В. С. Золотарёв.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЯ В УЧЕБНЫХ МАСТЕРСКИХ .....	119
<i>Е. Н. Аксенов, А. В. Деткова.</i> ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПЛАТ СЕМЕЙСТВА АРДУИНО .....	124
<i>С. В. Зинченко, Ю. В. Балашова.</i> МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА. ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ .....	129

## ЭКОНОМИКА. УПРАВЛЕНИЕ

<i>Г. К. Дикусар, А. В. Готеляк, А. И. Дикусар.</i> НАУЧНО-ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С УРОВНЕМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА. РОЛЬ ФИНАНСИРОВАНИЯ НАУКИ И МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА .....	134
---	-----

---

<i>А. И. Есир.</i> ИНВЕСТИЦИИ КАК ШАГ К СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕСТРОЙКЕ ЭКОНОМИКИ.....	144
<i>Т. П. Стасюк, В. Б. Зейдан.</i> ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНОЙ УЧЕТНОЙ ПОЛИТИКИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ.....	150
<i>Т. П. Стасюк, Д. С. Меделян.</i> КОМПЛЕКСНО-РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА – ПУТЬ К УЛУЧШЕНИЮ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ .....	155
<i>Н. Н. Дмитриева, К. В. Коровякова.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ...	158
<i>Н. В. Зеленин.</i> СУЖДЕНИЕ АУДИТОРА КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ МНЕНИЯ О ДОСТОВЕРНОСТИ ОТЧЕТНОСТИ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ АУДИТОРСКОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ .....	164

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, зарегистрированных в Министерстве юстиции Приднестровской Молдавской Республики .....	171
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....	179

Научно-методический журнал

ВЕСТНИК ПРИДНЕСТРОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
Серия: **Физико-математические и технические науки**

Редакторы: *Е. Ю. Кривошеева, В.В. Дабежа, А. С. Гузун*  
Компьютерная верстка *А. Н. Федоренко*  
Переводчик *А.А. Якубовская*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.

Подписано в печать 15.12.2022. Формат 70×100/16.  
Уч.-изд. л. 11,75. Усл. печ. л. 15,16. Заказ № 1304.

Изд-во Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18.  
*Электронное издание*