

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»  
Студенческое научное общество БарГУ  
Совет молодых ученых БарГУ

# **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ: ИННОВАЦИИ И КАЧЕСТВО**

Материалы VI Международной  
научно-практической конференции

(Барановичи, 20 декабря 2019 года)

Барановичи  
БарГУ  
2020

В сборнике отражены результаты исследований в актуальных областях компьютерного моделирования производственных процессов, а также автоматизированных систем учета, анализа, распознавания и защиты информации. Представлены тенденции развития техники и автоматизации производства, описаны современные технологии обработки и упрочнения деталей машин, адаптивные подходы к совершенствованию производства сельскохозяйственной продукции. Также рассмотрены актуальные проблемы физики, математики и информатики. Достаточно большое внимание уделено изучению проблемы обеспечения качества подготовки специалистов инженерного профиля и рассмотрению общих тенденций развития техники и автоматизации производства.

Издание представляет интерес для преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов.

Редакционная коллегия:

В. В. Климук (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.), О. И. Наранович, А. П. Гринько, В. А. Дремук, А. В. Шах

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиноведение» учреждения образования «Брестский государственный технический университет» В. М. Голуб;  
академик, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» В. В. Клубович

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i> .....	5
--------------------------	---

### СЕКЦИЯ 1 КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УЧЕТА, АНАЛИЗА, РАСПОЗНАВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

<b>Бортник А. Л., Вареник М. А., Раковцы Г. М.</b> Разработка информационной системы класса CRM управления деятельности торгового предприятия .....	6
<b>Вареник М. А., Козел М. И.</b> Проектирование информационной системы контроля текущей успеваемости студентов .....	8
<b>Вареник М. А., Корсак А. В.</b> Шифрование и дешифрование с помощью алгоритма полиалфавитной замены .....	10
<b>Горбач Ю. Е., Тарасюк А. Ю.</b> Разработка веб-приложения для расчета показателей рентабельности предприятия .....	12
<b>Григорович В. Д., Шапович Е. Г.</b> Автоматизация проведения анкетирования респондентов учреждения образования «Барановичский государственный университет» .....	13
<b>Ёлкин М. Ю., Шах А. В.</b> Биометрическая идентификация клиентов банка по голосу .....	16
<b>Ермакова А. А., Шах А. В.</b> Веб-приложение «Журнал преподавателя» .....	18
<b>Калько А. И., Мальчиков С. Ю.</b> Виртуальная площадка с использованием облачного хранилища данных .....	20
<b>Карпович Г. Д., Раковцы Г. М.</b> Разработка автоматизированной системы для сбора персональных данных работников торговли .....	22
<b>Климук В. В.</b> Инноватизация индустриального сектора в условиях развития цифровой экономики .....	24
<b>Наранович О. И., Ровба В. Е.</b> Использование программных комплексов для проведения статического анализа прочности полумуфты .....	26
<b>Попова Е. Э.</b> Удобство использования как фактор выбора системы электронного документооборота .....	28
<b>Сырокваш А. О., Раковцы Г. М.</b> Использование и разработка автоматизированных систем контроля доступа и учета рабочего времени на предприятии .....	29
<b>Толстик И. А.</b> Концептуальные основы разработки автоматизированных систем защиты информации .....	31
<b>Шапович Е. Г., Орсаг Я.</b> Создание архитектуры приложения для автоматизации классификации диатомовых водорослей .....	33
<b>Шах А. В.</b> Имитационное моделирование бизнес-процессов .....	35

### СЕКЦИЯ 2 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

<b>Алифанов А. В., Малеронок В. В., Богданович И. А.</b> Исследование влияния изменения размеров зерен в результате магнитно-импульсной обработки на величину падения напряжения в упрочненном слое металлических изделий .....	38
<b>Алифанов А. В., Русан С. И., Богданович И. А., Цуран В. В.</b> Оптимизация процесса шлифования режущих лезвий геликоидальных рубильных ножей .....	40
<b>Барышников В. Ф., Рудков А. Д.</b> Модернизация конструкции шагового конвейера .....	42
<b>Богданова Т. Я., Вороник А. С.</b> Модернизация агрегатного станка АС1640.000 для обработки фланца алюминиевого .....	43
<b>Вербицкий С. Б., Старчевой С. А., Усатенко Н. Ф.</b> Система автоматического регулирования режимов гидромеханической обработки мясного сырья в вакуумном массажере .....	45
<b>Дыдышко И. М., Сиваченко Л. А.</b> К созданию пружинной мельницы для сверхтонкого помола материалов .....	47
<b>Жигалов А. Н., Кандыбович И. С., Калоша Д. В.</b> Исследования влияния ионно-плазменного азотирования на износ дереворежущих ножей .....	49
<b>Жигалов А. Н., Сотник Л. Л., Филипович А. Д.</b> Исследование износа твердосплавного фрезерного инструмента, упрочненного аэродинамическим методом, в программе DEFORM .....	51
<b>Жигалов А. Н., Шелег В. К.</b> Теория и практика аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания .....	53
<b>Козловский В. А., Литвинович Т. П., Винничек К. С.</b> Совершенствование конструкции цельных круглых протяжек .....	55
<b>Кондратчик Н. Ю., Веремейко Е. А.</b> Исследование коррозионной стойкости стали марок 45 и 38ХНЗМФА .....	56
<b>Корзун И. М., Сиваченко Л. А.</b> Вибрационный грохот с пружинными просеивающими поверхностями .....	58
<b>Купреев М. П., Судник Л. В., Рудницкий К. Ф.</b> Абразивный инструмент для шлифования труднообрабатываемых сталей .....	60
<b>Леванцевич М. А., Сотник Л. Л., Козловский И. А., Столяров А. С., Голушко А. А.</b> Исследование химического состава материала-донора и слоя покрытия, сформированного деформационным плакированием гибким инструментом .....	62
<b>Наливко О. И., Сиваченко Л. А.</b> Обоснование выбора проволочных рабочих органов измельчительных машин .....	64
<b>Наливко О. И., Сотник Л. Л., Волостных И. О., Ханин С. И.</b> Конечный элементный анализ элементов привода с использованием интегрированной среды системы автоматизированного проектирования .....	66
<b>Нерода М. В., Саханько С. А., Осташко А. С., Нерода Ю. П., Калоша Д. В.</b> Технология ионно-плазменного азотирования дисковых ножей .....	69
<b>Онысько С. Р.</b> Оценка влияния твердости металла на процесс пробивки отверстия штамповым инструментом .....	71
<b>Потапов В. А., Сиваченко Л. А.</b> Обоснование основных подходов проектирования элементов рабочих органов цепных агрегатов .....	73
<b>Русан С. І., Гаўрылена А. К.</b> Уплыў трэння качэння на механічныя характарыстыкі руху мабільнай сістэмы .....	76

Сиваченко Л. А. Технологическое машиностроение — инновационный резерв мировой экономики . . . . .	78
Степанович П. В., Винничек К. С. Обоснование цели и задач, связанных с разработкой и исследованием клапана гидравлического для повышения надежности нефтедобывающего оборудования . . . . .	80
Федосов Н. М. Применение инструментальной оснастки с возможным подводом смазочно-охлаждающих технологических средств через вращающуюся оправку и режущий инструмент как средство повышения производительности и точности обработки . . . . .	81

### СЕКЦИЯ 3

#### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ИНФОРМАТИКИ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ

Артемова Е. В. Применение медиакомпетентного подхода на занятиях по учебному предмету «Информатика» как повышение качества образования . . . . .	84
Бруй И. Н. Суммирование со скоростью рядов в банаховом пространстве . . . . .	85
Бушейко О. Л. Использование онлайн-тестирования для контроля знаний обучающихся . . . . .	113
Гринько А. П. Использование различных дробных производных в формулах типа Тейлора . . . . .	115
Дремук В. А., Водошняк Н. В. Профессиональное самоопределение студентов технических специальностей: гендерный аспект . . . . .	116
Качкар Г. В. Компьютерное моделирование в аддитивных технологиях . . . . .	118
Мирошникова Ю. Ф., Дзичковская А. В., Купцов А. С. Цифровизация образовательного процесса на примере учебной дисциплины «Высшая математика» . . . . .	119
Нерода Ю. П., Петлицкая Т. С. Применение математического аппарата для решения задач по физике . . . . .	121
Петлицкая Т. С., Нерода Ю. П. Mathcad как средство решения физических задач . . . . .	123
Романчук Т. А. Использование компьютерных технологий для повышения качества учебного процесса . . . . .	125
Соловей Е. В., Белова Н. В. Современные технологии поддержки инженерной деятельности и их перспективы . . . . .	126
Соловей Е. В., Соловей А. Н. Использование искусственного интеллекта в машиностроении . . . . .	128
Тюменков Г. Ю., Невмержицкая А. С. Элементы анализа уравнения Ван-дер-Ваальса с помощью системы Wolfram Mathematica . . . . .	130

### СЕКЦИЯ 4

#### АДАПТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Абраскова С. В., Саванчук Д. Д., Стречень И. А., Ярота А. А. Резервы использования новых сортов ячменя на зерносеянаж . . . . .	133
Бурдейко В. А. Расчет параметров конических щеток машины для сбора колорадского жука . . . . .	134
Бурдейко В. А., Исаев А. В. Проблема борьбы с короедом в лесных массивах . . . . .	136
Гавриленя А. К., Майсюк В. Н. Обзор культиваторов для междурядной обработки почвы и дальнейшие перспективы их развития в Республике Беларусь . . . . .	137
Гутман В. Н., Дыдышко И. М. Исследование процесса термической обработки концентрированных кормов . . . . .	139
Дейхина Т. В. Анализ эффективности снижения содержания нитратов в плодово-ягодной продукции после замораживания и дефростации . . . . .	141
Копылова Е. В., Даниленко С. Г., Вербицкий С. Б. Применение современных технологий адаптивной биоконсервации кукурузного силоса . . . . .	142
Мороз Д. С., Медведик С. Е., Королько А. Д., Шпак М. Ю. Последствие светодиодного освещения различного спектрального состава на формирование генеративных органов растений-регенерантов земляники садовой <i>Fragaria × ananassa</i> Duch . . . . .	144
Приходько С. Л., Дедков В. П. Сортные особенности лежкости плодов <i>Vaccinium × covilleatum</i> BUT. ET PL. при интродукции в южной агроклиматической области Республики Беларусь . . . . .	146

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Техника и технология в современном обществе продолжают занимать важнейшее место. С развитием вычислительной техники все важнее становится роль компьютерного моделирования в решении прикладных и научных задач. Одним из важнейших показателей, определяющих спрос на проектируемый объект, является его качество. Обеспечение необходимого качества возможно при удовлетворении эксплуатационных требований, предъявляемых к деталям машин. Также большую роль в современных условиях играет совершенствование производства сельскохозяйственной продукции и автоматизация производства. Продолжают быть актуальными проблемы физики, информатики, математики, качества подготовки специалистов инженерного профиля.

В данном сборнике публикуются материалы VI Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: инновации и качество».

Тематика конференции включает следующие направления:

1. Компьютерное моделирование производственных процессов. Разработка автоматизированных систем учета, анализа, распознавания и защиты информации.
2. Тенденции развития техники и автоматизации производства. Современные технологии обработки и упрочнения деталей машин.
3. Актуальные проблемы математики, физики и информатики. Обеспечение качества подготовки специалистов инженерного профиля.
4. Адаптивные подходы к совершенствованию производства сельскохозяйственной продукции.

Основными задачами конференции являются обмен опытом и мнениями по тематике направлений, создание оптимальных условий для профессионального общения преподавателей, студентов, молодых исследователей, руководителей научно-технических организаций; развитие научной активности студентов, привлечение их к решению актуальных задач в области науки и техники; повышение качества международного сотрудничества университета.

Сборник включает научные работы преподавателей учреждений высшего образования, научных и практических работников, аспирантов, магистрантов, студентов Республики Беларусь, России, Украины.

# СЕКЦИЯ 1

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ

УДК 65.011.56

А. Л. Бортник<sup>1</sup>, М. А. Вареник<sup>2</sup>, Г. М. Раковцы<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Лайкит», Барановичи

<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КЛАССА CRM УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Введение.** Среди многочисленных классов прикладных компьютерных программ есть класс, который в последнее время стал очень популярен. Это так называемые CRM-системы. CRM — это не столько компьютерная программа, сколько технология работы компании на рынке. И эта технология в значительной степени зависит от типа рынка, вида бизнеса и пр. CRM-система это инструмент, который помогает реализовать данную технологию [1].

**Основная часть.** Разработанная Информационная система класса CRM управления деятельностью торгового предприятия актуальна по таким причинам, как увеличение степени удовлетворённости клиентов за счёт анализа накопленной информации о клиентском поведении, регулирования тарифной политики, настройки инструментов маркетинга. Благодаря применению автоматизированной централизованной обработки данных появляется возможность эффективно и с минимальным участием сотрудников учитывать индивидуальные потребности заказчиков, а за счёт оперативности обработки — осуществлять раннее выявление рисков и потенциальных возможностей [2].

Без использования специально разработанных систем менеджер тратит огромное количество времени для координации работы исполнителей, для общения с текущими и потенциальными клиентами.

Разработанная CRM-система предназначена для улучшения товарооборота путём сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с ними; упрощения ведения проектов для менеджеров и исполнителей; анализа затраченного времени каждого участника проекта.

Для разработки проекта была выбрана система управления базами данных MySQL ввиду ее хорошей скорости работы, надежности, гибкости. Работа с ней, как правило, не вызывает больших трудностей. Средой разработки программного продукта была выбрана система 1С:Битрикс.

Для входа в систему пользователю необходимо пройти процедуру авторизации. После авторизации пользователь попадает на главную страницу, которая позволяет ознакомиться со всеми последними событиями предприятия. Для более удобной навигации все новости разделены на разделы, а также реализован функционал поиска новостей. Новости, с которыми не ознакомился пользователь, выделяются серым цветом. Есть возможность добавления новостей в «Избранное», для чего необходимо кликнуть на кнопку в детальной странице новости. Чтобы попасть в избранные новости, необходимо на главной странице новостей кликнуть на кнопку «Избранные новости».

Администратор сайта имеет возможность ознакомиться со статистикой посещаемости и просмотра новостей. Для этого требуется кликнуть на кнопку «Отчеты» в меню (рисунок 1).

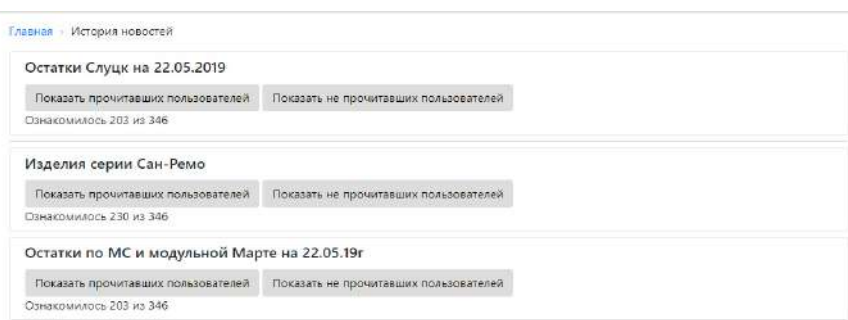


Рисунок 1 — Страница «Отчеты»

На этой странице можно просмотреть тех пользователей, которые прочитали конкретную новость. Для этого необходимо кликнуть соответствующую кнопку в блоке новостей.

Основным средством общения между разными отделами предприятия является страница «Форум». Здесь пользователь может получить ответы или задать вопросы, которые ему интересны. Форум позволяет пользователям упростить общение между собой, обмениваться файлами и данными, вести групповой диалог.

В разделе «База знаний» хранится вся информация, необходимая для работы веб-приложения: контакты, экспозиция, организационные вопросы, приемка товаров, бухгалтерский учет и работа с кассой, рассрочка, мягкая мебель, корпусная мебель, матрасы, пожарная безопасность.

Для просмотра подробной информации о стадии приема товара, требуется воспользоваться одноименной функцией (рисунок 2).

Страница «Печать ценников» предназначена для формирования ценников и вывода их на печать (рисунок 3).

Разработанная система позволяет оформить заявку на продукцию, производимую предприятием, в магазине, а также на продукцию отдела снабжения. Для регистрации заявки необходимо перейти в соответствующее окно и нажать кнопку «Создать заявку». После того, как заявка будет создана, магазин увидит её статус. Когда работа относительно конкретного заказа будет выполнена, то статус изменится на «Выполнено», а строка выделится зеленым цветом.

На странице «Планируемая отгрузка» можно посмотреть, в какое время должна произойти отгрузка товара в том или ином магазине (рисунок 4).



Рисунок 2 — Подробная информация страницы «Прием товара»



Рисунок 3 — Страница «Печать ценников»

Магазин	Водитель	Продукт	Артикул продукта	Планируемая дата
0000157	Тарасевич С.Л	Серджио д.к.угл. без накладок	WT050100250	13.03.2019
0000157	Тарасевич С.Л	Моника Софа	WT033100060	13.03.2019
0000157	Тарасевич С.Л	Браво д.к.	WT011000040	13.03.2019
0000157	Тарасевич С.Л	Этюд д.к.	WT066000040	13.03.2019

Рисунок 4 — Страница «Планируемая отгрузка»

В системе присутствует сервис для отслеживания выполнения заявки на заправку картриджа для принтера из различных магазинов. Для этого необходимо перейти на страницу «Картриджи» и оформить заявку.

**Заключение.** Внедрение данного программного продукта позволит сократить годовые текущие затраты, связанные с решением производственных задач, снизить трудоемкость их решения. Анализ экономической эффективности показал целесообразность разработки программного продукта. Срок окупаемости разработанного программного продукта составляет менее одного года.

#### Список цитируемых источников

1. Разработка информационной системы класса CRM [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://otherreferats.allbest.ru/programming/00194957\\_0.html/](https://otherreferats.allbest.ru/programming/00194957_0.html/). — Дата доступа: 10.05.2019.
2. CRM-системы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://admin74.ru/services/crm-system/>. — Дата доступа: 12.05.2019.

УДК 004.422

М. А. Вареник, М. И. Козел

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕКУЩЕЙ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

**Введение.** На сегодня день одной из основных задач учреждений высшего образования является повышение качества учебного процесса. Широкое распространение сети Интернет заставляет снова и снова пересматривать традиционные процессы управления учебным процессом университета.

Качественный учет является одним из факторов организации эффективного учебно-образовательного и управленческого процесса.

В условиях современного общества немаловажным показателем успешности деятельности учреждения является степень использования современных информационных технологий в управлении учреждением. Бурное развитие информационных технологий позволяет решить многие задачи управления на качественно новом уровне, обеспечить информационную поддержку на основе сетевых компьютерных технологий, собственно компьютерных сетей и современных инструментальных программных средств.

**Основная часть.** Кафедра является основным учебно-научным структурным подразделением факультета (университета), осуществляющим учебную, методическую и научно-исследовательскую работу по одному или нескольким родственным направлениям или специальностям, воспитательную работу среди студентов, а также подготовку научно-педагогических кадров и повышение их квалификации.

Внутренним документом, определяющим статус и область деятельности кафедр университета, является Положение о кафедре. Этот документ закрепляет правовые нормы и гарантии деятельности коллективов кафедр, предоставляет гарантии невмешательства в творческий процесс и академические свободы работников кафедр со стороны администрации университета и факультета.

При этом большое значение имеет механизм управления учебно-педагогическим процессом на уровне коллектива кафедры. Организация образовательного процесса должна обеспечивать академические свободы для преподавателя по выбору методов и форм организации учебного процесса, а для студента — по выбору своей образовательной «траектории» [1].

Если рассматривать кафедру с точки зрения системного подхода, то ее основными элементами являются сотрудники: заведующий кафедрой, его заместитель, преподаватели, методисты, заведующие лабораториями, инженеры. Каждый элемент системы выполняет свою определенную задачу, но именно взаимосвязь элементов обеспечивает выполнение главной задачи системы — обучение студентов.

Эффективное управление контролем успеваемости студентов невозможно без системы автоматизации. Целью данного исследования является проектирование информационной системы контроля текущей успеваемости студентов. Она позволит автоматизировать управление данными о студентах по учебным группам и специальностям, включая создание отдельных списков групп студентов; составление ведомости промежуточной аттестации студентов; расчет итогового рейтинга студентов перед экзаменом; поиск студентов в базе данных; учет выполнения лабораторных работ студентами в течение семестра; получение промежуточных данных по успеваемости студентов; получение статистики для подготовки отчетов.

Основной задачей проектирования является разработка объектно ориентированной системы. Для решения задачи необходимо построить модель будущей системы с использованием языка объектного моделирования UML [2; 3]. На рисунке 1 показаны варианты использования проектируемой информационной системы.

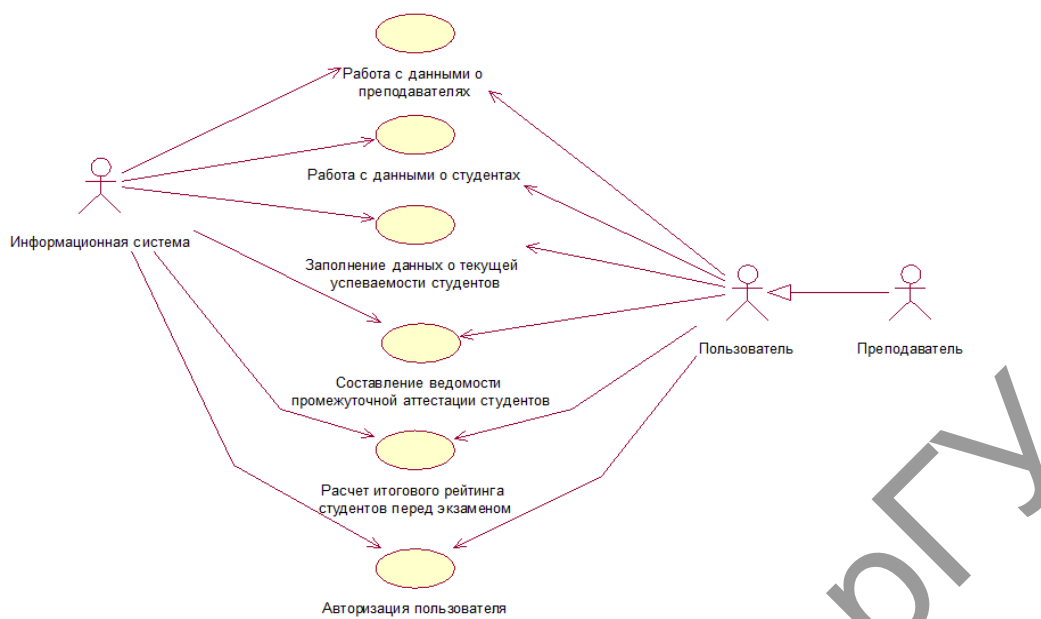


Рисунок 1 — Варианты использования информационной системы

Разработка модели включает в себя следующие этапы:

1) построить диаграммы прецедентов: привести и описать диаграммы вариантов использования информационной системы учета успеваемости студентов. Данный вид диаграмм позволит описать все функции будущей системы;

2) построить диаграммы последовательности: привести и описать диаграммы последовательности для всех прецедентов информационной системы учета успеваемости студентов. Диаграммы последовательности позволят показать взаимодействие объектов системы во времени и порядок действий для выполнения определенного варианта использования системы;

3) создать диаграммы сотрудничества: привести и описать диаграмму сотрудничества для всех прецедентов информационной системы учета успеваемости студентов. Диаграммы сотрудничества позволят показать обмен сообщениями между объектами системы;

4) построить диаграммы классов: привести и описать диаграмму классов будущей информационной системы учета успеваемости студентов;

5) добавить детали к описаниям операций и определить атрибуты классов, добавить связи между классами;

6) создать диаграмму состояний для одного из классов и диаграмму компонентов. Диаграмма состояний позволит показать состояния, в которых может находиться система для выполнения определенного варианта использования, а диаграмма компонентов — физическое представление разрабатываемой системы;

7) построить диаграммы размещения. Данный вид диаграмм позволит показать размещение компонентов по отдельным узлам системы.

**Заключение.** Разработка объектно ориентированной модели информационной подсистемы позволит смоделировать в стандартных формах предметную область, анализировать эту модель на всех этапах разработки и сопровождения информационной подсистемы.

#### Список цитируемых источников

1. Иванцовская, Н. Г. Модель управления инновационным процессом на кафедре / Н. Г. Иванцовская, В. Г. Буров // Университет. управление: практика и анализ. — 2004. — № 1 (30). — С. 69—76.
2. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма [и др.] — СПб. : Питер, 2013. — 359 с.
3. Леоненков, А. В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose / А. В. Леоненков. — М. : Бином. Лаборатория знаний, Интернет-ун-т информации, технологий, 2012. — 320 с.

## ШИФРОВАНИЕ И ДЕШИФРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ПОЛИАЛФАВИТНОЙ ЗАМЕНЫ

**Введение.** В современном мире без шифрования не обходится ни одна сфера деятельности человека. При этом сохранение конфиденциальности отправляемых данных является актуальным вопросом. Для сохранения данных используются разные методы шифровки и дешифровки.

Шифрование — это метод преобразования данных, пригодных для чтения человеком, в форму, которую человек не сможет прочитать. За счет этого данные остаются конфиденциальными и приватными.

Дешифрование — обратная операция. Преобразование нечитаемых данных в читаемые.

Цель данного исследования заключается в разработке программы шифровки и дешифровки, используя алгоритм полиалфавитной замены. Данная программа будет позволять пользователю шифровать или дешифровать заданный текст, используя ключевое слово, задуманное или известное ранее. Основная задача — разработать класс, основанный на данном алгоритме шифрования.

**Основная часть.** Полиалфавитные шифры состоят из нескольких шифров однозначной замены и отличаются друг от друга способом выбора варианта алфавита для зашифрования одного символа. Рассмотрим примеры алгоритмов полиалфавитной замены [1].

1. Диск Альберти. Он состоял из двух дисков — внешнего неподвижного и внутреннего подвижного, на которые были нанесены буквы алфавита. Процесс шифрования заключался в нахождении буквы открытого текста на внешнем диске и замене ее на букву с внутреннего диска, стоящую под ней. После этого внутренний диск сдвигался на одну позицию, шифрование второй буквы производилось уже по новому шифр-алфавиту. Ключом данного шифра являлся порядок расположения букв на дисках и начальное положение внутреннего диска относительно внешнего.

2. Таблица Трисемуса — это таблица со стороной, равной  $n$ , где  $n$  — количество символов в алфавите. В первой строке матрицы записываются буквы в порядке их очередности в алфавите, во второй — та же последовательность букв, но с циклическим сдвигом на одну позицию влево, в третьей — с циклическим сдвигом на две позиции влево и т. д.

Первая строка является одновременно и алфавитом для букв открытого текста. Первая буква текста шифруется по первой строке, вторая буква — по второй и т. д. После использования последней строки вновь возвращаются к первой.

3. Система шифрования Виженера. В 1586 году французский дипломат Блез Виженер представил перед комиссией Генриха III описание простого, но довольно стойкого шифра, в основе которого лежит таблица Трисемуса.

Перед шифрованием выбирается ключ из символов алфавита. Сама процедура шифрования заключается в следующем: по  $i$ -му символу открытого сообщения в первой строке определяется столбец, а по  $i$ -му символу ключа в крайнем левом столбце — строка. На пересечении строки и столбца будет находиться  $i$ -й символ, помещаемый в шифрограмму. Если длина ключа меньше сообщения, то он используется повторно.

4. Роторные машины. Время начала создания электромеханических роторных машин относится к первой половине XX века. Некоторые из них использовались в разных странах вплоть до 1980-х годов. В большинстве из них использовались роторы (механические колеса), взаимное расположение которых определяло текущий алфавит шифрозамен, используемый для выполнения подстановки. Наиболее известной из роторных машин является немецкая машина времен Второй мировой войны «Энигма». Суть работы машины: выходные штыри одного ротора соединены со входными штырями следующего ротора, при нажатии символа исходного сообщения на клавиатуре замыкается электрическая цепь, в результате чего загорается лампочка с символом шифрозамены.

Для реализации поставленной задачи использована среда программирования Microsoft Visual Studio 2017 и язык программирования C++ [2]. Функциональные требования к разрабатываемой программе: открывать файлы с данными для дешифрования/шифрования; записывать данные в файл; генерировать ключи; шифровать данные; дешифровать данные. Нефункциональные требования: удобство использования; пользовательский интерфейс должен быть Windows-совместимым; пользовательский интерфейс системы должен быть понятным; алгоритм шифрования основан на квадрате Виженера (рисунок 1).

На рисунке 2 представлены классы, содержащие в себе выполняемые ими операции и атрибуты. Класс «Основная форма» используется для диалога с пользователем, класс «Шифровка» содержит в себе атрибуты и операции, необходимые для выполнения шифрования и дешифрования текста.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
C	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
D	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
E	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z			
F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z				
G	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z					
H	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z						
I	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z							
J	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z								
K	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z									
L	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z										
M	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z											
N	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z												
O	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z													
P	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z														
Q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z															
R	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z																
S	S	T	U	V	W	X	Y	Z																	
T	T	U	V	W	X	Y	Z																		
U	U	V	W	X	Y	Z																			
V	V	W	X	Y	Z																				
W	W	X	Y	Z																					
X	X	Y	Z																						
Y	Y	Z																							
Z	Z																								

Рисунок 1 — Квадрат Виженера

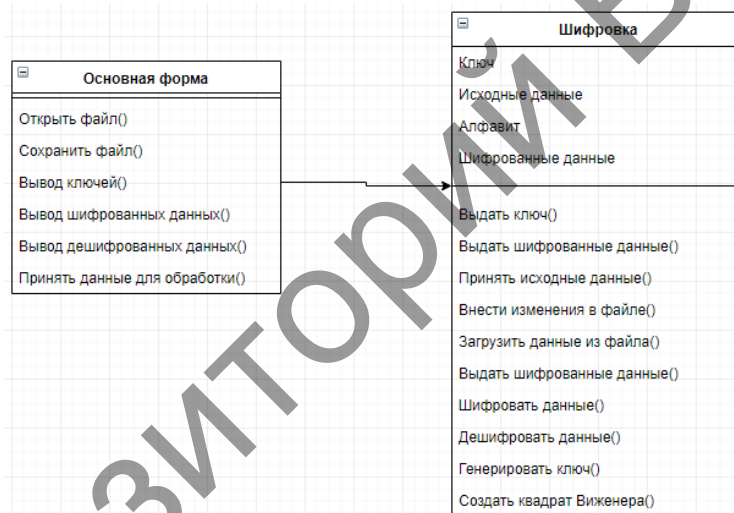


Рисунок 2 — Диаграмма классов

В ходе исследования была разработана программа шифровки и дешифровки текста.

Вводимыми данными является шифруемый или дешифруемый текст. Используя введенные данные, программа выполняет шифровку (дешифровку) введенного текста по ключевому слову.

**Заключение.** Программу можно использовать для шифровки (дешифровки) текста, если никто, кроме получателя, не должен знать исходный текст.

#### Список цитируемых источников

1. Шифры замены [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/krip-to/lecture/tema4#p45/>. — Дата доступа: 14.10.2019.
2. Пахомов, Б. И. Самоучитель C/C++ и Borland C++Builder 2006 / Б. И. Пахомов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2006. — 576 с.

## РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Введение.** В современных условиях хозяйствования приходится постоянно принимать решения, связанные с учетом финансового состояния предприятия. Для качественной оценки эффективности деятельности предприятия показателей прибыли недостаточно. Большая роль в этом случае отводится анализу динамики показателей различных видов рентабельности.

**Основная часть.** Рентабельность (прибыльность, доходность) представляет собой показатель экономической эффективности деятельности предприятия, характеризующий конечные результаты деятельности хозяйствующего субъекта.

Рентабельность является относительным показателем. Показатели рентабельности могут характеризовать эффективность работы предприятия в целом, доходность различных направлений деятельности (текущей, коммерческой, инвестиционной). Считается, что они более полно, чем прибыль, характеризуют результаты производственно-хозяйственной деятельности.

В практике работы предприятий применяется ряд показателей рентабельности. При расчете рентабельности в любом случае в числителе находится прибыль, а в знаменателе может быть один из показателей: себестоимость продукции, стоимость основных средств, стоимость оборотных средств, выручка от реализации продукции, сумма активов предприятия, стоимость собственного капитала и т. д.

При этом для расчета уровня доходности предприятия все показатели рентабельности могут быть объединены в группы: показатели рентабельности продаж (оборота), уровень которых определяется соотношением прибыли с объемом продаж продукции; показатели рентабельности, базирующиеся на затратном подходе, уровень которых определяется соотношением прибыли с соответствующими затратами; показатели рентабельности, базирующиеся на ресурсном подходе, уровень которых определяется отношением прибыли к общей сумме или отдельным ресурсам — частям авансированного капитала [1].

Все показатели рентабельности могут использоваться для разных целей. Можно определить показатели, чтобы оценить общую доходность деятельности предприятия. Методика их расчета основана на использовании отношений показателей общей прибыли предприятия, прибыли от реализации продукции, чистой прибыли к показателям реализованной продукции, себестоимости, суммы общего капитала, суммы собственного капитала, заемного капитала. А можно анализировать показатели в целях оценки доходности продукции, используемых ресурсов производства, общих затрат и их элементов. Методика расчета таких показателей также базируется на отношении показателей прибыли предприятия, прибыли от реализации продукции, чистой прибыли к показателям различных видов затрат — себестоимости, основных средств, оборотных средств, оплаты труда и т. д.

Следует отметить, что уже существуют различные типы калькуляторов рентабельности. Они представляют собой инструмент для расчета коэффициентов рентабельности предприятия. Основные балансовые показатели организации (выручка, себестоимость, основной капитал и др.) вводятся в соответствующие поля, затем получают значения определенных показателей рентабельности (в зависимости от вида калькулятора). Калькулятор рентабельности позволяет упростить работу сотрудников экономического отдела, а банковским служащим — сделать предварительный вывод о платежеспособности клиента.

В рамках работы студенческого научного кружка было создано веб-приложение для определения основных наиболее распространенных видов рентабельности предприятия. В нем имеется возможность не только подсчитать показатели, но и сравнить их динамику за несколько лет (кварталов). Приложение создано с помощью языка разметки HTML, каскадных таблиц стилей CSS и языка программирования JavaScript.

Представим главную страницу веб-приложения (рисунок 1).

В начале расчета пользователю необходимо ввести период для анализа. Это могут быть квартал, год. Далее предлагается перейти к расчетам. Вид страницы расчета показателей рентабельности представлен на рисунке 2.

Пользователь должен ввести все необходимые цифровые данные для определения предлагаемого набора показателей рентабельности: продукции, продаж, основных средств, активов, собственного капитала.

Отдельные кнопки позволяют открыть и просмотреть формулы, по которым будет производиться расчет. Вид страницы с открытой формулой представлен на рисунке 3.

Далее осуществляется переход к результатам. Они представлены в табличном виде и с помощью столбиковой диаграммы (рисунок 4).



Рисунок 1 — Вид главной страницы

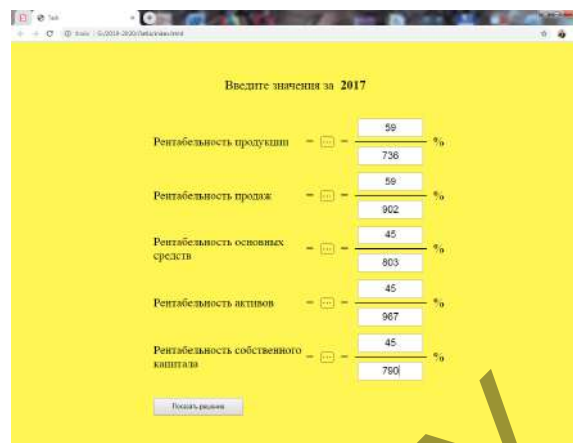


Рисунок 2 — Вид страницы расчетов

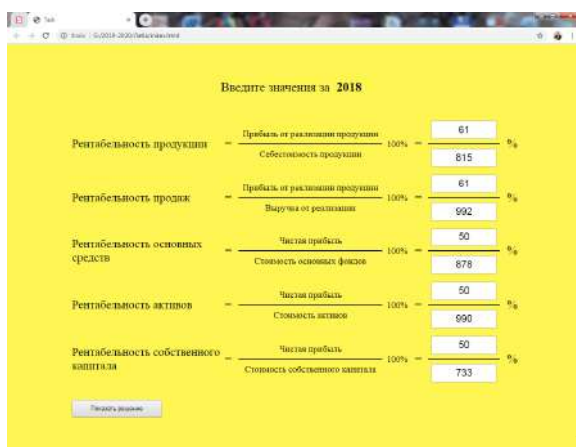


Рисунок 3 — Вид страницы с открытой формулой



Рисунок 4 — Вид страницы с результатами расчетов

**Заключение.** Итогом исследовательской работы стала разработка веб-приложения для расчета основных показателей рентабельности предприятия в целях оценки эффективности экономической деятельности предприятия. Преимуществами использования данного программного продукта являются возможности выбора периода для анализа и наглядного отображения результатов динамики изменений рассчитанных значений в табличном и графическом виде.

#### Список цитируемых источников

1. Головачёв, А. С. Экономика предприятия : учеб. пособие / А. С. Головачев. — Минск : РИВШ, 2018. — 395 с.

УДК 004.046

**В. Д. Григорович, Е. Г. Шапович**

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНКЕТИРОВАНИЯ РЕСПОНДЕНТОВ УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ «БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Введение.** Развитие средств вычислительной техники в последние годы привело к автоматизации многих областей человеческой деятельности, в том числе и высшего образования.

Основной целью автоматизации является повышение качества исполнения процесса. Автоматизированный процесс обладает более стабильными характеристиками, чем процесс, выполняемый в ручном режиме.

Во многих случаях автоматизация позволяет повысить производительность, сократить время выполнения процесса, увеличить точность и стабильность выполняемых операций [1].

В связи с вышесказанным в учреждении образования «Барановичский государственный университет» стало целесообразным автоматизировать проведение анкетирования респондентов и анализа полученных результатов. Это позволит существенно сократить издержки на разработку анкет, их обработку и определение результатов.

**Основная часть.** Целью научно-исследовательской работы является разработка интегрированной системы автоматизированного тестирования.

Оценка удовлетворенности потребителей осуществляется на основе непрерывного измерения в целях совершенствования управления качеством образовательного процесса в учреждении высшего образования.

В качестве объектов потребительского мониторинга выступают абитуриенты, студенты, выпускники, магистранты, аспиранты, преподаватели, сотрудники учреждения высшего образования.

Разрабатываемый программный продукт должен включать в себя следующий перечень функциональных требований: интуитивно понятный пользовательский интерфейс; осуществление работы администратора с программой только после прохождения авторизации по логину и паролю; ограничение возможностей программного продукта в зависимости от типа пользователя; сетевое подключение к базе данных; редактирование записей; поиск и сортировка данных; обработка результатов и создание отчета; обеспечение защиты и целостности данных.

Данное приложение позволит автоматизировать и упростить работу, что существенно сократит время обработки результатов.

Для разработки веб-приложения использовались такие технологии, как PHP, HTML, CSS, MySQL.

PHP — скриптовый язык общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из лидеров среди языков, применяющихся для создания динамических веб-сайтов [2].

Для работы веб-приложения был выбран веб-сервер Apache.

Apache HTTP-сервер — это так называемый свободный веб-сервер, представляющий собой кроссплатформенное программное обеспечение. Apache поддерживает следующие операционные системы: Microsoft Windows, BSD, Linux, Mac OS, BeOS, Novell NetWare [3].

Физическая модель базы данных разрабатываемого приложения изображена на рисунке 1.

Перед началом работы пользователю необходимо войти на сайт. Сразу после открытия сайта откроется главная страница (рисунок 2). На этой странице можно выбрать анкету, которую необходимо пройти.

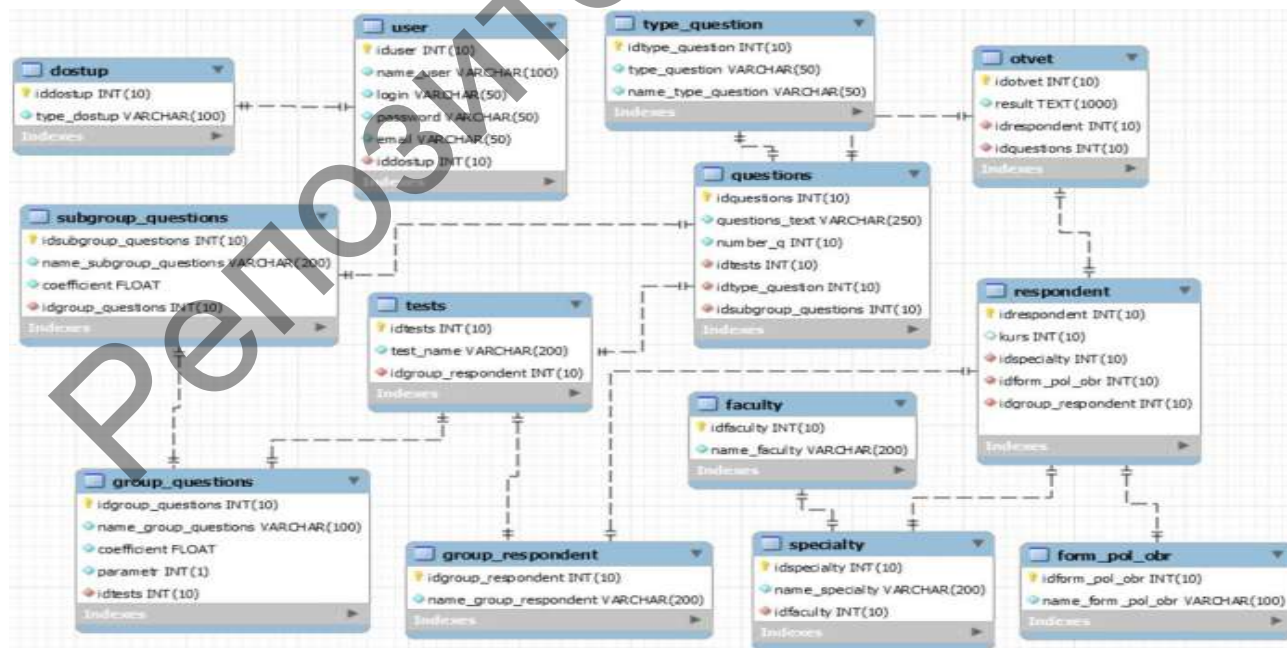


Рисунок 1 — Физическая модель базы данных

Анкеты делятся на два типа: 1) анкеты, где необходимо указать общую информацию о себе, такую как специальность, курс и т. д.; 2) анкеты, где ничего не нужно указывать.

Страница «Результаты» позволяет создавать отчеты по анкетам.

Если тест общий, т. е. не учитываются факультет, специальность, курс и форма обучения, то выберите тест и нажмите на кнопку «Показать».

Если тест учитывает сведения о факультете, специальности, курсу или форме обучения, то выберите тест, факультет, специальность, курс, форму обучения (если нужно) и нажмите на кнопку «Показать».

На странице появится отчет (рисунок 3).

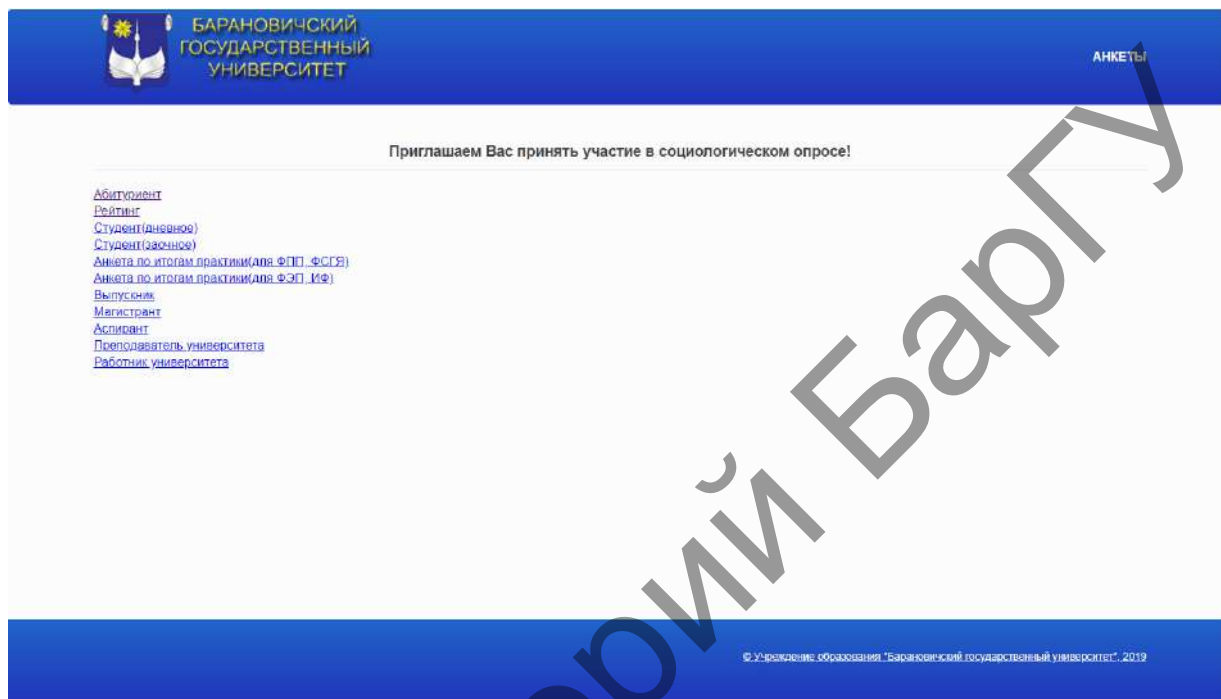


Рисунок 2 — Главная страница

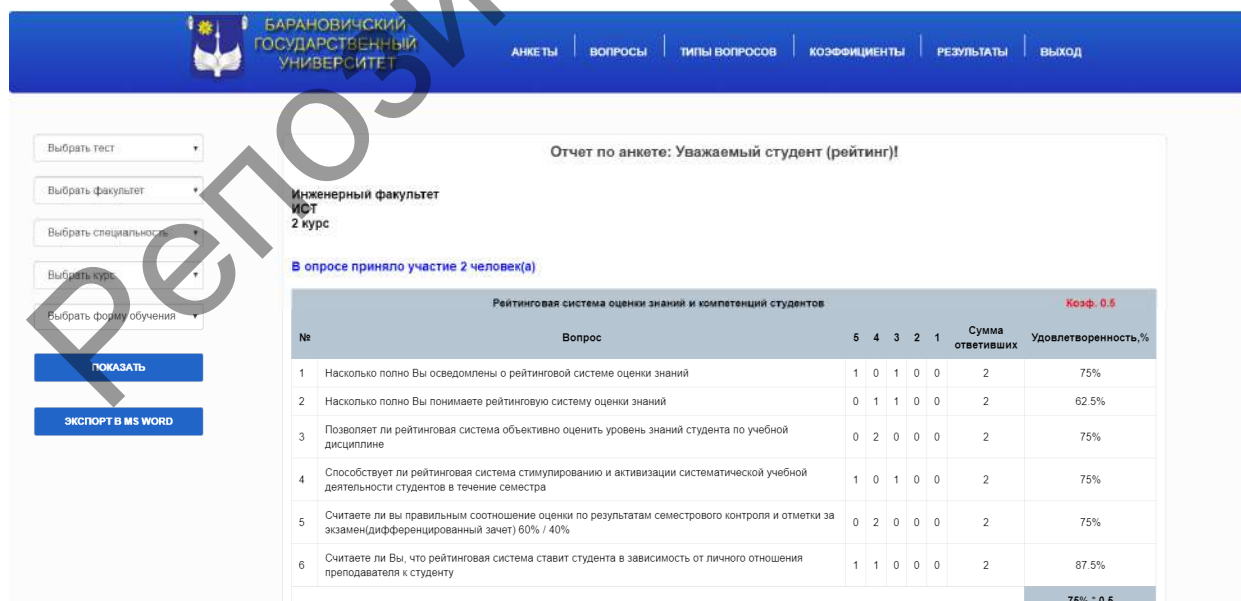


Рисунок 3 — Страница с отчетом

**Заключение.** Результатом исследовательской работы явилась разработанная автоматизированная система тестирования учреждения образования «Барановичский государственный университет», обладающая достаточным потенциалом для дальнейшего развития в более крупный проект.

#### Список цитируемых источников

1. Автоматизация процессов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.kpms.ru/Automatization/Process\\_automation.htm](http://www.kpms.ru/Automatization/Process_automation.htm) . — Дата доступа: 10.10.2019.
2. Лаура, Т. Разработка Web-приложений на PHP и MySQL : пер. с англ. / Т. Лаура, Л. Веллинг. — 2-е изд., испр. — СПб. : ДиаСофтЮП, 2003. — 672 с.
3. Apache-сервер: что такое и как настроить [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.hostings.info/schools/apache.html> . — Дата доступа: 15.10.2019.

УДК 004.934.2

М. Ю. Ёлкин<sup>1</sup>, А. В. Шах<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Частное унитарное предприятие по оказанию услуг «ДжазТим РнД», Солигорск  
<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## БИОМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛИЕНТОВ БАНКА ПО ГОЛОСУ

**Введение.** Биометрические методы распознавания применяются человечеством на протяжении всей его истории. Действительно, чаще всего мы узнаем знакомых людей именно с их помощью: по лицу, голосу или походке. Под биометрией в традиционном понимании этого термина понимают науку об измерениях биологических характеристик вообще с привлечением методов математической статистики. Она появилась в конце XIX века и занималась различными количественными биологическими экспериментами.

Биометрия — это инструмент эмпирического познания живой природы. Она призвана конкретизировать отображение биологических факторов, придать строгость биологическим выводам и прогнозам, способствовать целенаправленному исследованию биологических феноменов.

В узком смысле слова биометрия (англ. biometrics) — это прикладная область знаний, использующая при создании различных автоматических систем разграничения доступа уникальные признаки человека, называемые биометрическими характеристиками (biometric parameters). Эту область науки и техники в последнее время принято называть биометрикой.

**Основная часть.** Внедрение биометрических средств защиты при осуществлении банковской деятельности весьма актуально, так как зачастую недобросовестные заемщики предоставляют заведомо ложную или некорректную информацию, а мошенники предъявляют поддельные бумаги для получения нескольких кредитов в разных банковских филиалах.

Биометрические технологии бывают разных видов: технология идентификации голоса; идентификация по радужной оболочке глаз; идентификация по очертаниям лица; идентификация по отпечаткам пальцев; идентификация по ДНК и др. [1—3].

Использование банками биометрических технологий позволяет минимизировать риски, связанные с возможным хищением средств клиентов банка и активов самого банка, исключить несанкционированные операции, возможность подделки или утери документов с паролями, которые предоставляют доступ к информационным ресурсам.

В отличие от идентификаторов вроде паспорта, банковской карты, удостоверения личности, водительских прав, биометрические идентификаторы не могут быть утеряны или забыты их владельцем дома или на работе. Главные достоинства биометрических технологий — это качество и надежность функционирования, производительность и масштабность использования, оперативность идентификации [4].

Биометрические системы защиты помогут банкам защитить своих клиентов, минуя так называемый человеческий фактор. В зависимости от размера операции банк может применять различные способы подтверждения, а при обнаружении системой для конкретного клиента совершение несвойственных манипуляций с его стороны на серьезную сумму банк вправе потребовать дополнительное подтверждение совершаемой операции. Внедрение новейших систем банковской защиты с применением технологии биометрического контроля не означает отмену используемых в настоящее время систем банковского контроля [5].

На данный момент использование биометрических данных для идентификации личности реализуется банками в большинстве случаев для удаленной идентификации клиента, т. е. банковскими интернет-сервисами.

Для разработки модуля системы биометрической идентификации личности по голосу использовалась среда разработки IntelliJ IDEA и язык программирования Java.

Для реализации данного приложения была выбрана трехуровневая архитектура, которая состоит из трех компонентов: 1) уровень базы данных. На этом уровне запросы программы к базе данных. В работе использу-

ется MySQL 5.6; 2) spring Framework + Hibernate. Содержит основную логику по работе с таблицами и хранением состояния приложения. Вся логика взаимодействия классов с базой данных находится на этом уровне; 3) веб-клиент. На этом уровне происходит взаимодействие пользователя с системой [6].

На рисунке 1 приведена общая схема работы приложения.

Чтобы записать новый образец голоса, необходимо заполнить поле Sample name и нажать на изображение записи. После нажатия на кнопку записи активируется таймер. Запись останавливается спустя 10 секунд, о чём сигнализирует изменившийся цвет таймера. На рисунке 2 представлен вид формы.

При нажатии на кнопку VOISE SAMPLES произойдёт переход на страницу с образцами голоса (рисунок 3). Доступ к этим данным имеет только пользователь. Он также может удалять и добавлять новые записи при нажатии на кнопки delete и add new sample соответственно.

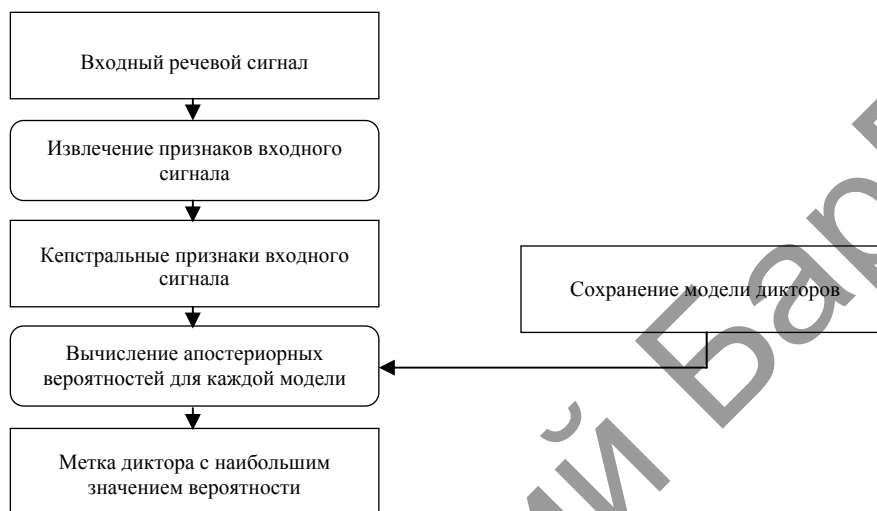


Рисунок 1 — Общая схема работы приложения



Рисунок 2 — Запись нового образца голоса



Рисунок 3 — Страница с образцами голоса

**Заключение.** Разработанный программный продукт позволит внедрять модуль идентификации личности по голосу в любой проект с минимальной доработкой. Такой продукт может найти применение как в колл-центрах, так и в сфере банковского обслуживания.

#### Список цитируемых источников

1. *Шах, А. В.* Информационная система таргетирования рекламных роликов по гендерному признаку / А. В. Шах // *Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого.* — 2018. — № 3. — С. 66—73.
2. *Шах, А. В.* Система распознавания и идентификации VIP-покупателей торгового объекта / А. В. Шах, Е. Г. Шапович // *Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании* : сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф., 20 дек. 2018 г. — М. : НИЯУ МИФИ ; Балаково : БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. — С. 206—209.
3. *Шапович, Е. Г.* Методы распознавания отпечатков пальцев и реализация на высокоуровневом языке программирования C# / Е. Г. Шапович, А. В. Шах // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика.* — 2019. — № 1 (44). — С. 477—480.
4. *Елкин, М. Ю.* Разработка системы биометрической идентификации личности по голосу / М. Ю. Елкин, А. В. Шах // *Содружество наук. Барановичи-2019* : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Барановичи, 16 мая 2019 г. : в 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т, студент. науч. о-во БарГУ ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи : БарГУ, 2019. — Ч. 1. — С. 56—58.
5. *Гришина, Е. А.* Биометрические технологии в российских банках: мечты или реальность / Е. А. Гришина // *Наука и общество.* — 2015. — № 3 (22). — С. 17—21.
6. *Шах, А. В.* Разработка приложения для биометрической идентификации личности по уникальности голоса / А. В. Шах, М. Ю. Елкин // *Современное научное знание: теория, методология, практика* : сб. науч. тр. по материалам X Междунар. науч.-практ. конф., Смоленск, 21 окт. 2019 г. — Смоленск : Наукосфера, 2019. — С. 44—46.

УДК 004.75

А. А. Ермакова, А. В. Шах

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ «ЖУРНАЛ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ»

**Введение.** Процессы развития информационного общества оказывают активное воздействие на все аспекты жизнедеятельности государства, общества, личности, в том числе на систему образования. Информатизация становится одним из приоритетных направлений развития университета, обеспечивая выполнение его основных задач в образовательной, научной и административной сферах деятельности.

В учреждении образования «Барановичский государственный университет» создается современная информационно-коммуникационная инфраструктура, ведется широкомасштабная работа по формированию системы электронных образовательных ресурсов и их интеграции в образовательный процесс.

Информационное пространство университета включает множество компонентов, но, как показывает опыт, многие преподаватели ведут учет посещаемости и успеваемости своих студентов в варианте рукописного журнала. Предлагается внедрить электронный вариант такого преподавательского органайзера.

**Основная часть.** Информационные технологии используются для эффективного проведения учебного процесса в школах, колледжах, университетах и т. п. Их наличие на занятиях стало обычным явлением для всего преподавательского состава. Представление лекции с помощью презентаций, проведение компьютерного тестирования, актуальная информация на сайтах учреждений образования и в социальных сетях дают нам наглядный пример повышения заинтересованности учебного процесса у учащихся и, как итог, повышение качества самого образования.

Для повышения качества информации, быстрого поиска нужной информации и совершения «подотчетности» о проведенных занятиях и было создано веб-приложение «Журнал преподавателя».

Преимущества электронного журнала: может содержать в себе интерактивные элементы; обновлять и получать информацию можно в любое время и в структурированном виде; возможно гибкое добавление и изменение функций; легкость и удобство заполнения; возможность обмена информацией между журналами и другими хранилищами данных; данные хранятся в электронном виде, что надежнее, чем в печатном формате.

Работа приложения для пользователя начинается со стартовой страницы (рисунок 1), где преподавателю нужно указать индивидуальный логин и пароль.

После успешной авторизации произойдет перенаправление на личную страницу пользователя (рисунок 2).

Далее преподаватель может выбрать дату, группу и предмет вместе или по отдельности, в зависимости от того, какие данные были изначально необходимы, и получить выборку данных в виде таблицы, а внести и изменить темы занятий проведенных пар. Результаты представлены на рисунке 3.

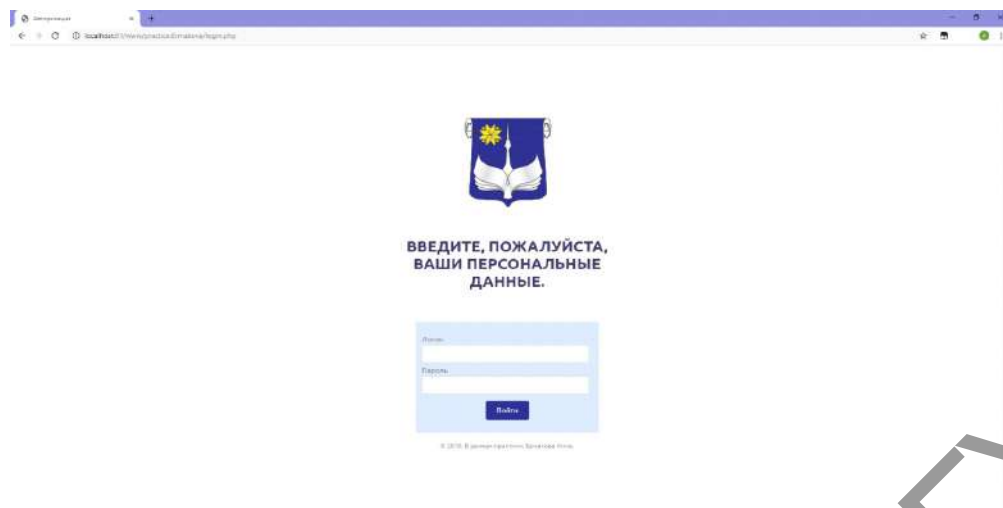


Рисунок 1 — Представление авторизации пользователя



Рисунок 2 — Пример успешной авторизации пользователя



Рисунок 3 — Результат заполнения электронного журнала преподавателем

В приложении существует также панель администратора, где он может вносить, добавлять и удалять списки групп, предметов и преподавателей. Все данные хранятся в базе данных, пароли пользователей хранятся в хешированном виде. Хеширование производится с помощью алгоритма хеш-функции MD5.

Для хранения данных об учебном процессе, быстрого поиска актуальной информации о расписании, удобного отслеживания тем проведенных занятий была создана база данных с помощью системы управления базами данных Microsoft SQL Server, а также приложение, в котором были реализованы возможности создания записей, их редактирования, удаления, поиска записей по значению заданных параметров. Данное приложение можно использовать в учреждениях образования.

**Заключение.** Электронный журнал преподавателя университета — сервис, позволяющий участникам учебного процесса в режиме онлайн фиксировать и получать информацию о текущих и итоговых оценках, графике контрольных точек, заданиях к ним и т. д.

Использование электронного журнала существенно облегчит процесс заполнения, исправления и передачи информации, которая до этого представлялась в обычном рукописном или печатном формате.

УДК 004.651

А. И. Калько<sup>1</sup>, С. Ю. Мальчиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Частное унитарное предприятие по оказанию услуг «ДжазТим РнД», Солигорск

## ВИРТУАЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ

**Введение.** Влияние на восприятие пользователя, направление получения информации, упрощение доступа пользователя к информации, создание положительного образа ресурса — всё это может достигаться с помощью использования различных визуальных средств. Однако существуют устоявшиеся особенности восприятия как отдельных элементов дизайна сайта, так и общей структуры и композиции ресурса [1]. Грамотное использование несложных приемов, правильное построение визуальной структуры страничек, грамотное расположение основных и дополнительных элементов позволяют, в значительной мере влиять на улучшение восприятия информации, предоставляемой сайтом в целом и интернет-магазином в частности.

**Основная часть.** Виртуальная площадка открывает возможность продажи товаров через Интернет покупателям из всех уголков страны. В текущее время, когда Интернет-продажи завоевывают все большую и большую часть рынка, отказываться от него не стоит. Запуск виртуальной площадки позволит повысить сбыт продукции путем привлечения новых покупателей [2].

Система администрирования сайта должна давать возможность обновления информации.

Приложение должно автоматизировать учет заказов, а также предоставить в удобной форме доступ администраторов к аналитическим данным. Также система должна обеспечить многопользовательский доступ к единой базе данных.

Виртуальная площадка состоит из нескольких частей. Первая часть предназначена для отображения товаров для всех видов пользователей, вторая — для управления интернет-магазином (создание новой категории, добавление поставщика и т. д.), третья — для добавления продукции (имеют право добавлять только администраторы складов). Функционал клиентской части виртуальной площадки доступен всем пользователям (поиск товаров, добавление товаров в корзину, оформление заказов, возможность регистрации и авторизации).

Функционал администрирования виртуальной площадки: добавление, удаление и изменение категорий; добавление, удаление и изменение поставщиков; обработка клиентских заказов, управление жизненным циклом заказа; управление правами пользователей; отображение статистики продаж.

Функционал для руководителя склада включает в себя добавление, удаление и изменение товаров.

Основные функциональные требования к разрабатываемому программному продукту: просмотр товаров и оформление заказа без необходимости регистрации; подбор товаров по параметрам, в результате чего клиент получает список товаров, удовлетворяющих заданным критериям; разграничение прав доступа пользователей; отображение статистики продаж; возможность добавления новых товаров и обновления существующих; клиентская часть приложения должна работать на любой платформе и операционной системе без установки дополнительных библиотек и их настроек.

Интерфейс разработанного приложения с облачным хранилищем данных показан на рисунке 1.

Для добавления нового товара необходимо нажать на кнопку «Добавить». Если оставить поля с критериями товаров пустыми, то в карточке товаров информация отображаться не будет.

При добавлении нового товара его изображение сохраняется на облачное хранилище Google Drive (рисунок 2).

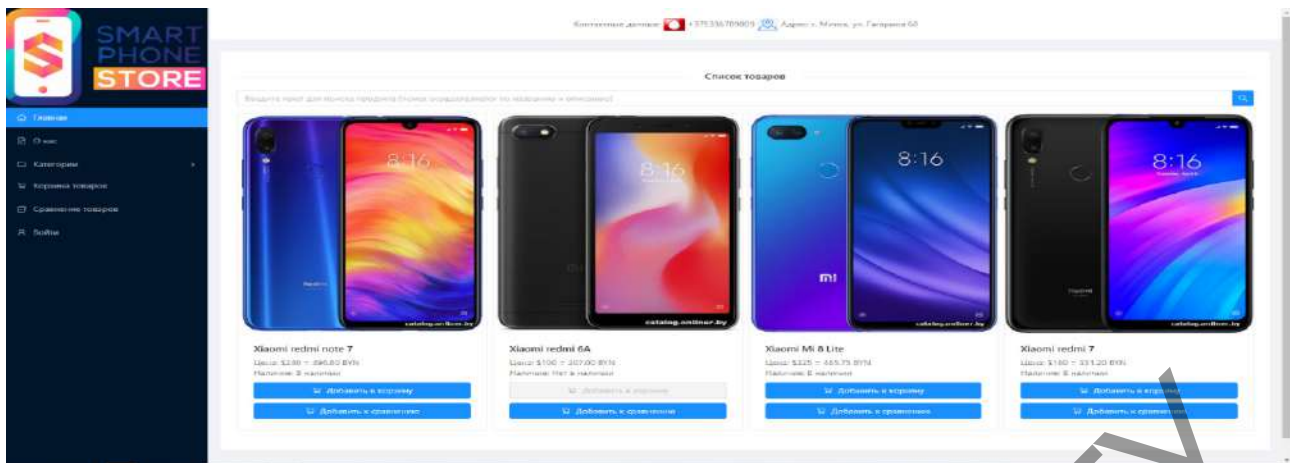


Рисунок 1 — Главная страница виртуальной площадки

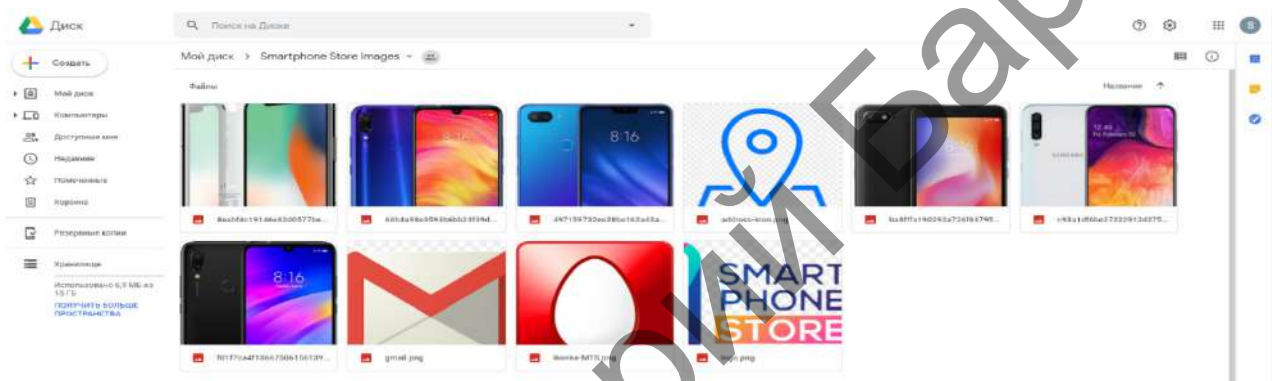


Рисунок 2 — Результат добавления изображения в Google Drive API

**Заключение.** В результате анализа предметной области, проведения логического и физического моделирования, выбора языка программирования и среды разработки, а также этапов реализации и тестирования было разработано универсальное, удобное приложение, выполняющее функции виртуальной площадки. Разработанная система хорошо отражает предметную область, хранит информацию в реляционной базе данных, обладает простым и интуитивно понятным интерфейсом и позволяет быстро решать поставленные задачи. Программный продукт реализован таким образом, что может без ошибок работать в любых современных операционных системах без установки и развертывания приложения на клиентских устройствах. Разработанное приложение является простым в использовании и не требует дополнительного образования в сфере информационных технологий.

Программный продукт предназначен для предоставления клиентам удобных возможностей просмотра, поиска и сравнения товаров, а также автоматизации учета заказов. При использовании разработанного веб-приложения процессы учета заказов и бизнес-аналитики предприятия значительно упрощаются и становятся управляемыми, предсказуемыми и контролируемыми.

#### Список цитируемых источников

1. Рагулин, П. Г. Информационные технологии : электрон. учеб. / П. Г. Рагулин. — Владивосток : ТИДОТ ДВГУ, 2012. — 208 с.
2. Тейер, Т. Надежность программного обеспечения / Т. Тейер, М. Липов, Э. Нельсон. — Минск : Мир, 2011. — 323 с.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СБОРА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ РАБОТНИКОВ ТОРГОВЛИ

**Введение.** На отечественном рынке сегодня представлено много программных разработок, предназначенных для автоматизации учета, сбора, обработки информации, а также управления ей как в комплексе, так и по отдельным направлениям (например, для учета складских операций применяется одна программа, для кассовых — другая и т. д.). Однако очевидно, что комплексная автоматизация имеет неоспоримые преимущества [1]. Данная исследовательская работа посвящена разработке автоматизированной системы для сбора персональных данных работников торговли на примере отдела развития торгового маркетинга и дистрибуции ИТУП «Бри-тиш-Американ Тобакко Трейдинг Компани».

**Основная часть.** В новых условиях рынка коммуникация с потребителем может строиться путем проведения маркетинговых исследований с потребителем (прямой контакт), рассылки информационных сообщений или через работника торговли, предварительно оповестив его о свойствах и характеристиках нового продукта. За время проведения исследований было собрано 500 тысяч уникальных контактов совершеннолетних потребителей и согласий на обработку персональных данных. Однако что касается повышения осведомленности через работника торговли, то в этом направлении необходимо менять уже существующий бизнес-процесс, используя информационные технологии.

Для упрощения данного процесса и повышения эффективности инструмента была разработана и внедрена автоматизированная система для сбора персональных данных работников торговли, обладающая следующими свойствами:

- 1) содержит справочную информацию по: торговым представителям и их территориям, операторам мобильной связи;
- 2) для всех справочников доступны функции добавления, редактирования, удаления, поиска и сортировки;
- 3) организована область хранения данных для вопросов, которые задаются при проведении маркетинговых исследований;
- 4) организована область хранения собранных персональных данных работников торговли;
- 5) организована область хранения графических копий анкет;
- 6) реализована возможность ввода персональных данных работников торговли, а также возможность давать ответы на вопросы и делать графическую подпись, подтверждающую согласие на обработку и хранение персональных данных;
- 7) реализован процесс формирования отчета по собранной базе;
- 8) реализован процесс формирования файла для рассылки информационных сообщений;
- 9) создан дружелюбный интерфейс, приятный в использовании.

Безусловно, на мировом рынке существуют аналоги разработанной системы, которые в полной мере могут удовлетворять потребности бизнеса. Но каждый из них имеет свои недостатки. Рассмотрим некоторые существующие системы.

DigSee SURE — это профессиональный инструмент интервьюера, в большинстве случаев он используется социологическими и маркетинговыми компаниями, а также журналистами для проведения интервью. Из преимуществ системы можно выделить: простота использования, автономный режим работы, GPS метки для каждой анкеты, аудио-запись проведенного исследования, демонстрация медиафайлов, гибкая система анализа и отчетности [2].

DigSee SURE отвечает всем потребностям бизнеса и даже больше, чем это необходимо. Но данная система платная. Стоимость одной лицензии составляет 189 дол. США в год. Учитывая, что использовать систему будет 80 человек, затраты бизнеса на покупку лицензии будут неэффективными — ручной труд останется экономически выгоднее для бизнеса.

Также следует рассмотреть систему SurveyStudio. По функциональности она является аналогом DigSee SURE, но все данные хранятся на серверах компании SurveyStudio, что с точки зрения защиты информации и возможных рисков является неприемлемым для бизнеса. Данный сервис частично бесплатный. Услуги по выгрузке информации и созданию вопросов являются платными [3]. Учитывая, что планируемая цифра по контактам в год составляет 15 000, за выгрузку такого отчета придется заплатить 4 000 дол. США. Даная сумма вполне приемлема для бизнеса, но, учитывая информационную безопасность и риски, такое решение не может быть рассмотрено для использования в рамках бизнес-процессов.

Для реализации нашей системы были использованы система управления базами данных MS SQL Server, Android Studio и языки программирования Java и PHP.

Перед началом работы с приложением торговый представитель должен убедиться в том, что планшет подключен к серверу. Для этого необходимо загрузить приложение MobiControl и убедиться, что состояние агента находится в статусе «Подключен». Только после этого можно приступить к проведению исследования с помощью приложения. В списке приложений, установленных на устройстве, необходимо запустить приложение Cashiers Signatures. После запуска приложения дата анкеты проставляется автоматически. Код операторов, название операторов, текст дисклеймера, вопрос и варианты ответов автоматически загружаются с сервера. Для того чтобы заполнить анкету, необходимо последовательно ввести всю информацию в соответствующие поля. Пример заполненной анкеты представлен на рисунке 1.

После заполнения всех данных произойдет сохранение копии анкеты и отправка информации в базу данных. Если при вводе информации допущена ошибка, пользователь может очистить либо все поля, либо только поле подписи, используя соответствующие кнопки. Копии анкет сохраняются в папку Documents → Cashiers Signatures. Один раз в сутки все копии анкет, содержащиеся в папке, отправляются в архив на сервер и удаляются с устройства.

Для администрирования системы было создано веб-приложение Vat, которое обеспечивает выгрузку данных из базы для дальнейшей работы с ними. Данное приложение размещено на внутреннем сервере организации и доступно для работы только через внутреннюю локальную сеть. Для входа в систему администратор должен пройти авторизацию, после чего ему предлагается выбрать «Отчеты» или «Админ. справочники». При выборе «Админ. справочники» появляются дополнительные кнопки: «Перемещение планшетов» (обеспечивает привязку территорий к торговым представителям); «Номера телефонов» (доступ к таблице с собранными персональными данными); «Номера операторов» (доступ к таблице с информацией об операторах мобильной связи); «Активности» (доступ к таблице с вопросами и вариантами ответов) (рисунок 2). Все таблицы представлены в одиночном образе и работают аналогично друг другу.

Скриншот экрана приложения «Cashiers Signatures» с заголовком «Анкета участия работника торговли в маркетинговом исследовании». В форме указаны следующие данные: Дата: 23.01.2019; Фамилия: Карпович; Имя: Герман; Номер телефона: +375 29 1475850; оператор: Velcom. Ниже формы текст согласия: «ПРИНИМАЯ УЧАСТИЕ В ЭТОМ МАРКЕТИНГОВОМ ИССЛЕДОВАНИИ, ВЫ подтверждаете, что являетесь совершеннолетним гражданином Республики Беларусь, осуществляющей розничную торговлю табачными изделиями, и даёте свое согласие на сбор, обработку, использование, передачу предоставленных Вами персональных данных третьим лицам для целей проведения опросов о потребительских свойствах табачных изделий, выражаете свое согласие на получение рассылки, содержащих опросы о потребительских свойствах табачных изделий. Вы можете отказаться от участия в опросах, отправив слово «стоп» на номер, указанный в рассылке.» Вопрос: «Табачные изделия какой ценовой категории чаще всего выбирают покупатели?» с вариантами: «до 1.80 BYN», «от 1.80 BYN до 2.55 BYN» (выбрано), «от 2.55 BYN». Внизу — поле для подписи с рукописным текстом и кнопки «СОХРАНИТЬ», «ОЧИСТИТЬ ПОЛЕ ПОДПИСИ», «ОЧИСТИТЬ ВСЕ».

Рисунок 1 — Пример заполненной анкеты



Рисунок 2 — Экран «Админ. справочники»

При выборе «Отчеты» открываются собранные персональные данные работников торговли. Для дальнейшего анализа отчета и отправки информационных сообщений по базе предусмотрена выгрузка документа в формат Excel.

**Заключение.** Разработанная система позволяет повысить производительность труда работников, уменьшить временные затраты, эффективно распределять рабочее время. Внедрение данной системы не требует больших материальных затрат и глубоких познаний пользователя.

#### Список цитируемых источников

1. Гладкий, А. А. 1С:Бухгалтерия 8.2. Учет движения товарно-материальных ценностей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.litmir.me/br/?b=536488&p=1/>. — Дата доступа: 12.02.2019.
2. DigSee SURE [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mobilentry.com/ru/node/50/>. — Дата доступа: 12.10.2019.
3. Survey-Studio Suite [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://old.survey-studio.com/home/tour/>. — Дата доступа: 12.10.2019.

УДК 331.1

В. В. Климук

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

### ИННОВАТИЗАЦИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО СЕКТОРА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

**Введение.** Растущие запросы покупателей, динамические процессы глобализации в отраслевом формате, поиск эффективных механизмов развития и роста конкурентоспособности обуславливают необходимость построения новой, усовершенствованной модели социально-экономической системы. В Республике Беларусь и Российской Федерации в качестве такой модели с 2017 года определена цифровая экономика, основанная на использовании цифровых технологий в отраслях народно-хозяйственного комплекса.

**Основная часть.** Цифровая экономика — это система экономических, социальных отношений, основанных на применении информационных систем и технологий во всех сферах практической деятельности организаций.

Формирование экономического потенциала страны в векторе развития цифровой экономики основано на технологиях: искусственного интеллекта и машинного обучения, больших данных и бизнес-аналитики, облачных вычислений, интернета вещей.

Для обеспечения эффективной реализации намеченного вектора цифровой экономики в стране должна быть создана соответствующая институциональная основа:

- Декрет Президента Республики Беларусь № 8 от 21.12.2017 «О развитии цифровой экономики»;
- постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.03.2016 № 235 «Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества на 2016—2020 годы»;
- Стратегия развития информатизации в Республике Беларусь на 2016—2022 годы, одобренная Президиумом Совета Министров Республики Беларусь (протокол от 03.11.2015 № 26).

В соответствии с рекомендациями международных организаций для измерения цифровой экономики необходимо использовать собирательные группировки по видам экономической деятельности «Сектор информационно-коммуникационных технологий», «Сектор контента и средств массовой информации» и «Отрасль информационных технологий».

В Республике Беларусь определены национальные статистические показатели, отражающие динамику развития цифровой экономики в Республике Беларусь. Система из 43 показателей сгруппирована в 5 блоков: 1) информационно-коммуникационная инфраструктура (4 показателя); 2) использование информационно-коммуникационных технологий населением и организациями (11 показателей); 3) инфраструктура информатизации (1 показатель); 4) цифровая трансформация (17 показателей); 5) национальная индустрия ИКТ (11 показателей) [1].

Ежегодная динамика роста представленных показателей отражает постепенный переход Республики Беларусь к модели цифровой экономики (рисунки 1, 2).

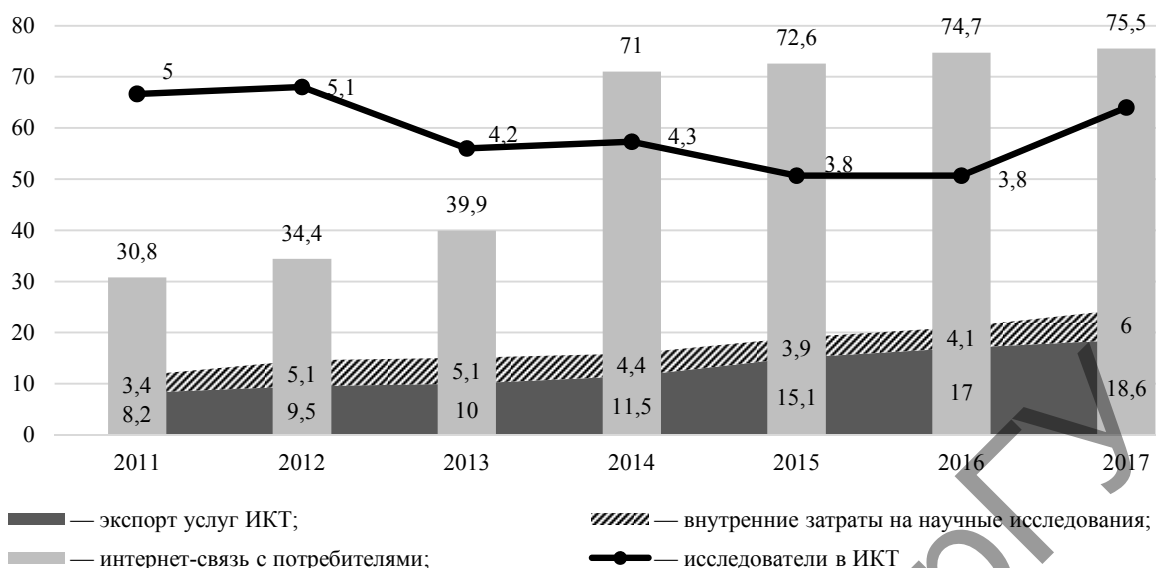


Рисунок 1 — Динамика отдельных удельных показателей развития цифровой экономики в Республике Беларусь за 2011—2017 годы, %

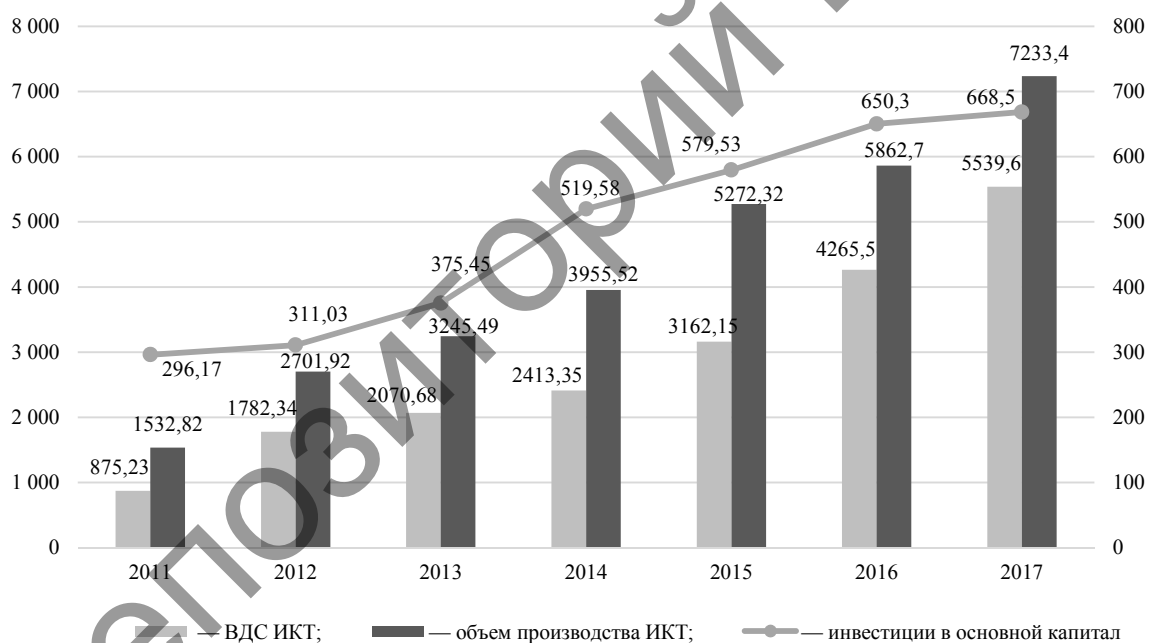


Рисунок 2 — Динамика отдельных стоимостных показателей развития цифровой экономики в Республике Беларусь за 2011—2017 годы, тыс. р.

**Заклучение.** Проведенное исследование позволило получить следующие результаты: 1) многокатегориальный аппарат к определению понятия «цифровая экономика»; 2) компоненты цифровой экономики; 3) состояние и тренды развития цифровой экономики; 4) нормативно-правовое регулирование цифровой экономики.

#### Список цитируемых источников

1. О национальных статистических показателях развития цифровой экономики в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>. — Дата доступа: 12.10.2019.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ ПОЛУМУФТЫ

**Введение.** Проведение статических расчетов несущих конструкций деталей позволяет исследовать их прочность и устойчивость при действии эксплуатационных нагрузок. Прочность конструкций обеспечивается подбором характеристик их элементов, исключающим возможность появления пластических деформаций и повреждений. Анализ прочностных характеристик конструкций может быть произведен с помощью вычислительных программных комплексов (далее — ПК). В частности, для этого могут быть использованы ПК инженерного анализа SolidWorks [1] и ANSYS [2].

Моделирование конструкции с помощью систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа выгодно как с технической, так и с экономической стороны, так как позволяет существенно сократить период проектирования изделий, снизить финансовые затраты на их производство, а также выполнить быстрый запуск продукции в эксплуатацию [3]. Используемый параметрический подход при внесении изменений в конструкцию изделия позволяет автоматически корректировать размеры деталей.

**Основная часть.** В данной работе приводятся результаты статических расчетов ПК SolidWorks 2016 и ANSYS 2014 на основе метода конечных элементов. В качестве объекта исследования рассматривается левая полумуфта упругой втулочно-пальцевой муфты. Моделирование и расчет полумуфты проводились для материала нержавеющей сталь 316, в качестве нагрузок модели был задан крутящий момент в 500 Н / м. В результате расчета напряженно-деформированного состояния моделей полумуфты были получены данные, представленные в таблице 1. Проведенный статистический анализ муфты с промежуточной деталью (левая полумуфта) под воздействием крутящего момента (рисунки 1, 2), позволяет сделать вывод о пригодности детали в использовании при приложенных нагрузках. Выявлены слабые места, более подверженные деформации при нагрузках, которые требуют дальнейших оптимизационных решений для увеличения прочности и, как следствие, продления срока службы детали.

В результате анализа данных (рисунок 3) максимальное напряжение в модели полумуфты, рассчитанное с применением SolidWorks 2016 больше на 9 %, чем полученное при помощи ANSYS 2014.

Т а б л и ц а 1 — Результаты расчетов в SolidWorks и ANSYS

Параметр	Модель в ПК SolidWorks 2016					Модель в ПК ANSYS 2014				
	Сетка на основе кривизны					Автоматическая сетка с приоритетом гексагональных элементов				
Конечные элементы для создания сетки	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Количество конечных элементов	4 751	8 409	11 919	15 553	32 139	4 177	8 164	12 141	15 900	31 612
Время программного расчёта, с	1	1	2	3	5	2	3	5	7	9
Максимальное напряжение, МПа	25,38	24,77	25,61	26,54	26,36	23,57	23,02	22,77	23,89	23,81

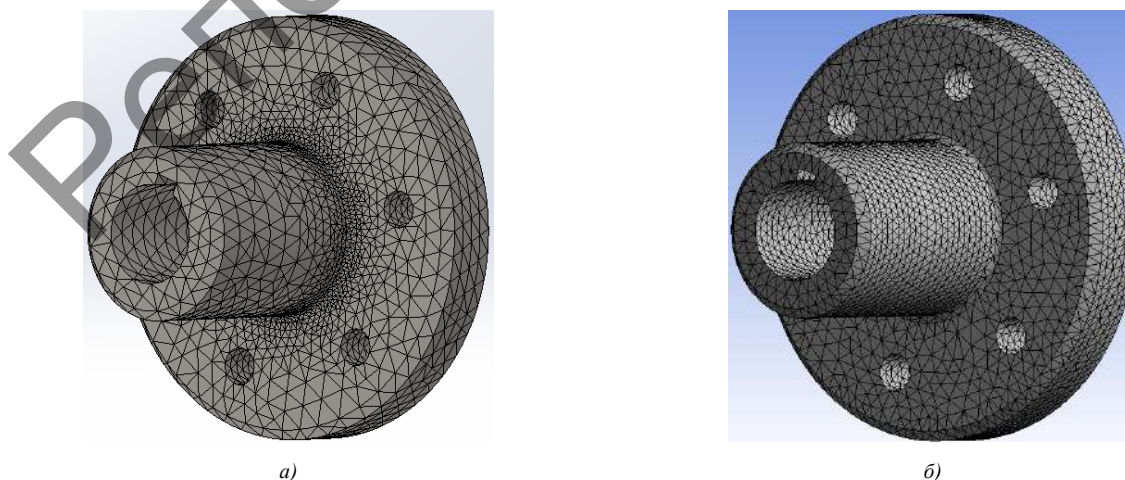


Рисунок 1 — Модель полумуфты, построенная в ПК SolidWorks 2016 (а); ANSYS 2014 (б)

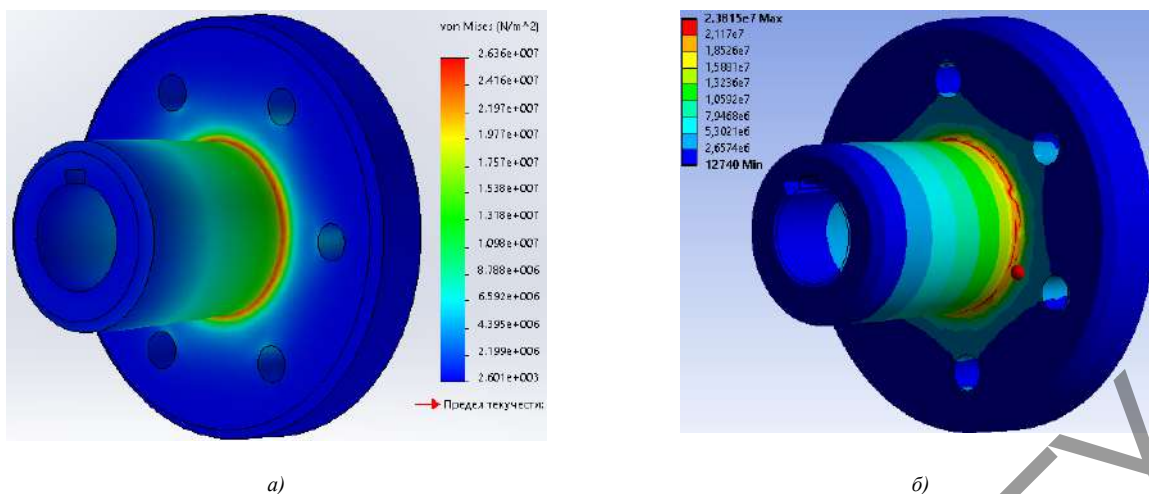


Рисунок 2 — Общее распределение напряжений в модели полумуфты, полученной в ПК SolidWorks 2016 (а); б) ANSYS 2014 (б)

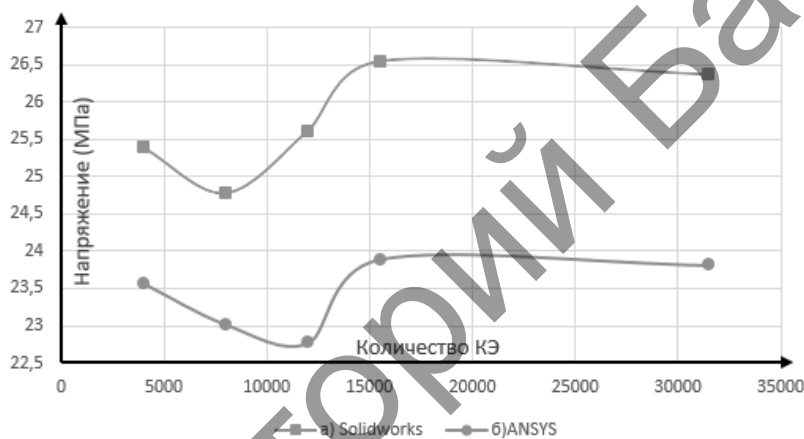


Рисунок 3 — График зависимости напряжений от количества конечных элементов

**Заключение.** Сравнение результатов расчетного анализа полумуфты показывает, что ПК общего назначения SolidWorks дает умеренную погрешность по сравнению со специализированным ПК ANSYS. Установлено, что при увеличении количества элементов разбиения сетки ANSYS демонстрирует более устойчивый результат расчетов, чем SolidWorks.

Таким образом, использование систем инженерного анализа на производстве позволяет организовать коллективную работу различных специалистов над проектом в единой среде и выявить потенциальные ошибки до того, как они проявятся при изготовлении [3]. Неоднократное использование ранее созданной модели позволяет провести испытания для нескольких вариантов условий функционирования будущего изделия и установить наиболее оптимальные параметры дальнейшей его эксплуатации.

#### Список цитируемых источников

1. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. — М. : ДМКПресс, 2010. — 464 с. : ил.
2. Инженерный анализ в ANSYS Workbench : учеб. пособие / В. А. Бруяк [и др.]. — Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. — 271 с. : ил.
3. Нерода, М. В. Компьютерное моделирование гидравлического удара в элементах трубопровода / М. В. Нерода, О. И. Наранович, А. В. Шах // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. «Машиностроение». — 2015. — № 4. — С. 22—25.

## УДОБСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ФАКТОР ВЫБОРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

**Введение.** Рынок систем электронного документооборота (далее — СЭД) в Республике Беларусь представлен системами, функциональные характеристики которых являются практически однотипными. И если ранее функциональность являлась тем основным критерием, на основе которого происходил выбор системы в организациях, то современные пользователи при выборе системы стали обращать внимание на качество и эффективность работы с системой. Важно не столько наличие той или иной функциональной возможности, а как она реализуется в СЭД. На первый план выходит именно удобство использования системы (простота управления функциями; комфортность эксплуатации; доступный и интуитивно понятный интерфейс; производительность работы пользователей; наличие демоверсии; наглядность, полнота и объем эксплуатационной документации; наличие онлайн-консультаций; наличие мультимедийных учебных курсов; длительность подготовки пользователя к полноценной эксплуатации и т. п.).

Еще в октябре 2013 года на одном из сайтов сообщества ИТ-специалистов появилась публикация [1], посвященная проблеме выбора СЭД. Автор статьи достаточно подробно исследовал проблему взаимоотношений разработчиков и конечных пользователей систем по вопросу предоставления полной информации о программном продукте.

Основываясь на данных, полученных ранее [2; 3], необходимо провести анализ того, какую информацию и каким образом пользователь может получить о СЭД при выборе системы в организации (удобна ли система в использовании).

**Основная часть.** Для решения поставленной задачи необходимо определить направления поиска информации о СЭД: сайты компаний-разработчиков; непосредственное общение с разработчиком; материалы конференций и семинаров; мнение тех, кто уже внедрил систему. Остановимся на первом направлении и проанализируем, какую информацию будущий пользователь системы может получить, просматривая сайт.

В целях повышения эффективности поиска требуемую информацию разбили на следующие группы: функциональность системы (перечень возможностей, подробное описание возможностей, наличие экранных форм (скриншотов)); предоставление демоверсии СЭД; возможность просмотреть/скачать презентацию системы, видеоролик и иные рекламно-информационные материалы; указание программных/технических требований к системе; примеры использования системы; формы связи (возможность онлайн-консультаций, связь по электронной почте или телефону и т. д.).

Первоначально были рассмотрены пять сайтов наиболее популярных разработчиков СЭД (часто упоминаются на различного рода конференциях и выставках, СЭД разработчиков входят в перечень СЭД, интегрированных с Системой межведомственного документооборота государственных органов Республики Беларусь).

Перечень функциональных возможностей системы с той или иной степенью детализации представлен на всех сайтах разработчиков. Для ее получения стоит попасть в разделы «Продукты», «Услуги и решения», «Услуги и продукты» и т. п. Отметим, что только информация о пакете прикладных программ (ППП) «Канцлер» представлена на отдельном специальном сайте, а информация о СЭД SMBusiness располагается в отдельном разделе меню сайта.

Количество экранных форм, демонстрирующих функциональность системы, ограничено. На одном из сайтов они отсутствуют.

Заказать демоверсию возможно только для одной системы — SMBusiness. На сайте присутствует и видеоролик «Обзорная экскурсия по системе» с подробной демонстрацией возможностей. Однако это не обучающее видео. Наличие видеоролика — это простой и удобный способ посмотреть программный продукт в действии. Также указана и цена СЭД, что является немаловажным моментом при выборе системы и указывает на прозрачность ценообразования.

Хорошие рекламно-информационные материалы и презентации есть на сайте ППП «Канцлер». На сайте ООО «Электронное ДЕЛО» можно скачать информационные буклеты.

Все сайты предоставляют информацию о реализованных проектах, на некоторых сайтах располагаются и отзывы клиентов.

Технические требования к СЭД найдены на сайтах ППП «Канцлер» и ООО «Электронное ДЕЛО».

На сайте ППП «Канцлер» реализовано несколько способов обмена информацией: традиционно по телефону, по электронной почте (непосредственно и посредством модального окна, однако ответ будет получен по почте), раздел часто задаваемых вопросов (FAQ). Разработчик системы реализует и партнерскую программу обучения для тех, кто уже выбрал или собирается выбрать систему.

ООО «Электронное ДЕЛО» предлагает своим клиентам обмениваться информацией по телефону, по электронной почте, посредством отправки сообщения на сайте (ответ по почте) и по скайпу. Кроме того, информацию о системе и ее внедрениях можно почерпнуть из опубликованных на сайте материалов ежегодной конференции «Электронный документооборот — современные решения и технологии», проводимых вебинаров.

Большинство разработчиков представлены в социальных сетях (социальная сеть как современная форма деятельности организации).

Наименьшая информация была получена о СЭД «Рекорд». Сведения о СЭД «Галактика ЕСМ на платформе DIRECTUM v.5.0» на сайте УП «Топ Софт» найти не удалось.

Тематических презентаций, посвященных выполнению конкретного действия в системе, найдено не было. Отсутствуют и онлайн-чаты для мгновенного обмена сообщениями.

**Заключение.** Анализ предоставления информации о СЭД на сайтах компаний-разработчиков показал: наиболее распространенной формой является простое описание функциональных возможностей СЭД, источник получения информации в форме демоверсии не является распространенным; ограничен и видеоконтент (обучающих роликов на сайтах нет); вставленные в описание скриншоты не дают полного представления о системе. Все это не дает полного представления об удобстве использования системы, снижает эффективность поиска соответствующей системы, затрудняет выбор СЭД для организации.

#### Список цитируемых источников

1. Как я выбирал СЭД — о чем молчат вендоры [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/198536/>. — Дата доступа: 15.10.2019.
2. *Попова, Е. Э.* Качество систем электронного документооборота: характеристика удобства использования / Е. Э. Попова // Техника и технологии: инновации и качество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., 20 дек. 2018 г., г. Барановичи. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 184—188.
3. *Попова, Е. Э.* Моделирование качества автоматизированных систем управления документами / Е. Э. Попова // Техника и технологии: инновации и качество : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., 24—25 окт. 2013 г., г. Барановичи. — Барановичи : БарГУ, 2013. — С. 20—21.

УДК 004.432

**А. О. Сырокваш<sup>1</sup>, Г. М. Раковцы<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Открытое акционерное общество «Лидский молочно-консервный комбинат», г. Лида  
<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА И УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

**Введение.** Ни один рабочий процесс на предприятии не будет налаженным и продуктивным, если не уделить достаточно внимания организации рабочего времени сотрудников, тем более что такая организация необходима как работодателю, так и самим работникам, которые при грамотной системе учёта своего рабочего времени в целом становятся более собранными и дисциплинированными. Учёт рабочего времени необходим для того, чтобы контролировать явку сотрудников в положенное время и обнаруживать задерживающихся и отсутствующих, проверять присутствие работников на местах на протяжении всего периода рабочего времени, соблюдение времени окончания рабочего дня [1].

Немало внимания в современном мире уделяется вопросу безопасности, будь то защита человеческой жизни, материальных ценностей или секретной информации. К одному из таких видов безопасности можно отнести систему контроля доступа.

**Основная часть.** Системы контроля и управления доступом (далее СКУД) являются важной частью систем безопасности почти любого предприятия. Современные СКУД позволяют контролировать возможность доступа как на предприятие в целом, так и в отдельные его помещения, а также контролировать рабочее время сотрудников.

СКУД обеспечивает:

- интеграцию с другими информационными системами на программно-аппаратном уровне;
- многоуровневую организацию доступа с возможностью корректировки базы данных администратором информационных систем в соответствии с решаемыми задачами;

– возможность графического отображения состояния системы (наличие тревог, нестандартных ситуаций, оперативной информации с выводом поэтажных планов, мест установки технических средств системы контроля доступа);

– создание архива с объемом памяти, обеспечивающим регистрацию всех фактов посещения предприятия сотрудниками и посетителями с указанием даты и времени посещения, их фотографий и иных данных с возможностью хранения и использования в течение одного года;

– возможность ежедневного архивирования базы данных разовых посетителей в конце рабочего дня, ведение протоколов, электронных журналов;

– возможность перехода на ручное управление отдельными элементами СКУД с защитой паролей и подтверждением дежурным службы безопасности с автоматическим протоколированием данного факта;

– возможность развития за счет расширения программно-аппаратных частей без нарушения работоспособности смонтированного оборудования, а также возможность модернизации в случае изменения или расширения функций (задач), выполняемых системой [2].

Современный рынок готов предложить крупным предприятиям множество решений по контролю доступа и учета рабочего времени. Наиболее популярные из них PERCo и Эпикур.

PERCo предлагает готовые решения для промышленных предприятий, которые позволяют повысить уровень безопасности и обеспечить рост производительности за счет сокращения потерь рабочего времени и автоматизации табельного учета. Уникальность решений PERCo заключается в использовании электроники, программного обеспечения, турникетов и замков от одного производителя, что обеспечивает полную совместимость устройств и надежность работы.

К плюсам данной проходной можно отнести: высокую скорость прохода сотрудников и посетителей; предотвращение прохода посторонних; сотрудники получают бесконтактные карты доступа, оформленные в виде пропусков; на входе устанавливается комплекс преграждающих устройств — турникеты или калитки; большой модельный ряд турникетов и калиток PERCo удовлетворит требования самых разных предприятий.

Минусами данного комплекса является его высокая стоимость, сложность установки и настройки, приобретение отдельных модулей по отдельной цене. Обслуживание данной системы на территории нашей страны затруднено по причине малого количества фирм, реализующих данную продукцию в стране. Так как основная масса данных организаций находится в городе Минске, то обслуживание комплекса на территории региональных городов других областей может быть не совсем оперативным, а решение вопроса по телефонной связи не всегда может оказаться продуктивным и потребовать присутствие специалиста.

Система контроля доступа и учета рабочего времени «Эпикур». Ее основные функции — это контроль доступа на территорию охраняемого объекта, учет рабочего времени сотрудников предприятия. Одно из ее преимуществ заключается в отсутствии необходимости приобретения дополнительных модулей, поскольку весь функционал доступен в стандартной комплектации.

Основные плюсы СКУД «Эпикур»: широкий функционал среди других подобных программных обеспечений; возможность устанавливать в системы любой сложности конфигурации; возможность организации любого количества удаленных рабочих мест.

К отрицательным моментам можно отнести сложность развертывания и настройку комплекса, также «Эпикур» требует значительных ресурсов компьютера для работы.

В связи с выявленными недостатками рассмотренных систем было принято решение разработать программное обеспечение «Автоматизированная система контроля доступа и учета рабочего времени на предприятии». Разработанное программное обеспечение соответствует следующим требованиям: язык интерфейса — русский; интерфейс для добавления данных; интерфейс для редактирования и удаления данных; интерфейс для поиска данных; интерфейс для изменения параметров подключения к базе данных; интерфейс для сортировки данных; учет рабочего времени; доступ на территорию предприятия с помощью карты-пропуска или в ручном режиме; разграничение прав доступа пользователей; контроль повторного прохода по одному и тому же пропуску; контроль соединения с периферийным оборудованием.

Электронная проходная сотрудников и посетителей обеспечивает: санкционированный доступ (вход и выход) сотрудников на территорию предприятия (основанием санкционированного доступа является карта-пропуск); вывод фотоизображения сотрудников, имеющих постоянные и временные пропуска на мониторе оператора поста охраны на КПП; возможность блокирования выхода через проходные в случае поступления сигнала тревоги; компьютерный учет входа и выхода посетителей и сотрудников с ведением протокола в компьютере и выводом протокола на принтер.

Для разработки проекта была выбрана СУБД MySQL ввиду ее хорошей скорости работы, надежности, гибкости. Средой разработки программного продукта была выбрана Microsoft Visual Studio Community 2017 на языке программирования C#. Для реализации передачи считывания карт доступа использовалась аппаратно-программная платформа на базе Arduino UNO и бесконтактная плата-считыватель RFID-RC522.

На рисунке 1 представлен интерфейс разработанного приложения.

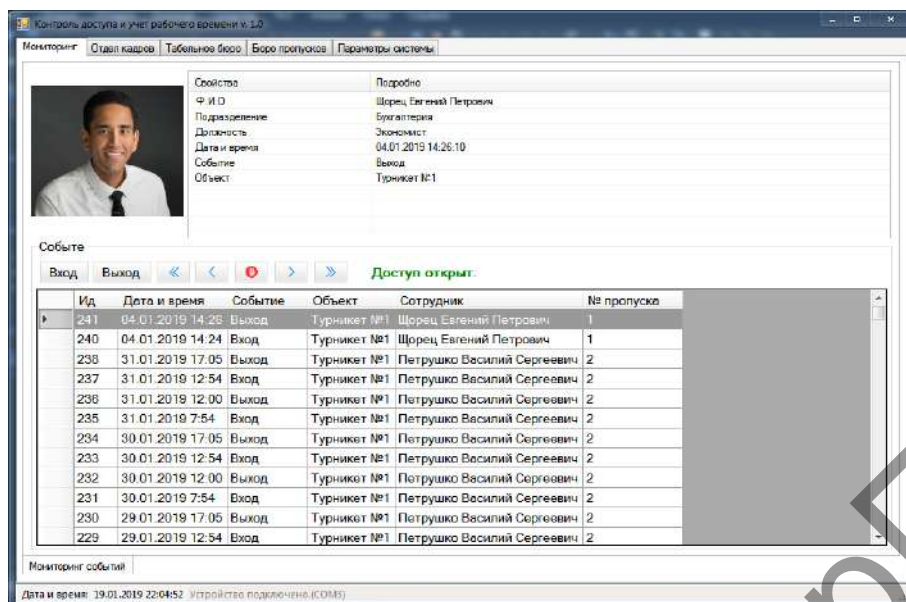


Рисунок 1 — Вид главного окна приложения

**Заключение.** В результате проделанной работы была спроектирована и реализована автоматизированная система контроля доступа и учета рабочего времени сотрудников предприятия. Преимущество данной системы: снижение вероятности проникновения посторонних лиц на территорию предприятия, повышение системы безопасности сотрудников предприятия, оперативность получения информации о времени прибытия или убытия с места работы сотрудников предприятия, автоматическое формирование табеля рабочего времени по сотрудникам предприятия.

#### Список цитируемых источников

1. Учет рабочего времени — контроль за сотрудниками [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://naim.guru/rabochee-vremya/uchet.html/>. — Дата доступа: 03.05.2019.
2. Автоматизированное управление электронной проходной [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://knowledge.allbest.ru/radio/2c0b65625b2ad68a5c43a88421306d36\\_0.html/](https://knowledge.allbest.ru/radio/2c0b65625b2ad68a5c43a88421306d36_0.html/). — Дата доступа: 04.05.2019.

УДК 004.056.5+338.23:004.056

И. А. Толстик

*Государственное научное учреждение «Институт экономики Национальной академии наук Беларуси», Минск*

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

**Введение.** Актуальность темы исследования не вызывает сомнений в свете процессов, происходящих в международных отношениях, включая экономические, а также во внутренней жизни Республики Беларусь как государства — участника интеграционных объединений на постсоветском пространстве. Мировое развитие на современном этапе характеризуется высоким центром вопросов защиты информации в качестве приоритетной цивилизационной парадигмы. Целям создания автоматизированных систем защиты информации следует дать оценку с позиций обеспечения перехода на новый этап промышленной революции путем структурного взаимодействия на уровне мировых и национальных факторов по всему периметру хозяйственных связей. Вырабатываются механизмы единого порядка прогрессивных технологических трансформаций различного толка, прежде всего цифровой, относительно экономик, развитых и динамично растущих. О масштабе самой тенденции позволяет судить многочисленность форумов, международных и национальных, в различных форматах, на которых декларируются и принимаются стратегически важные решения о путях развития и трансфера информационных технологий [1]. Необходимость систематизировать концептуальные основы этих решений обусловлена

требованиями согласованности действий партнеров по экономической интеграции, которые на внешних рынках интеграционных объединений все чаще выступают консолидированно. Таким образом, научная новизна заявленной темы приобретает характер организационного обеспечения.

Цели и основные задачи комплексного изучения предмета исследования обусловлены вышеназванными обстоятельствами. Таким образом, будет дана оценка обеспечению достижения стабильного экономического роста в Беларуси в условиях цифровизации, когда формируется безопасность разработки и освоения новых объектов информатизации, к числу которых относятся и автоматизированные системы различного уровня, включая по защите информации, что, в свою очередь, приведет к повышению жизненного уровня населения, еще большему насыщению внутреннего рынка продукцией отечественного производства.

**Основная часть.** Единое экономическое пространство — необходимое условие реальной интеграции государств — участников объединений на постсоветской территории (ЕАЭС, СНГ, Союзное государство). В таком межгосударственном взаимодействии республиканские органы управления, субъекты хозяйствования руководствуются соображениями по защите информации, которые основаны на актуальных доктринальных документах. Наиболее емко особо значимые социально-экономические тренды среди них отображает Концепция информационной безопасности Республики Беларусь, которая принята Советом Безопасности Республики Беларусь 18 марта 2019 года [2]. С позиций разработки автоматизированных систем особенно важны положения концепции о геополитических интересах государства, а также относительно защиты информации и обеспечения информационной безопасности в целом: для Беларуси приоритетны соглашения о сотрудничестве в области обеспечения информационной безопасности государств — участников Содружества Независимых Государств, государств — членов Организации Договора о коллективной безопасности, двусторонних соглашений и иных обязательств. Республика Беларусь в области международной информационной безопасности учитывает основные положения актов международных организаций, в том числе резолюций Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций, рекомендаций Организации по безопасности и сотрудничеству в Европе.

Среди основных понятий и их определений в этой связи следует назвать следующие:

- защита информации — комплекс правовых, организационных и технических мер, направленных на обеспечение конфиденциальности, целостности, подлинности, доступности и сохранности информации;
- информационная безопасность — состояние защищенности сбалансированных интересов личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз в информационной сфере;
- информационный суверенитет Республики Беларусь — неотъемлемое и исключительное верховенство права государства самостоятельно определять правила владения, пользования и распоряжения национальными информационными ресурсами, осуществлять независимую внешнюю и внутреннюю государственную информационную политику, формировать национальную информационную инфраструктуру, обеспечивать информационную безопасность;
- информационная инфраструктура — совокупность технических средств, систем и технологий создания, преобразования, передачи, использования и хранения информации;
- международная информационная безопасность как состояние международных отношений, исключающее нарушение мирной стабильности и создание угрозы безопасности государств и мирового сообщества в информационном пространстве.

в Концепции подчеркнута, что одним из главных направлений развития Республики Беларусь, важнейшей составляющей формирования информационного общества является цифровая трансформация экономики.

В контексте информационной безопасности, как известно, посредством технического применения автоматизированных систем (далее — АС) защиты информации решают ряд задач. Основными из них являются обеспечение сохранности конфиденциальных данных, препятствование доступу к такой информации, в том числе с помощью ее маскировки. Соответственно, предотвращается утечка данных, а также осуществляется переформатирование информации, перенаправление информационных потоков и др. Посредством АС предпринимаются технические меры по защите информации, по сути, обеспечивается анализ в реальном времени событий, иначе — происходит управление событиями и информационной безопасностью. Таким образом оказываются услуги по обеспечению клиентам состояния защищенности их информации и поддерживающей инфраструктуры от случайных или преднамеренных воздействий естественного или искусственного характера (информационных угроз, угроз информационной безопасности), которые могут нанести неприемлемый ущерб субъектам информационных отношений [3].

Согласно отечественному законодательству, разработанному на основании Концепции, АС различного уровня и назначения могут быть отнесены как объекты информатизации к критически важным (далее — КВОИ), и владелец таких обязан обеспечить их безопасное функционирование [4]. Помимо своего основного технического и социально-экономического, а также политического предназначения в целях безопасности КВОИ предусмотрен мониторинг угроз безопасности объекта и принятие мер реагирования на угрозы его безопасности. Такой методологический принцип закреплен на бумаге при разработке эксплуатационной документации на КВОИ. Следовательно, в аналогичном подходе нуждаются и АС защиты информации, применение которых, кроме всего прочего, также должно основываться на технических нормативных и правовых актах. Законодательством предусмотрен внутренний и внешний контроль КВОИ. Первый из них осуществляется владельцем объекта не реже раза в год, результаты оформляются документально. Внешний контроль находится в компетенции Оперативно-аналитического центра (ОАЦ) при Президенте Республики Беларусь. Преду-

смотрено осуществление таких мероприятий раз в пять лет. Кроме того, возможны исключения, проведение внешнего контроля по результатам внутреннего. Владелец КВОИ получает результаты контроля и обязан при необходимости устранить все недочеты, поставив в известность ОАЦ. Таким образом, использование объекта предусматривает как саморегулирование, так и контролируется централизованно, что свидетельствует о всеобъемлющих мерах по обеспечению информационной безопасности. Автоматизированные системы защиты информации в качестве КВОИ также целесообразно включать в аналогичные отношения. На этот счет предусмотрен определенный порядок отнесения объектов информатизации к КВОИ. Как правило, само решение исходит от руководства государственного органа, а в случае, когда владелец объекта информатизации не имеет такой подчиненности, — руководителя облисполкома, Минского горисполкома, отраслевого органа государственного управления.

Согласно концепции, повышение эффективности обеспечения безопасности КВОИ необходимо осуществлять с помощью интегрирования в государственную систему мониторинга национального сегмента сети Интернет отраслевых систем мониторинга и контроля киберугроз.

Тот факт, что в наше время большая часть информации хранится в цифровом виде, на компьютерных носителях, усложняет проблему защиты информации. Основной угрозой являются компьютерные вирусы, для борьбы с которыми принимаются определенные меры [3]. Для автоматизированных систем защиты информации такое обстоятельство означает необходимость разработки не только мер технической безопасности, но и ограничения физического доступа к используемой аппаратуре. Таким образом, комплекс услуг, которые оказываются при использовании АС защиты информации, должен сводиться к минимизации опасности и возможного ущерба, который может быть нанесен злоумышленниками, действиями самого пользователя или сбоям аппаратуры, следствием чего может оказаться внедрение в систему вредоносных программ.

**Заключение.** Концептуальные основы разработки АС защиты информации позволяют мировоззренчески обосновать необходимость реализации доктринальных документов из отечественного законодательства и обусловленность применяемых мер по обеспечению информационной безопасности, в чем заинтересовано государство и субъекты хозяйствования, а также физические лица как потребители информационных услуг.

#### Список цитируемых источников

1. Лукашенко, А. Г. Диалог во имя мира и безопасности : выступление Президента Александра Лукашенко на пленарной сессии «В поисках повестки мира и сотрудничества для Европы» международной конференции «Европейская безопасность : отойти от края пропасти» / А. Г. Лукашенко // Сб. Беларусь сегодня. — 2019. — 9 окт. — С. 2—5.
2. Концепция информационной безопасности Республики Беларусь // Сб. Беларусь сегодня : спецвып. — 2019. — 21 марта. — С. 1—5.
3. Защита информации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://anyap97.blogspot.com/2013/11/blog-post.html> . — Дата доступа: 15.10.2019.
4. О некоторых мерах по обеспечению безопасности критически важных объектов информатизации [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 25 окт. 2011 г. № 486 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. — 2011. — № 121. — 1/13026.

УДК 004.934

Е. Г. Шапович<sup>1</sup>, Я. Орсаг<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи  
<sup>2</sup> Средняя промышленная школа машиностроения, Всетин, Чешская Республика

## СОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КЛАССИФИКАЦИИ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

**Введение.** Компьютерное зрение и искусственный интеллект являются одними из самых мощных компьютерных технологий в наше время. Они имеют возможность изменить мир, следовательно, помогают разрабатывать пути решения различных проблем в нашем обществе.

Эта работа ориентирована на изучение и применение обработки изображений, обнаружения и классификации, с использованием как традиционных, так и новых методов. Для применения этих методов были разработаны комплексные рабочие процессы к конкретной проблеме, т. е. к автоматическому распознаванию диатомовых водорослей.

**Основная часть.** Исторически так сложилось, что люди организовывали общины в местах, богатых природными ресурсами, чтобы развивать свою деятельность. Среди них вода была очень значительным ресурсом, так как является крайне необходимой и для сельского хозяйства, и животноводства, и собственного потребления. Следовательно, необходимо контролировать качество водных ресурсов.

Одним из наиболее перспективных методов для этого является изучение некоторых микроскопических организмов, известных как диатомовые водоросли. Эти существа принадлежат к группе одноклеточных водорослей, состоящих из большого числа видов. Конкретные виды, найденные в резерве воды, являются биоинди-

каторами его качества; его адекватность является показателем выполнения определенных действий. Это регламентируется в документе, таком как EU Water Framework Directive, направленном на защиту водной среды, для улучшения и контроля качества рек, озер и морей в Европейском союзе [1].

Этот тип микроорганизмов можно наблюдать только с помощью микроскопов и при особых условиях, необходимо отличать эти микроскопические организмы от остальных артефактов, присутствующих в каждой капле воды.

Очень сложно и утомительно классифицировать большое количество различных видов, когда многие из них похожи друг на друга. Установлено, что существуют в общей сложности двести тысяч видов диатомовых водорослей. Это означает, что традиционные методы классификации представляют собой большие инвестиции с точки зрения оптического оборудования и подготовки специалистов.

Учитывая эти обстоятельства, целесообразно разработать автоматический классификатор для диатомовых водорослей. Это поможет ускорить процесс определения качества воды.

Разрабатывая автоматическую систему, способную классифицировать диатомовые водоросли с микроскопических изображений, необходимо соблюдать следующие шаги [2]:

1. Идентификация. В качестве входного изображения используется снимки с микроскопа, каждый диатомат должен быть идентифицирован и извлечен из исходного изображения. Этот процесс может быть выполнен вручную или автоматически с помощью методов обнаружения объектов.

2. Подготовка базы данных. Для обучения классификатора всегда необходимо иметь хороший набор данных. Чтобы построить такой набор, необходима помощь экспертов, поскольку они способны идентифицировать наиболее значимые виды.

3. Обучение классификатора. В зависимости от выбранного подхода необходимо использовать различные типы параметров, учитывая характер проблемы и ее собственный набор данных.

4. Испытания и эксперименты. После того, как классификатор был разработан, необходимо рассчитать различные меры, которые определяют его чувствительность, а также другие показатели точности, которые обеспечивают достоверность метода.

Как было отмечено выше, для автоматического распознавания необходимо сначала обнаружить объект, а потом его классифицировать.

Для нахождения водорослей было принято решение применить метод, используемый для обнаружения традиционных объектов, где целью является нахождение на изображении контуров отдельных диатомовых водорослей.

В качестве фреймворка глубинного обучения было принято решение использовать библиотеку TensorFlow, так как она обладает простотой запуска оболочки на мобильных устройствах, оптимизирована под GPU и достаточно популярна.

TensorFlow — библиотека от Google, распространяемая по лицензии Apache 2.0. Поддерживает вычисления на CPU, GPU и специально разработанными компанией Google TPU (Tensor processing units). Фронтенд на Python. Одна из самых популярных, хорошо документированных и развитых библиотек [3].

В работе исследуется вид свёрточных сетей, особенно хорошо адаптированный под мобильные устройства. Так как доступные в телефонах и стационарных компьютерах ресурсы продолжают расти, ресурсоёмкость нейронных сетей будет отходить на второй план, и в ближайшем будущем применимость и актуальность свёрточных сетей возрастет, особенно в рамках решаемой задачи.

Свёрточные сети могут состоять из множества видов свёрточных операций [4]. Схема стандартной свёрточной нейронной сети представлена на рисунке 1.

Для разработки нейронной сети использована архитектура MobileNet [5].

В ходе разработки нейронной сети исследовались различные вспомогательные методы, позволяющие улучшить точность результатов нейронных сетей или достичь более быстрой сходимости при обучении. Среди этих методов: ReLU (rectified linear unit); инициализация весов; нормализация входных и выходных данных; батч-нормализация; обрезание градиента; аугментация тренировочных данных; выброс (dropout); регуляризация (угасание весов); балансирование loss-функции; оптимизаторы обучения.

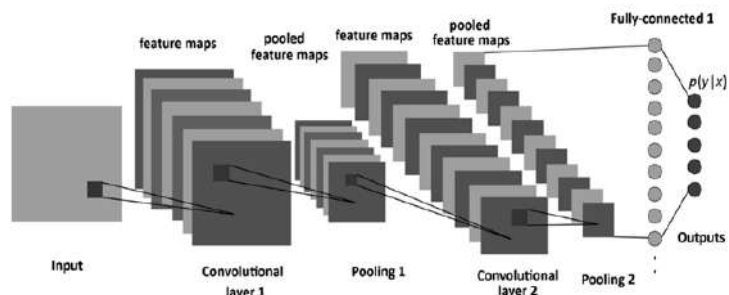


Рисунок 1 — Схема стандартной свёрточной нейронной сети

Решению проблемы способствует перемешивание тренировочных данных перед обучением. При реализации модели на основе MobileNet v1 использованы библиотеки TensorFlow и Keras, облегчающие описание, обучение и эксплуатацию нейронных сетей. Эти библиотеки появились относительно недавно, в них присутствуют пробелы в обычно требуемом функционале, поэтому были разработаны собственные компоненты для реализации необходимых возможностей.

Для обучения нейронной сети будет использоваться набор изображений диатомовых водорослей с сайта <http://aqualitas-retos.es/en/> [6]. Набор данных находится в закрытом доступе, поэтому для его получения был отправлен соответствующий запрос для его получения.

Набор данных включает себя изображения следующих видов водорослей: *Achnanthes subhudsonis* (123 файла); *Eolimna minima* (164 файла); *Eolimna rhombelliptica* (132 файла); *Gomphonema rhombicum* (64 файла); *Nitzschia capitellata* (123 файла); *Nitzschia frustulum* var. *frustulum* (226 файлов); *Nitzschia inconspicua* (255 файлов); *Nitzschia palea* var. *palea* (82 файла); *Skeletonema potamos* (155 файлов); *Staurosira venter* (87 файлов).

В качестве обучающей выборки будет использоваться 90 % изображений каждого вида (1 280 изображений), для тестирования обученной нейронной сети будем использовать 10 % оставшихся изображений (114 изображений).

**Заключение.** Собрана и проанализирована информация и другие материалы для создания и обучения нейронной сети. В ходе работы получены следующие результаты: 1) изучены теоретические основы свёрточных нейронных сетей и перспективы их применения для распознавания сцены на изображении; 2) выполнен обзор существующих свёрточных сетей и изучена возможность их использования для решения задачи распознавания диатомовых водорослей; 3) обзор существующих библиотек и Фреймворков, реализующих алгоритмы глубинного обучения; 4) поиск архитектуры нейронной сети, решающей поставленную задачу.

Таким образом, нейронная свёрточная сеть с использованием архитектуры MobileNet v1 облегчает задачу исследования состояния растений по внешним признакам, позволит выполнять широкомасштабные эксперименты и экономить при этом человеческие ресурсы и время.

#### Список цитируемых источников

1. The EU Water Framework Directive [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html/](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html/). — Дата доступа: 15.10.2019.
2. Шапович, Е. Г. Автоматизированная классификация диатомовых водорослей / Е. Г. Шапович // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения : материалы II Всерос. науч. конф. с междунар. участием : в 2 ч., 22—24 апр. 2019 г. — Тольятти : Издатель Качалин Александр Васильевич, 2019. — Ч. 2. — С. 308—312.
3. TensorFlow [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/>. — Дата доступа: 15.10.2019.
4. Mobile Real-time Video Segmentation. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://research.googleblog.com/2018/03/mobile-real-time-video-segmentation.html/>. — Дата доступа: 15.10.2019.
5. Batch Normalization : Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1502.03167/>. — Дата доступа: 15.10.2019.
6. Description Aqualitas-retos [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://aqualitas-retos.es/en/>. — Дата доступа: 15.10.2019.

УДК 519.876.2

А. В. Шах

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

**Введение.** Бизнес-процесс — логически завершённая цепочка взаимосвязанных и повторяющихся видов деятельности, в результате которых ресурсы предприятия используются для переработки объекта (физически или виртуально) в целях достижения определенных измеримых результатов или создания продукции для удовлетворения внутренних или внешних потребителей. В качестве клиента бизнес-процесса может выступать другой бизнес-процесс. В цепочку обычно входят операции, которые выполняются по определенным бизнес-правилам. Под бизнес-правилами понимают способы реализации бизнес-функций в рамках бизнес-процесса, а также характеристики и условия выполнения бизнес-процесса.

Обеспечить прозрачность хода бизнес-процессов важно потому, что только в этом случае владелец бизнес-процесса (сотрудник компании, управляющий ходом бизнес-процесса и несущий ответственность за его результаты и эффективность), бизнес-аналитик, руководство и другие заинтересованные стороны будут иметь ясное представление о том, как организована работа. Понимание хода существующих бизнес-процессов дает возможность судить об их эффективности и качестве и необходимо для разработки поддерживающей бизнес-ИТ-инфраструктуры. Успешная разработка прикладных систем, обеспечивающих поддержку выполнения бизнес-процессов от начала до конца, возможна лишь тогда, когда сами процессы детально ясны.

**Основная часть.** Моделирование бизнес-процессов является одним из методов улучшения качества и эффективности работы организации. В основе этого метода лежит описание процесса через различные элементы (действия, данные, события, материалы и пр.), присущие процессу. Как правило, моделирование бизнес-

процессов описывает логическую взаимосвязь всех элементов процесса от его начала до завершения в рамках организации. В более сложных ситуациях моделирование может включать в себя внешние по отношению к организации процессы или системы.

Моделирование бизнес-процессов может иметь различную направленность. Это зависит от того, какие проблемы предполагается решить с его помощью. Учет абсолютно всех воздействий на процесс может значительно усложнить модель и привести к избыточности описания процесса. Чтобы этого избежать, моделирование бизнес-процессов разделяют по видам. Вид моделирования выбирается в зависимости от исследуемых характеристик процесса.

Наиболее часто для целей совершенствования процесса применяют следующие виды моделирования:

1) функциональное — подразумевает описание процессов в виде взаимосвязанных, четко структурированных функций. При этом строгая временная последовательность функций в том виде, как она существует в реальных процессах, не обязательна;

2) объектное — подразумевает описание процессов как набора взаимодействующих объектов, т. е. производственных единиц. Объектом является какой-либо предмет, преобразуемый в ходе выполнения процессов;

3) имитационное — подразумевает моделирование поведения процессов в различных внешних и внутренних условиях с анализом динамических характеристик процессов и распределения ресурсов.

Имитационная модель — это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени, позволяет получать подробную статистику о различных аспектах поведения системы в зависимости от входных данных. Она способна визуализировать процессы работы системы, схематично изобразить её структуру и преподнести в графическом виде результаты [1].

Использование пакетов имитационного моделирования в сравнении с применением универсального языка программирования дает несколько преимуществ:

1) пакеты имитационного моделирования автоматически предоставляют большинство функциональных возможностей, требующихся для создания имитационной модели, что позволяет существенно сократить время, необходимое для программирования, и общую стоимость проекта;

2) пакеты имитационного моделирования обеспечивают естественную среду для создания имитационных моделей. Их основные моделирующие конструкции больше подходят для имитационного моделирования, чем конструкции в универсальных языках программирования;

3) имитационные модели, которые созданы с помощью пакетов моделирования, как правило, проще модифицировать и использовать;

4) пакеты имитационного моделирования обеспечивают более совершенные механизмы обнаружения ошибок, поскольку они выполняют автоматический поиск ошибок многих типов [2].

Однако компьютерное моделирование обладает и рядом недостатков. Имитационное моделирование является итеративной, экспериментальной техникой решения проблем, требует значительных затрат кадров, компьютерного времени и чаще всего находит решение, только близкое к оптимальному. Часто специалисту трудно оценить адекватность модели и найти источник ошибок [3].

Сегодня существует достаточно большое количество различных пакетов для моделирования бизнес-процессов. Эти методы относятся к разным видам моделирования и позволяют сфокусировать внимание на различных аспектах. Они содержат как графические, так и текстовые средства, за счет которых можно наглядно представить основные компоненты процесса и дать точные определения параметров и связей элементов.

Одной из популярных систем моделирования бизнес-процессов на современном рынке является информационная система ELMA.

Технология организации бизнес-процессов в ELMA выполняется согласно циклу — от создания модели рабочего процесса к ее улучшению. Система контролирует, чтобы бизнес-логика, заложенная при построении моделей, соблюдалась в реальной деятельности предприятия, и позволяет быстро корректировать процессы, основываясь на данные об их эффективности и новые потребности компании.

Чтобы оптимизировать бизнес-процесс в системе, достаточно внести нужные изменения в его модель в графическом редакторе без программирования, дополнительных затрат и прерывания работы по процессам [4]. При управлении маркетинговыми бизнес-процессами специалист по маркетингу имеет возможность:

– оптимизировать бизнес-процессы и функциональные обязанности в отделах маркетинга и продаж, внедрив результаты проделанной работы в информационную систему;

– провести полную реорганизацию работы по привлечению и работе с клиентами — как принципиально новый подход, при котором информационная система является частью общей концепции процессного управления предприятием.

Работа в приложении ELMA BPM стартует с проектирования бизнес-процессов. Это важный этап, от которого зависит, как в итоге будут функционировать процессы и на сколько они будут отражать действительность организации. Процессное моделирование проводится в программе «Дизайнер ELMA», которая входит в пакет системы ELMA. Она имеет ряд функциональных особенностей, которые делают ее удобной в использовании: интерфейс программы простой и понятный для пользователя, не требующий длительного изучения; проектирование реализации операций бизнес-процесса может производиться без привлечения программиста, а лишь силами аналитика; описание операций в программе осуществляется на языке диаграмм (brn), который знаком аналитикам, кроме того, будет понятен руководящему составу компании; система позволяет оперативно вносить изменения, подстраиваясь по реалии рынка и преобразования внутри компании. На рисунке 1 представлен интерфейс системы ELMA.

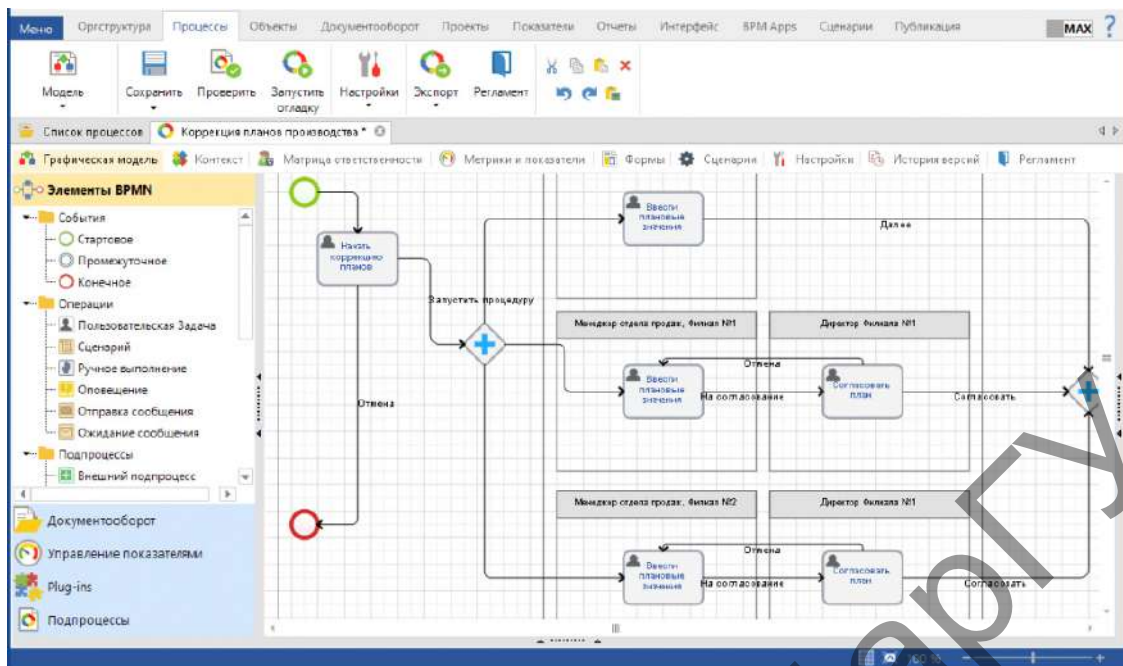


Рисунок 1 — Компьютерное моделирование бизнес-процесса в ELMA [5]

Моделирование в системе ELMA не является необратимым действием, во время практической работы могут появляться предложения по доработке и усовершенствованию. Система позволяет моделировать и оперативно вносить изменения, которые зачастую благоприятно влияют на работу организации и способны повысить показатели как отдельного сотрудника, так и компании в целом.

Реализация системы предусматривает хранение всей информации о пользовательских задачах в карточках задач, отдельных страницах в веб-интерфейсе ELMA BPM. Там представлены все данные для принятия решений по тем или иным операциям [6].

**Заключение.** К сожалению, несмотря на неоспоримые достоинства компьютерного моделирования, в настоящее время в Беларуси и России этот метод исследования сложных систем используется мало. Это связано с тем, что разработка таких моделей требует больших временных и стоимостных затрат [7]. Но тенденции последнего времени вселяют надежду на то, что ситуация изменится и имитационное моделирование будут также широко и активно использовать, как в США, Канаде и Европе.

#### Список цитируемых источников

1. Шах, А. В. Имитационное моделирование покупательского спроса / А. В. Шах // Молодые исследователи — регионам: материалы Междунар. науч. конф. (Вологда, 18—19 апр. 2017 г.): в 4 т. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Вологод. гос. ун-т; [отв. ред. А. А. Синицын]. — Вологда: ВоГУ, 2017. — Т. 2. — С. 306—308.
2. Замятина, О. М. Моделирование систем: учеб. пособие / О. М. Замятина. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 204 с.
3. Кузнецов, Ю. А. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем: учеб. пособие / Ю. А. Кузнецов, В. И. Перова. — Н. Новгород, 2010. — 99 с.
4. ELMA BPM [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.elma-bpm.ru/product/bpm/>. — Дата доступа: 12.10.2019.
5. Моделирование бизнес-процессов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.elma-bpm.ru/product/bpm/business-process-modeling.html/>. — Дата доступа: 12.10.2019.
6. Лапицкая, О. В. Информационные технологии в управлении маркетинговыми бизнес-процессами / О. В. Лапицкая, А. В. Шах // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем: сб. науч. тр. / М-во образования Респ. Беларусь, Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гом. обл. орг. о-ва «Знание»; под ред. В. В. Кириенко. — Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. — С. 186—189.
7. Королько, И. В. Компьютерное моделирование бизнес-процессов / И. В. Королько // Проблемы современной экономики: глобальный, национальный и региональный контекст: сб. науч. ст.: в 2 ч. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: В. С. Фатеев (гл. ред.), Д. В. Примшиц (зам. гл. ред.) [и др.]. — Гродно: ГрГУ, 2013. — Ч. 1. — С. 379—385.

## СЕКЦИЯ 2

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

УДК 621.373

А. В. Алифанов, В. В. Малеронок, И. А. Богданович  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН В РЕЗУЛЬТАТЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧИНУ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УПРОЧНЕННОМ СЛОЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Введение.** При магнитно-импульсной обработке (далее — МИО) металлических изделий в их поверхностном слое изделий образуется достаточно высокая температура (до 1 000 °С), в результате чего происходят рекристаллизационные процессы, приводящие к измельчению зерен [1; 2]. Это является одной из основных причин упрочнения изделий.

Измельчение структуры (размера зерна) напрямую влияет на величину электрического сопротивления упрочненного слоя. Так как толщина упрочненного слоя составляет единицы и десятки микрометров [3], а размер зерна имеет микро- и нанометровый диапазон, то исследование влияния размера зерна на электро-сопротивление удобно рассматривать по закономерностям, применяемым для наноматериалов — рост электро-сопротивления зависит от количества межзеренных границ [4; 5].

**Основная часть.** Для проведения исследований был изготовлен образец из стали Ст3КП диаметром 7 мм и длиной 120 мм (рисунок 1). Образец был обработан методом холоднойковки, имел степень деформации более 10 % и прошел отжиг для снятия остаточных напряжений.

После такого вида обработки зерна имеют вытянутую форму, а структура — неоднородную зернистость.

Магнитно-импульсная обработка образца осуществлялась на магнитно-импульсной установке МИУ-3 с максимальной запасаемой энергией 8 кДж в цилиндрическом индукторе с внутренним (рабочим) диаметром 12 мм (при использовании в МИУ-3 индуктор диаметром 12 мм работает с частотой 10 кГц) по режимам согласно таблице 1.

Исследование изменения дисперсности структуры стального образца при проведении МИО проводили методом экспресс-анализа [5]. Контроль микроструктуры осуществляли на световом микроскопе MCF-3 фирмы Reichert (Австрия).



Рисунок 1 — Образец после деформации

Т а б л и ц а 1 — Режимы МИО

Режим	Показатели
№ 1	МИУ-3, цилиндрический индуктор Ø12 мм, 1 имп. 6 кДж
№ 2	Режим 1 + 3 имп. 6 кДж
№ 3	Режим 2 + 3 имп. 6 кДж

Результаты исследования представлены на рисунке 2 в виде диаграмм падения напряжения в упрочненном слое (при разной толщине) в зависимости от количества импульсов.

Анализ диаграмм показывает, что после применения режима 1 начался рост падения напряжения на упрочненном слое, что говорит об увеличении электросопротивления, так как по закону Ома  $U$  и  $R$  являются прямо пропорциональными величинами ( $U = I \times R$ ). Это связано с началом измельчения зерна (рисунок 3, б) и увеличением количества границ зерен.

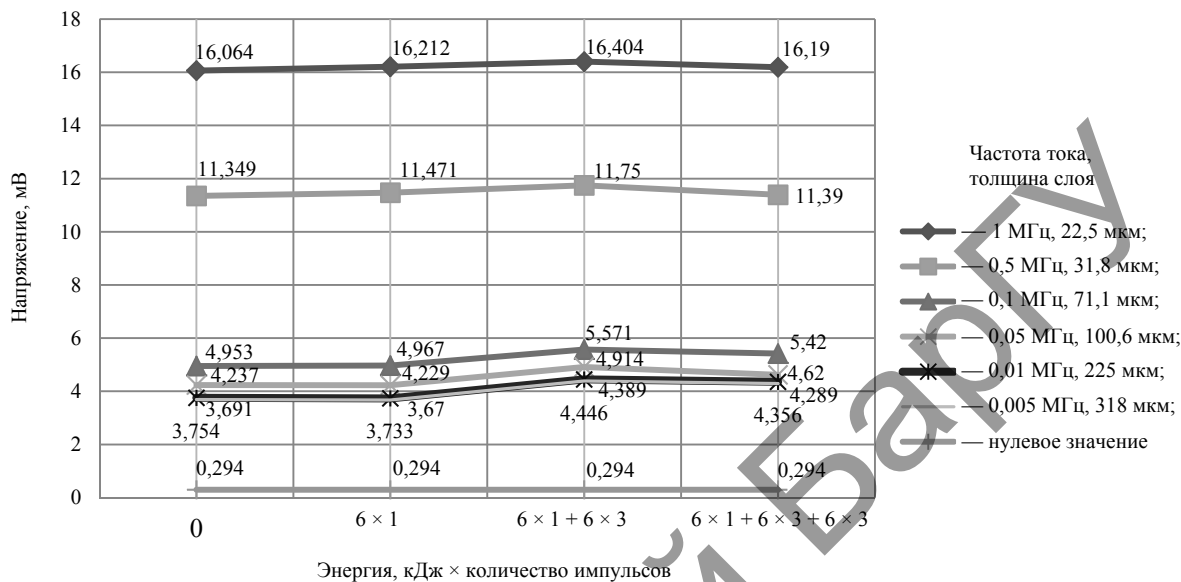
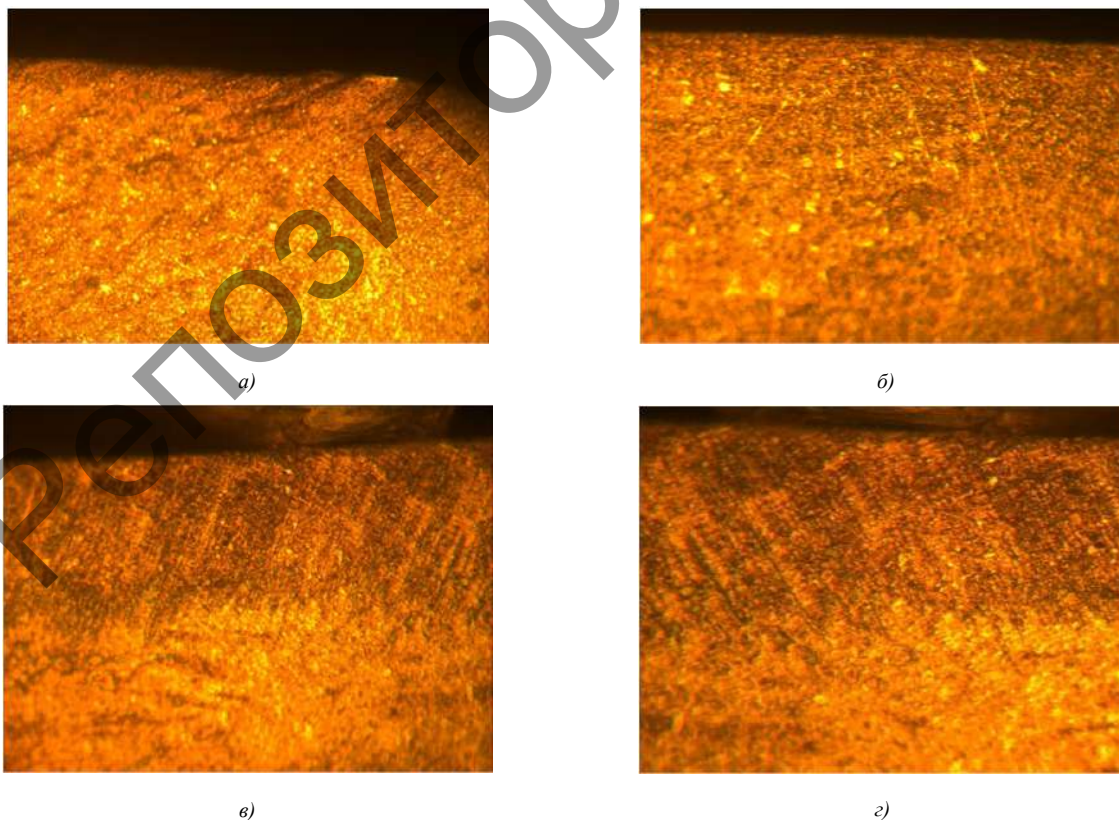


Рисунок 2 — Диаграммы падения напряжения на упрочненном слое (при разной толщине) в зависимости от количества импульсов



а — исходная структура; б — режим 1; в — режим 2; г — режим 3

Рисунок 3 — Микроструктуры образца по режимам

Применение режима 2 привело к еще большему измельчению зерна с появлением значительного упрочненного слоя (см. рисунок 3, в), следовательно, и приросту падения напряжения. Режим 3 сопровождался снижением падения напряжения (электросопротивления) на упрочненном слое, что, согласно рисунку 3, г, связано с укрупнением зерна структуры и уменьшением количества межзеренных разделов. Это вызвано сильным нагревом образца из-за большого количества энергии МИО и наступлением вторичной рекристаллизации [6].

Следует отметить, что после первичной МИО электросопротивление не уменьшилось, так как металл был отожжен в целях снятия остаточных напряжений и не имел значительных дефектов. Также заметно значительное влияние толщины упрочненного слоя (скин-слоя) на падение напряжения (электросопротивление): с увеличением толщины упрочненного слоя падение напряжения и, соответственно, электросопротивление слоя уменьшаются.

**Заключение.** С помощью экспресс-метода с применением токов высокой частоты исследовано влияние изменения размеров зерна структуры после проведения МИО образца стали Ст3КП на падение напряжения в упрочненном слое. Установлено, что увеличение количества импульсов (режимы 1, 2) привело к измельчению зерна и увеличению электрического сопротивления (падения напряжения). Однако режим 3 сопровождался снижением падения напряжения (электросопротивления) на упрочненном слое, что связано с укрупнением зерен структуры и уменьшением количества межзеренных разделов. Это вызвано сильным нагревом образца из-за большого количества энергии МИО и наступлением вторичной рекристаллизации.

#### Список цитируемых источников

1. Алифанов, А. В. Механизм упрочнения легированных сталей в импульсном магнитном поле / А. В. Алифанов, Ж. А. Попова, Н. М. Ционенко // *Литье и металлургия*. — 2012. — № 4. — С. 25—35.
2. Алифанов, А. В. Физика процесса магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий, расчет индукторов и параметров процесса : монография : в 2 т. / А. В. Алифанов, Д. А. Ционенко, А. М. Милокова. — Витебск, 2017. — Т. 2, гл. 2 : Перспективные материалы и технологии. — С. 31—53.
3. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А. В. Алифанов [и др.]. // *Литье и металлургия*. — 2012. — № 3. — С. 77—82.
4. Новиков, Л. С. Перспективы применения наноматериалов в космической технике : учеб. пособие / Л. С. Новиков, Е. Н. Воронина. — М. : Университет. кн., 2008. — 188 с.
5. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование : учеб. пособие для вузов / Е. В. Булыгина [и др.]. — М. : САЙНС-ПРЕСС, 2006. — 80 с.
6. Алифанов, А. В. Метод исследования упрочненного слоя металлических образцов с использованием токов высокой частоты / А. В. Алифанов, В. В. Малеронок, И. А. Богданович // *Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки»*. — 2019. — № 7. — С. 70—75.

УДК 674.05; 621.7.06

А. В. Алифанов<sup>1</sup>, С. И. Русан<sup>1</sup>, И. А. Богданович<sup>1</sup>, В. В. Цуран<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «Барановичский автоагрегатный завод», Барановичи

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙ ГЕЛИКОИДАЛЬНЫХ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ

**Введение.** В настоящее время почти вся номенклатура деревообрабатывающих ножей, применяемых для рубки щепы, приобретает за рубежом. Щепу применяют для производства целлюлозы и древесно-стружечных плитных материалов, используемых в мебельной промышленности.

К качеству щепы, применяемой для производства целлюлозы, предъявляются очень высокие требования. Во-первых, она должна иметь определенные размеры по длине, ширине и высоте. Во-вторых, все поверхности щепы должны быть гладкими и цельными, категорически не допускаются разрывы, искривления и другие дефекты древесных волокон щепы, которые впоследствии могут негативным образом повлиять на качество получаемой из щепы целлюлозы. К качеству щепы, применяемой для производства древесно-стружечных плитных материалов, предъявляются высокие требования в части ее однородности по размерам; не допускается наличие в щепе отдельных крупных включений.

Выполнение вышеуказанных требований возможно только при использовании ножей высокой остроты лезвия.

Следует отметить, что многие виды ножей для изготовления технологической щепы подвергаются особому виду шлифования режущей кромки — геликоидальному, конструкция которого способствует тому, что перерабатываемая на технологическую щепу древесина захватывается этими ножами и втягивается в зону обработки, благодаря чему отпадает необходимость применения специальных устройств для подачи древесных материалов.

Ранее был разработан способ и экспериментальное устройство для шлифования режущих лезвий геликоидальных ножей [1—3], которые не вызывают в теле ножа в процессе закрепления и шлифования внутренних напряжений, приводящих в процессе эксплуатации к преждевременным поломкам, а часто и к поломкам ножей в процессе шлифования.

В данной работе будут рассмотрены особенности процесса шлифования ножей с использованием разработанного оборудования.

**Основная часть.** Ранее авторами данной статьи разработаны два метода настройки механизма для высокоточной заточки режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей: по крайним точкам и по средней точке режущего лезвия.

Первый метод наиболее эффективен при заточке ножей, имеющих малые углы деплонации (отклонения)  $\lambda_g \leq 5^\circ$  (угол деплонации  $\alpha_d = \alpha_2 - \alpha_1$ , где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы заточки начальной и конечной частей режущего лезвия соответственно). На рисунке 1 схематически показан геликоидальный рубильный нож, заточенный при настройке механизма по конечным точкам.

Расчеты показали, что у данного ножа, имеющего длину 300 мм и угол деплонации  $5^\circ$ , незаточенной осталась центральная часть лезвия с максимальной высотой 0,07 мм.

На рисунке 2 показан геликоидальный рубильный нож, заточенный при настройке механизма по средней точке режущей кромки лезвия. Отклонение от прямолинейности заточенной режущей кромки составляет по ее краям 0,05 мм.

Учитывая, что допускаемая погрешность по ГОСТ 17432-87 «Технические требования к рубильным ножам» составляет 0,2 мм, полученные результаты можно рассматривать как удовлетворительные.

Однако если поставить задачу уменьшить отклонение от прямолинейности заточенной режущей кромки, это приведет к повышению качественных показателей обрабатываемого материала.

Для оперативного получения информации в процессе поисков оптимального варианта геометрических параметров механизма шлифования разработан приближенный (инженерный) метод расчетов при малых углах деплонации. Пределы его применимости установлены с помощью точного метода последовательных приближений.

Сущность расчета геометрических параметров механизма шлифования заключается в том, чтобы при заданных размерах ножа и величине угла деплонации определить оптимальное положение ножа на несущем барабане путем определения углов  $\theta$  и  $\beta$  ( $\theta$  — угол поворота ножа в процессе шлифования в горизонтальной плоскости,  $\beta$  — в вертикальной плоскости).

Для получения математических выражений составлена схема (рисунок 3), где приведен фрагмент барабана, на котором показаны углы перемещения рубильного ножа в вертикальной  $\beta$  и горизонтальной  $\theta$  плоскостях в процессе шлифования.

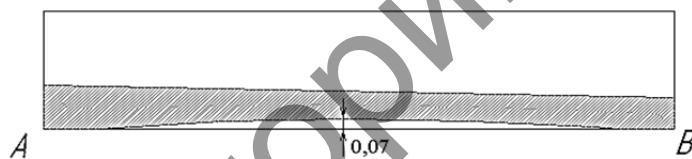


Рисунок 1 — Схема рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по конечным точкам  $A, B$

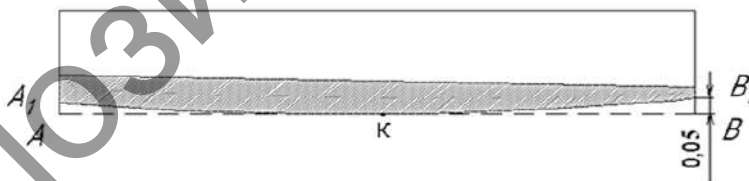


Рисунок 2 — Схема рубильного ножа, заостренного при настройке механизма по средней точке к режущей кромки лезвия

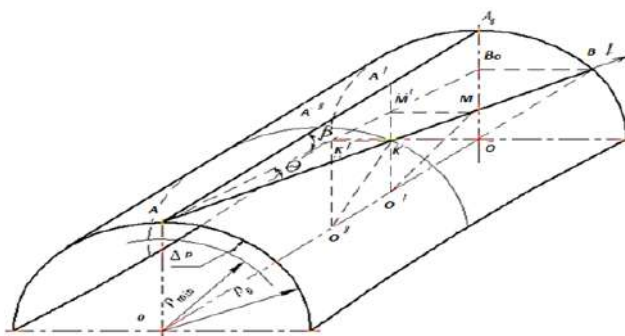


Рисунок 3 — Фрагмент барабана, на котором устанавливается геликоидальный рубильный нож для последующей заточки

Виртуальная плоскость, касательная к нижней части рабочей поверхности шлифовального круга, называется плоскостью среза, а касательная к ней цилиндрическая поверхность радиусом  $\rho_0$  — поверхностью среза ( $\rho_0$  — расстояние от оси цилиндра до кромки лезвия  $AB$  заготовки ножа на торце цилиндра). Часть объема заготовки, расположенная выше плоскости среза, в процессе шлифования срезается шлифовальным кругом. Окончательное положение заготовки ножа на цилиндре задается кромкой  $AB$  режущего лезвия ножа, которая сначала поворачивается в вертикальной плоскости на угол  $\beta$  из положения  $AB_0$ , а затем в горизонтальной плоскости  $AB_1$  на угол  $\theta$ .

Оптимальный угол деплонации  $\alpha_d$  устанавливается опытным путем. Чтобы изготовить нож с таким углом  $\alpha_d$ , необходимо закрепить заготовку ножа на несущем цилиндре в определенном положении, зависящем от заданного угла  $\alpha_d$ . Это положение определяется измерением не угла  $\alpha_d$  непосредственно, а его проекции  $\alpha'_d$  на плоскость торца поверхности среза. Угол  $\alpha'_d$  зависит от углов поворота геликоидального ножа в процессе шлифования режущего лезвия в вертикальной плоскости на угол  $\beta$  и в горизонтальной плоскости на угол  $\theta$ .

Выведены математические зависимости, позволяющие определить углы поворота ножа в процессе шлифования в горизонтальной и вертикальной плоскостях, зная которые, можно определить оптимальное расположение заготовки на поверхности несущего цилиндра.

**Заключение.** Разработана инженерная методика, позволяющая определить оптимальное расположение заготовки в устройстве шлифования геликоидального ножа.

#### Список цитируемых источников

1. Алифанов, А. В. Оптимизация процесса заточки режущего лезвия геликоидального рубильного ножа / А. В. Алифанов, В. В. Цуран, О. Ю. Пожелаев // Техника и технологии: инновации и качество : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 19 дек. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2017.
2. Алифанов, А. В. Бездефектный способ заточки геликоидального рубильного ножа / А. В. Алифанов, С. И. Русан, В. В. Цуран. — Mauritius : LAP Lambert Academic Publishing. — 49 с.
3. Обоснование разработки усовершенствованного высокоточного, высокопроизводительного метода заточки режущего лезвия геликоидальных рубильных ножей / А. В. Алифанов [и др.] // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2019. — Вып. 7. — С. 29—33.

УДК 621.867.1

В. Ф. Барышников, А. Д. Рудков

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ШАГОВОГО КОНВЕЙЕРА

**Введение.** Эффективность машиностроительного производства во многом зависит от механизации вспомогательных технологических процессов в цехах и на участках, к которым относятся операции уборки стружки, а также транспортирование к станкам заготовок и деталей. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих конструкций транспортных средств для перемещения стружки разного вида, деталей и заготовок в технологических линиях механических цехов является актуальной.

**Основная часть.** Для перемещения стружки и заготовок внутри цеха применяются конвейеры прерывистого действия: вибрационные, штанговые возвратно-поступательного действия и шаговые. Вибрационные конвейеры применяются очень редко, так как их эксплуатация приводит к вибрации соседних металлорежущих станков, что негативно отражается на качестве деталей. Наибольшее применение нашли шаговые конвейеры прерывистого действия [1].

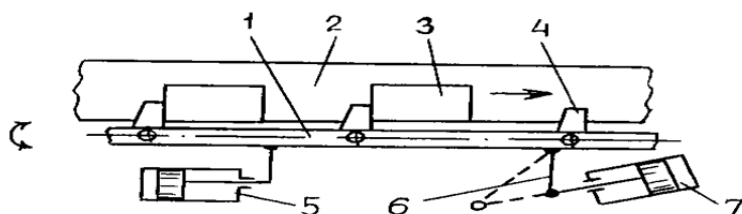
Принцип действия шагового конвейера с убирающимися собачками следующий. При движении штанги вправо собачки упираются в заготовки и перемещают их на один шаг. При холостом ходе собачки утапливаются в штангу и проходят под заготовкой, не задевая её.

Рассмотрим схему шагового конвейера с поворачивающимися захватными устройствами (рисунок 1).

В данной конструкции штанга  $1$  совершает последовательно возвратно-поступательное и вращательное движения с помощью гидравлических цилиндров  $5$  и  $7$  и рычага  $6$ . При рабочем ходе штанга  $1$  (вперёд) флажки  $4$ , закреплённые на штанге, упираются в заготовки и перемещают их на шаг. Затем штанга поворачивается на угол (при котором флажки не задевают детали) и возвращается в исходное положение. Далее флажки опускаются, цикл повторяется.

Основными недостатками данной конструкции конвейера являются довольно сложный привод, который значительно удорожает стоимость транспортёра и усложняет процесс её эксплуатации, а также то, что конвейер применим только для транспортирования мелких штучных грузов.

На основании проведённого анализа существующей конструкции шагового конвейера предлагается схема модернизированного шагового конвейера для перемещения сливной стружки и крупногабаритных заготовок и деталей (рисунок 2).



1 — штанга круглая; 2 — направляющие; 3 — заготовка; 4 — захват-флажок;  
5 и 7 — цилиндр гидравлический; 6 — рычаг

Рисунок 1 — Шаговый конвейер с поворачивающимися захватными устройствами

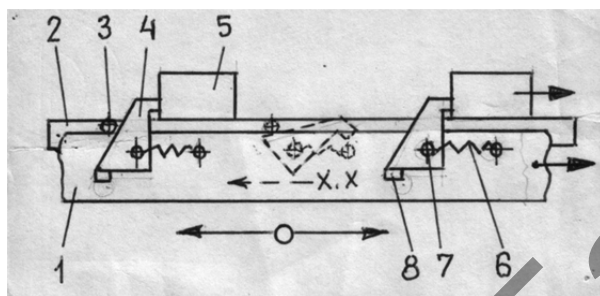


Рисунок 2 — Схема модернизированной конструкции шагового конвейера

Устройство конструкции предлагаемого конвейера следующее. Заготовки 5 располагаются на лотке (направляющие) 2. Ниже смонтирована штанга 1. Она должна иметь минимальную площадь поперечного сечения, поскольку при рабочем ходе штанга испытывает напряжение растяжения. Это условие предполагает малую металлоёмкость конструкции. На штанге с определённым шагом на осях 7 установлены захваты 4. К захвату крепится пружина 6, а к штанге — упор 8. Штанга совершает возвратно-поступательное движение с определённым ходом за счёт тягового органа, закреплённого на приводе, конструкция которого может быть разнообразной (conoидальный-тросовый, цепочно-шатунный, цепочно-кулисный, реечный, винтовой, гидравлический, пневматический, реверсивный электродвигатель).

Принцип работы шагового конвейера следующий. При рабочем ходе штанги 1 захват 4, опираясь на упор 8, захватывает заготовку 5 и перемещает её по лотку 2 на один ход.

При холостом ходе штанги захваты 4 за счёт пружины 6 утапливаются в штангу и проходят под заготовкой, не задевая её. В конце холостого хода захваты 4, скользя по упорам 3, установленным на лотке, занимают рабочее положение, упираясь в заготовки 5, цикл работы повторяется.

**Заключение.** Предложенная схема шагового конвейера позволяет значительно упростить его конструкцию, уменьшить металлоёмкость и энергоёмкость, и улучшить эксплуатационную характеристику шагового конвейера.

#### Список цитируемых источников

1. Власов, С. В. Транспортные и грузозачные устройства и робототехника : учеб. для машиностроит. техникумов / С. В. Власов, Б. М. Позднеев, Б. И. Черпаков. — М. : Машиностроение, 1988. — 144 с.

УДК 621.9

Т. Я. Богданова, А. С. Вороник

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### МОДЕРНИЗАЦИЯ АГРЕГАТНОГО СТАНКА АС1640.000 ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФЛАНЦА АЛЮМИНИЕВОГО

**Введение.** Одним из методов усовершенствования технологических процессов на машиностроительных заводах является применение высокопроизводительного станочного оборудования. Высокопроизводительными станками комплектуются целые автоматические линии. Создание таких линий становится приоритетным в развитии обрабатывающей промышленности. На крупных предприятиях активно используются многооперацион-

ные и агрегатные станки. Для внедрения новых технологий многие конструкторские учреждения работают над созданием новых моделей агрегатных станков. Особое широкое применение получили агрегатные станки с числовым программным управлением.

Агрегатные станки — это специальные полуавтоматические и автоматические станки, конструкция которых состоит из унифицированных узлов и механизмов, не связанных между собой единой кинематической схемой. Область применения данного оборудования охватывает группу предприятий с крупносерийным и массовым производством. Их основное назначение — это обработка деталей, имеющих объёмные (коробчатые) формы. Технические характеристики агрегатных станков позволяют применять их для сверления, нарезания резьбы, фрезерования и многих других работ, связанных с токарной обработкой заготовок. Станки такой модели ещё применяются в тех случаях, когда деталь, которая обрабатывается, закрепляется в неподвижном состоянии, а в движении находится режущий инструмент. Это даёт возможность на одной детали выполнять одновременно несколько операций с разных сторон детали.

Преимущества агрегатных станков: высокая производительность, обусловленная многоинструментальной обработкой заготовок одновременно с нескольких сторон; простота изготовления благодаря унификации механизмов и деталей; сокращение сроков проектирования; возможность многократного использования части агрегатов при изменении объекта производства; возможность обслуживания станков операторами низкой квалификации.

Типовые унифицированные компоновки созданы на базе унифицированных агрегатов, при этом уровень унификации агрегатов составляет приблизительно 90 % [1].

**Основная часть.** Станок агрегатный АС1640.000 предназначен для обработки отверстий во фланце алюминиевым на ОАО «140 ремонтный завод» (Орша). Станок состоит из сварной станины, на которой смонтированы все основные части станка (рисунок 1).

Обрабатываемая деталь устанавливается и закрепляется в приспособлении, расположенном на поворотном столе 1. Поворот стола осуществляется с помощью электропривода. Станок имеет три стойки со шпиндельными бабками с электроприводами, две горизонтальные стойки 2, установленные на сварном постаменте 3 и одну вертикальную стойку 4. Все они имеют отдельные привода подачи с электрическим приводом. Вертикальная стойка переналаживается на несколько типов деталей. Для переналадки в комплект входит специальный механизм. Кондуктор подвесной на вертикальной стойке предназначен для предотвращения увода инструмента при сверлении отверстий.

Аппаратура управления смонтирована в отдельно стоящем шкафу. Весь станок имеет защитное ограждение. Станок оснащен системой аварийного отключения, которая срабатывает при сбоях в работе и при проникновении человека в рабочую зону станка. Управление станком осуществляется с пульта управления.

Система управления позволяет управлять работой станка в автоматическом режиме и в режиме наладки.

В современной, быстро меняющейся обстановке перехода к рынку управлению предприятием необходимо постоянно проводить анализ деятельности для принятия управленческих решений. Для анализа и принятия решений необходима исходная информация, такую информацию получают из ряда экономических показателей, одним из которых является производительность оборудования.

Для дальнейшей надёжной работы станка и повышения производительности, а также использования самых современных систем управления была произведена модернизация станка, которая заключается в: применении более современной системы управления, замене гидравлической системы управления поворотным столом и механизмами на пневматическое управление с применением пневмоостровов, замене редуктора и мотора на мотор-редуктор, усовершенствовании кинематической схемы.

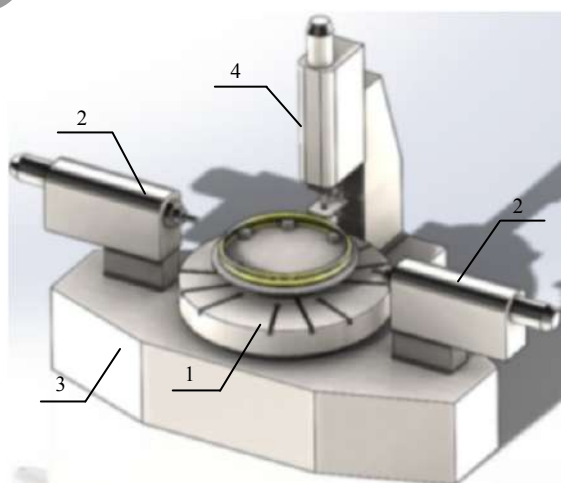


Рисунок 1 — Станок агрегатный АС1640.000

Применение системы управления фирмы SIEMENS (Германия) позволяет использовать интеллектуальное решение, касающееся управления движениями, сбора и вывода сигналов, а также ПИД-управления [2].

Использование пневматического привода дало возможность применить пневмоостров фирмы «Фесто» (Австрия). Основная идея его применения — объединение пневматики, электрики и сетевых технологий в одном устройстве [3].

Замена редуктора и мотора на мотор-редуктор фирмы INNOVARI (Италия) позволила упростить конструкцию привода.

**Заключение.** В результате модернизации агрегатного станка получили улучшение технологических и конструкторских характеристик оборудования, которые заключаются в следующем:

- применение современной системы управления обеспечивает максимальную эффективность и гибкость;
- замена гидропривода на пневмопривод позволяет упростить конструкцию и уменьшить вес цилиндров и станка в целом, увеличить быстродействие механизмов и уменьшить цену комплектующих, увеличить условия автоматизации, улучшить экологию в цеху;
- установка мотор-редуктора увеличивает надёжность и срок службы механизма, увеличивает КПД;
- применение автоматической переналадки позволяет существенно снизить затраты времени по сравнению с ручной переналадкой и повысить производительность труда.

#### Список цитируемых источников

1. *Матвеев, В. Н.* Агрегатные станки / В. Н. Матвеев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л. : Машиностроение, 1995. — 332 с.
2. *Лепешкин, А. В.* Гидравлика и гидропневмопривод : учебник / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак — М. : МГИУ, 2003. — 352 с.
3. *Москаленко, В. В.* Системы автоматизированного управления электропривода : учебник / В. В. Москаленко — М. : ИНФРА, 2012. — 208 с.

УДК 62-9; 637.5.03

**С. Б. Вербицкий<sup>1</sup>, С. А. Старчевой<sup>1</sup>, Н. Ф. Усатенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт продовольственных ресурсов Национальной академии аграрных наук Украины, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Государственное высшее учебное заведение «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», г. Переяслав-Хмельницкий, Украина*

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЯСНОГО СЫРЬЯ В ВАКУУМНОМ МАССАЖЕРЕ

**Введение.** Чтобы защитить мясное сырье от микробиологической порчи, а также обеспечить надлежащие свойства готовых продуктов: субъективные органолептические (вкус, аромат, цвет, консистенция) и объективные физико-химические (механические показатели, химический состав и т. д.), указанное сырье подвергают посолу — сложному биохимическому процессу, в реализации которого участвуют собственные протеолитические ферменты мяса, а также ферменты микроорганизмов. Современная технологическая схема интенсивной гидромеханической обработки предполагает последовательное инъецирование мясного сырья посолочным рассолом с помощью многоигольных инъекторов и массирования вместе с доливочным рассолом в рабочих полостях барабанов, которыми оснащены специальные машины — массажеры (тумблеры) [1]. В некоторых, технологически обоснованных, случаях применяется только инъецирование либо только массирование [2; 3]. В процессе обработки в массажере мышечные ткани приобретают эластичность, и мясо поглощает посолочный рассол в количестве до 10...12 % к исходной массе сырья. В результате механической обработки нарушается целостность клеточных мембран мяса, и облегчается проникновение рассола в результате разрушения оболочки из соединительной ткани вокруг мышечных волокон, которые набухают под действием посолочных веществ. Также увеличивается выход готового продукта, приобретающего мягкую и нежную консистенцию [4; 5]. Учеными и конструкторами Института продовольственных ресурсов НААН Украины создан параметрический ряд вакуумных массажеров Я5-ФМГ, схема и основные размеры которых приведены на рисунке 1.

**Основная часть.** Режим гидромеханической обработки в массажере зависит от множества факторов, прежде всего от вида мясного сырья и требуемой степени его мацерации. Как правило, непрерывное массирование мясного сырья не применяют, а используют интервальный режим, когда вращение барабана, в течение которого рассол интенсивно поглощается тканями мяса, чередуется с выстоем рабочего органа, во время которого мышечная ткань релаксирует. Поскольку продолжительность массирования может составлять несколько суток, важно, чтобы система автоматического управления обеспечивала выполнение алгоритма массирование/выстой без участия человека.

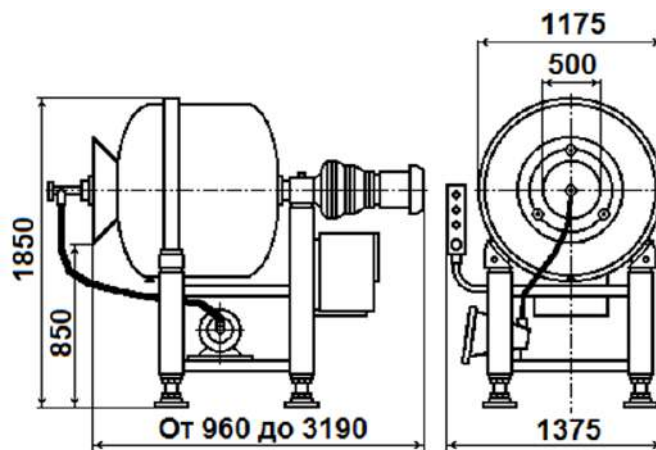


Рисунок 1 — Схема вакуумного массажера Я5-ФМГ (параметрический ряд из 5 моделей машин с емкостью барабана от 0,25 до 2 м<sup>3</sup>)

С другой стороны, указанная система должна обеспечивать эффективный контроль процесса и в случае необходимости оперативную переналадку, исходя из технологических потребностей. Существуют разные мнения о рациональных режимах массирования, например, рекомендуют говядину массировать в таких режимах: заполняют барабан на 70 % емкости и чередуют 30 мин работы с 30 мин выстоя, при этом общее время обработки составляет 12 ч при скорости 20 мин<sup>-1</sup>, либо 8 ч при скорости 5 мин<sup>-1</sup> [6]. При обработке свинины режим таков: коэффициент заполнения — 0,7; общее количество ударов — 2 400, скорость вращения барабана — 6 мин<sup>-1</sup> [7]. В результате производственных испытаний и коммерческой эксплуатации массажеров Я5-ФМГ на предприятиях для этих машин мы можем рекомендовать следующие параметры обработки: коэффициент заполнения — до 0,5, общее количество оборотов барабана для свинины — 600...800, 15 мин работа / 20 мин выстой, скорость вращения барабана — 4...6 мин<sup>-1</sup>, для говядины — 3 000...3 500 оборотов, 20 мин работа / 25 мин выстой, скорость вращения барабана — 8...10 мин<sup>-1</sup> [1].

Для эффективного регулирования процесса гидромеханической обработки мясного сырья в массажере Я5-ФМГ конструкция системы управления охватывает, в частности, регулирование режима вращения барабана (при непрерывном — продолжительность, при интервальном — общая продолжительность; продолжительность работы и выстоя); скорости вращения барабана (бесступенчатое регулирование с использованием преобразователя частоты); направления вращения барабана (работа/выгрузка и говядина/свинина); глубины вакуума (автоматическое включение/отключение вакуумного насоса в зависимости от показаний электроконтактного мановакуумметра); типичных функций по защите электроприводов машины. Загрузив в барабан сырье, устанавливают переключатель в положение ВКЛЮЧЕНО, далее устанавливают режим массирования НЕПРЕРЫВНОЕ или ИНТЕРВАЛЬНОЕ, общую продолжительность массирования, скорость вращения барабана (ОБОРОТЫ) и пределы остаточного давления в барабане. После нажатия кнопки РАБОТА включается вакуумный насос и производится обработка мясного сырья: при вращении барабана по часовой стрелке — говядины, против часовой стрелки — свинины. В режиме массирования ИНТЕРВАЛЬНОЕ дополнительно устанавливают время массирования и время выстоя. По истечении общего времени обработки выключаются приводы барабана и вакуумного насоса, индицируется сообщение ПРОЦЕСС ОКОНЧЕН. Обработанное мясное сырье удаляется из рабочей полости барабана в режиме ВЫГРУЗКА. Нажатием кнопочного выключателя СТОП на пульте управления работу машины можно прекратить в любой момент.

Для реализации функций управления и контроля, массажеры Я5-ФМГ снабжены пультом управления, внутри которого, кроме прочего, расположены контроллер и частотный преобразователь, а на фасаде — переключатель выбора режимов МАССИРОВАНИЕ, НЕПРЕРЫВНОЕ, ИНТЕРВАЛЬНОЕ и ВЫГРУЗКА; потенциометр ОБОРОТЫ; панель управления; кнопочные выключатели РАБОТА, ВЫГРУЗКА и СТОП. После подачи напряжения питания на панели управления появляется сообщение ИНТЕРВАЛЬНОЕ ГОВЯДИНА или НЕПРЕРЫВНОЕ ГОВЯДИНА в зависимости от положения переключателя МАССИРОВАНИЕ. Нажатием кнопочных выключателей ВЫГРУЗКА и РАБОТА сообщение ГОВЯДИНА изменяется на СВИНИНА. Табло отображения панели управления изображено на рисунке 2.

Если во время работы произошло отключение электропитания, то после повторного включения высвечиваются сообщения АВАРИЙНАЯ ОСТАНОВКА и ОСТАЛОСЬ... (время до окончания технологического процесса). В случае срабатывания теплового реле электродвигателя вакуумного насоса или электродвигателя привода барабана высвечивается сообщение ПЕРЕГРУЗКА, ОСТАЛОСЬ... (время до окончания технологического процесса). Контроль вакуума осуществляется автоматически при помощи электроконтактного мановакуумметра.



Рисунок 2 — Табло отображения панели управления вакуумного массажера Я5-ФМГ

**Заключение.** Благодаря использованию современных средств автоматического регулирования производственных процессов (встроенный контроллер с ориентированным на пользователя интерфейсом, частотный преобразователь с возможностью бесступенчатого регулирования вращения рабочего органа в широком диапазоне и т. д.), удалось создать систему управления, обеспечивающую массирование мясного сырья в рациональных режимах, гарантированно высокое качество цельномышечных мясных продуктов, экономию энергии, сырья и вспомогательных материалов. Указанное должно способствовать повышению технического уровня и конкурентоспособности отечественного мясоперерабатывающего оборудования прежде всего на внутреннем рынке специализированного технологического оборудования, где сейчас доминируют зарубежные производители — очень часто представленные восстановленными машинами, бывшими в употреблении [8].

#### Список цитируемых источников

1. Вербицкий, С. Б. Гидромеханическая обработка мясного сырья / С. Б. Вербицкий // Мясной бизнес. — 2016. — № 10 (160). — С. 44—48.
2. Influence of the raw ham quality and tumbling time on yield and product quality of cooked ham / E. De Mey [and etc.] // Proceedings ICoMST. — 2015.
3. Pinto Neto, M. Tombamento ou injeção: qual a melhor opção / M. Pinto Neto // Revista Nacional da Carne. — Agosto 2004. — Edição № 330.
4. Niemann, O. El desarrollo tecnológico tras el masajeo de la carne / O. Niemann // CarneTec. — 30/08/2017.
5. Меренкова, С. П. Научное обоснование принципов проектирования технологии деликатесных мясopодуKтов с улучшенными технологическими характеристиками / С. П. Меренкова, И. Ю. Потороко, И. В. Захаров // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Пищевые и биотехнологии». — 2015. — Т. 3, № 2. — С. 18—26.
6. Effects of massaging time and drum speed on texture and structure of two beef muscles / K. Lachowicz [and etc.] // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology. — 2003. — Volume 6, Issue 2.
7. Technological effect of plastification on changes in the macrostructure of meat / W. Dolata [and etc.] // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology. — 2005. — Volume 8, Issue 3.
8. Вербицкий, С. Б. М'ясе виробництво: динаміка розвитку та забезпеченість технологічним обладнанням / С. Б. Вербицкий, Г. П. Лисенко, Г. А. Михайленко // Вісн. аграрної науки. — 2015. — № 10 (752). — С. 59—63.

УДК 621.926

И. М. Дыдышко<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

## К СОЗДАНИЮ ПРУЖИННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ СВЕРХТОНКОГО ПОМОЛА МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** Центральной операцией многих стадий современного производства является измельчение материалов. Это чрезвычайно массовые, трудоемкие и энергоемкие операции. Процессы измельчения материалов широко применяются в различных отраслях промышленности. На цели измельчения расходуется около

10 % всей вырабатываемой электроэнергии, несколько миллионов тонн высококачественных материалов для измельчающей гарнитуры, а коэффициент полезного действия большинства мельниц не превышает 1 % [1].

Кроме того, процессы измельчения являются капиталоемкими, имея до 45...55 % капитальных затрат цикла переработки минерального сырья и до 50 % эксплуатационных расходов. Темпы развития отраслей промышленности требуют совершенствования конструкции оборудования для сверхтонкого измельчения, повышения его надежности и работоспособности. Кроме того, остро стоит проблема получения сверхтонкого помола материалов, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества и увеличения рентабельности производства.

Данная проблема может быть решена путем создания пружинной мельницы с мелющими телами (шариками) сверхтонкого помола материалов.

**Основная часть.** Предложенная пружинная мельница с мелющими телами относится к оборудованию для сверхтонкого измельчения. Основной задачей предложенной пружинной мельницы с мелющими телами является интенсификация процесса сверхтонкого измельчения материалов. Для этого пружинная мельница с мелющими телами содержит раму, привод, пружинный рабочий орган, дугообразно изогнутую камеру обработки материала, устройство для подачи исходного и выгрузки отработанного материала [2].

Данная пружинная мельница с мелющими телами относится к области машиностроения, в частности, к технологическому оборудованию для сверхтонкого помола и механоактивации дисперсных материалов и может быть использована в различных производствах.

Разрушение материала в таких мельницах производится путем захвата частиц материала в расходящиеся части витков и протягивания их в зоны обжатия витков. Такой механизм разрушения является очень эффективным.

Материал также транспортируется пружиной, работающей подобно винтовому транспортеру. Подобные конструкции, обладая конструктивной простотой, обеспечивают эффективное измельчение частиц материала с исходной крупностью 5 мм до конечной — 0,2 мм и менее.

Сущность предложенной мельницы поясняется графическими материалами. На рисунке 1 представлена кинематическая схема рабочего органа 1 и камеры обработки 2, на рисунке 2 — схема воздействия элементов пружинного рабочего органа на исходный материал 3.

Работа мельницы производится при заполненной камере исходным материалом и мелющими телами. При включенном двигателе рабочий орган приводится во вращение и производит разрушение материала между собственными витками пружины.

В процессе экспериментальных исследований установлено, что измельчение материалов вместе с мелющими телами в виде шариков приводит к увеличению упругости пружинного рабочего органа, увеличению количества контактных мест и наклёпу на боковых поверхностях пружинного рабочего органа. Тем самым повышается его износостойкость и прочность при циклических нагрузках, как следствие, увеличивается ресурс работы пружинной мельницы. Измельчение производится не только между витками пружины, но также и с заклиниванием между ними мелющих шариков, что приводит к увеличению качества сверхтонкого измельчения материалов.

Загрузка мелких мелющих тел осуществляется при вращении пружинного рабочего органа одновременно с материалом, обеспечивая тем самым равномерное распределение в области рабочей камеры.

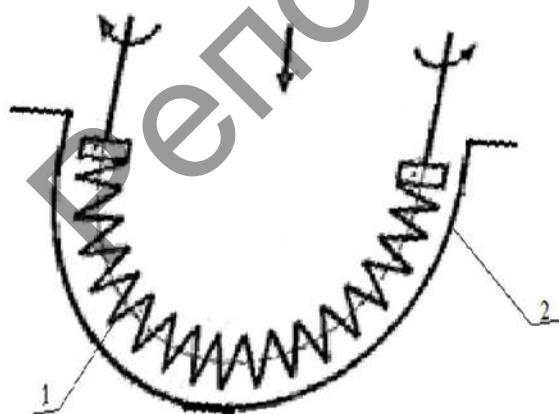


Рисунок 1 — Кинематическая схема рабочего органа и камеры обработки

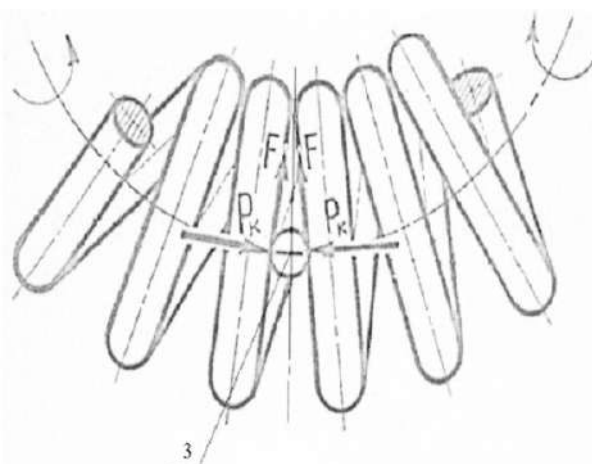


Рисунок 2 — Схема воздействия элементов пружинного рабочего органа на исходный материал

**Заключение.** Предварительные результаты первичных экспериментов показали, что интенсивность измельчения материалов с дополнительно загруженными мелкими мелющими телами значительно выше и эффективнее, чем в традиционных мельницах, так как в межвитковых зонах можно обеспечить предельно допустимые по условиям прочности по контактным напряжениям измельчающих элементов — витков пружины рабочего органа и мелющих тел.

Создание нового эффективного оборудования для комплексной переработки материалов необходимо для производства продуктов с дополнительными потребительскими свойствами или специального назначения. Область применения аппаратов подобного назначения не только огромна, но и постоянно расширяется, охватывая практически все сферы деятельности человека, начиная от бытовой техники и заканчивая космическими технологиями.

#### Список цитируемых источников

1. Селективное измельчение минералов / В. И. Ревнивцев [и др.]. — М.: Недра, 1988. — 286 с.
2. Пружинная шаровая мельница : пат. 29820 Kaz : МПК ВО2с 19/22 / Б. А. Унаспеков [и др.] ; дата публ.: 15.05.2015.

УДК 621.9

А. Н. Жигалов, И. С. Кандыбович, Д. В. Калоша

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ИЗНОС ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ НОЖЕЙ

**Введение.** В работе авторов [1] обоснована необходимость повышения стойкости режущей кромки дереворежущих ножей для повышения эффективности и производительности процесса деревообработки. Инструмент приобретает необходимую, характерную для данного инструментального материала твердость и износостойкость. Показано, что наиболее рациональным выбором процесса упрочнения ножей является метод ионно-плазменного азотирования (далее — ИПА), имеющий ряд преимуществ перед другими видами обработки.

**Основная часть.** Для осуществления количественной оценки износа режущей кромки дереворежущих ножей от времени резания проведены следующие исследования. Обработке методом фрезерования на роторно-проходном специальном станке модели ЛОТ1БТД03-003 подвергались тонкомерные хвойные лесоматериалы основных пород  $d = 160...200$  мм и  $l = 4000$  мм с припуском на длину  $+30...+50$  мм, с неограниченным количеством сучков, что соответствует СТБ 1711-2007. В модели станка ЛОТ1БТД03-000 частота вращения ротора составляет  $1000...3000$  об./мин. Режимы резания регулируются также и скоростью подачи заготовки и находятся в пределах  $4,5...9,0$  м/мин. Скорость подачи изменяется вручную, исходя из внешних особенностей обрабатываемой древесины.

Исследования осуществлялись на радиально устанавливаемых черновых и чистовых ножах для роторной головки станка, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5. Данная инструментальная сталь является универсальным материалом для изготовления режущего инструмента в деревообрабатывающем производстве. Двухгранные черновые и чистовые ножи устанавливались в роторной головке так, что углы в точке соприкосновения заготовки и режущей кромки для чистовых и черновых ножей были равны  $\varphi = 33^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$  соответственно.

Контроль и сравнение износа режущей кромки ножей, обработанных и не обработанных ИПА, проводился в течение 1,5 месяцев путем отслеживания уменьшения размеров ножей. Износ ножей замерялся по задней поверхности ножа при помощи микрометра модели МК50 с ценой деления  $0,001$  мм. Замеры производились через 5 минут резания. Профиль изношенных ножи также фиксировался на инструментальном стереоскопическом микроскопе Stemi 2000-C с точностью измерений  $0,001$ .

Предварительные исследования показали, что наибольшее влияние на износ ножей, упрочненных методом ИПА, оказывают скорость резания  $v$  и подача  $s$ , в связи с чем принималось количество вариационных параметров обработки, равное двум:  $v$  и  $s$ . Применялся план полнофакторного эксперимента, состоящий из пяти опытов для каждого материала в пределах вариации минимальных ( $-1$ ), нулевых ( $0$ ) и максимальных ( $+1$ ) значений параметров. Назначался диапазон вариации для каждого параметра исходя из данных рекомендаций литературы, а также с учетом возможности установки на станке реальных режимов резания. Используемые режимы резания представлены в таблице 1.

Для каждого опыта из таблицы 1 строились графики изменения величин износа ножей (не упрочненных и упрочненных ИПА) по задней поверхности  $h_3$  (с линиями тренда в виде степенной функции) от времени резания. На рисунке приведены зависимости (с линиями тренда) износа ножей из стали Р6М5, упрочненных ИПА, от времени резания на различных режимах обработки.

Далее строились зависимости износа в логарифмической системе, логарифмируя значения величин износа и времени по десятичному логарифму (рисунок 1).

Определялись коэффициенты  $n$  и  $a$  для степенной зависимости  $h_3 = at^n$  по методике [2]. В таблице 2 приведены полученные степенные зависимости.

Т а б л и ц а 1 — Режимы обработки для ножей при фрезеровании тонкомерных хвойных лесоматериалов

Опыт	$n_{\phi}$ , об. / мин		$V_s$ , м / мин	
	1	1 800	0	6,5
2	1 200	-1	6,5	0
3	1 800	0	5,0	-1
4	1 800	0	8,0	+1
5	2 400	+1	6,5	0

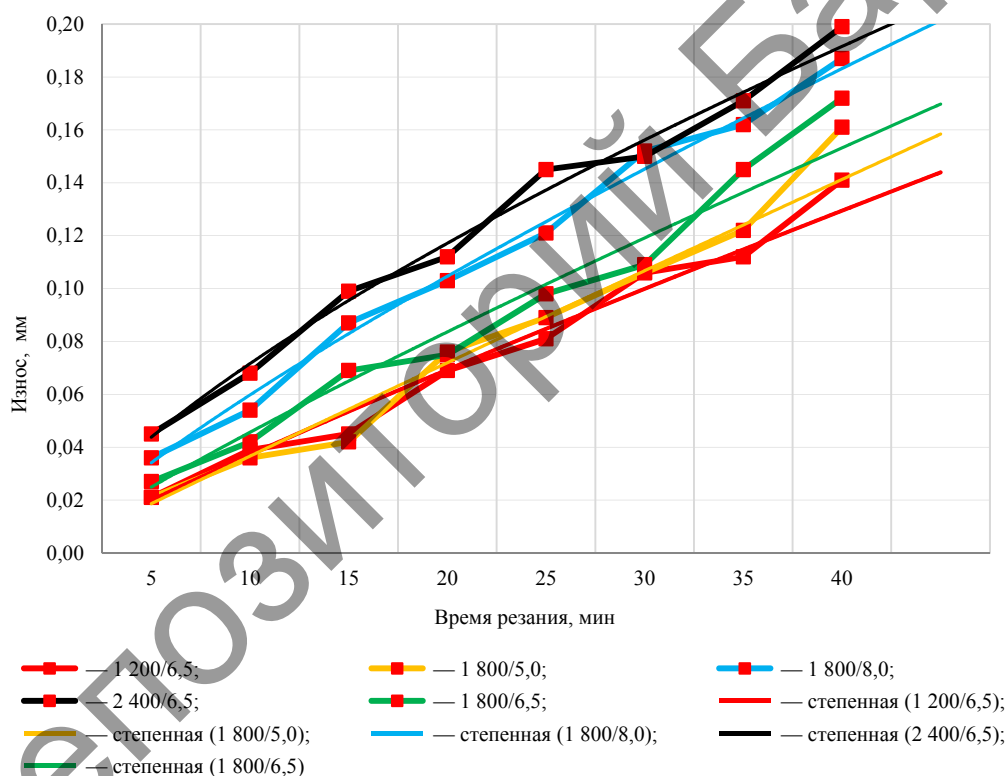


Рисунок 1 — Зависимости (с линиями тренда) износа по задней поверхности  $h_3$  ножей из стали Р6М5, упрочненных ИПА, от времени резания при фрезеровании тонкомерных хвойных лесоматериалов сосновых пород  $d = 160 \dots 200$  мм на различных режимах резания

Т а б л и ц а 2 — Зависимости износа по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$  для дереворежущих ножей из стали Р6М5 при фрезеровании тонкомерных хвойных лесоматериалов сосновых пород  $d = 160 \dots 200$  мм на различных режимах обработки

Опыт	Режимы резания		Зависимости износа по задней поверхности от времени резания	
	$n_{\phi}$ , об. / мин	$V_s$ , м / мин	без дополнительной обработки	после ИПА
1	1 800	6,5	$h_3 = 0,025\tau^{0,792}$	$h_3 = 0,003\tau^{1,108}$
2	1 200	6,5	$h_3 = 0,039\tau^{0,616}$	$h_3 = 0,005\tau^{0,906}$
3	1 800	5,0	$h_3 = 0,041\tau^{0,629}$	$h_3 = 0,004\tau^{0,985}$
4	1 800	8,0	$h_3 = 0,058\tau^{0,547}$	$h_3 = 0,009\tau^{0,817}$
5	2 400	6,5	$h_3 = 0,074\tau^{0,49}$	$h_3 = 0,007\tau^{0,72}$

**Заключение.** Анализ полученных степенных зависимостей износа дереворежущих ножей от времени обработки при фрезеровании тонкомерных хвойных лесоматериалов сосновых пород  $d = 160...200$  мм на различных режимах резания показывает, что износ ножей, упрочненных ИПА, значительно меньше, чем ножей без воздействия ИПА, на что указывают коэффициенты  $a$  и  $n$ . В количественном соотношении при 40 мин резания износ ножей с ИПА в 2,4...4,5 раза меньше, чем без ИПА, что указывает на эффективность применения метода ИПА для обработки дереворежущих ножей. Полученными степенными зависимостями износа от времени резания удобно пользоваться для предварительного выбора режимов резания, а также количественно оценивать и предсказывать их стойкостные свойства.

#### Список цитируемых источников

1. Кандыбович, И. С. Эффективность упрочнения деревообрабатывающих ножей ионно-плазменным азотированием / И. С. Кандыбович, А. Н. Жигалов // Содружество наук. Барановичи-2019 : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. молодых исследователей, Барановичи, 16 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 134.
2. Шелег, В. К. Исследование влияния метода аэродинамического звукового упрочнения на износ твердосплавного инструмента при фрезерной обработке материала из стали / В. К. Шелег, А. Н. Жигалов // Гор. механика и машиностроение. — 2019. — № 3. — С. 56—65.

УДК 621.9

А. Н. Жигалов, Л. Л. Сотник, А. Д. Филипович

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА, УПРОЧНЕННОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, В ПРОГРАММЕ DEFORM

**Введение.** В работе авторов [1] обоснована возможность исследования процесса фрезерования твердосплавным инструментом, упрочненным аэродинамическим звуковым методом (АДУ).

**Основная часть.** С учетом данных наработок [1] проведены экспериментальные исследования износа режущего твердосплавного инструмента, упрочненного (далее — АДУ), при фрезеровании. Работы по моделированию зависимостей износа твердосплавного инструмента от параметров обработки проведены по методике [2]. Износ режущего лезвия по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$  определялся в виде степенной функции  $h_3 = a\tau^n$ . Обработке на фрезерно-карусельном станке ГФ2110 подвергались заготовки с размерами  $25 \times 16$  мм из стали 45 твердостью  $HВ 178...198$ . На каждой установке в пакете было по три заготовки, что позволяло имитировать наличие ударных нагрузок. В качестве инструмента использовалась фреза диаметром 63 мм с пятью зубьями одного сплава МС111. Замеры износа  $h_3$  производились на инструментальном стереоскопическом микроскопе Stemi 2000-С с точностью измерений 0,001 мм.

Исследования показали, что наибольшее влияние на износ твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ, оказывают по ранжиру такие параметры обработки, как скорость резания  $v$ , подача на зуб  $s_z$  и глубина резания  $t$ , в связи с чем принималось количество вариационных параметров обработки, равное трем:  $v$ ,  $s_z$ ,  $t$ . План полнофакторного эксперимента включал семь опытов для каждого материала и состоял из вариации минимальных (–1), нулевых (0) и максимальных (+1) значений варьируемых параметров. Назначался диапазон вариации для каждого параметра исходя из рекомендаций литературы, а также с учетом возможности установки на станке реальных режимов резания (таблица 1).

Для каждого опыта строились графики изменения износа от времени для зоны устоявшегося резания в абсолютной и логарифмической системах, логарифмируя значения величин износа и времени по десятичному логарифму. Графики обрабатывались следующим образом. На графиках, построенных в логарифмической системе, замерялись значения координат для начальной и конечной точек, между которыми соблюдалась прямолинейность линии. Для аналогичных точек на графиках, построенных в абсолютной системе, также фиксировались значения износа. Коэффициенты  $n$  и  $a$  в формуле износа определялись по значениям величин износа в соответствующих точках в абсолютной и логарифмической системах. Полученные степенные зависимости износа по задней поверхности  $h_3$  от времени  $\tau$  при различных режимах резания приведены таблице 1.

Для проверки адекватности полученных степенных зависимостей проведены дополнительные экспериментальные исследования. На режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,13$  мм / зуб,  $t = 1,0$  мм, которые соответствовали опыту 1 (см. таблицу 1), фрезеровались заготовки из стали 45 пластинами МС111, не упрочненными и упрочненными АДУ.

По результатам замеров значений износа были построены экспериментальные кривые и линии тренда, описываемые эти кривые степенными зависимостями (рисунок 1). Также графически наносились и теоретические кривые, которые строились по полученным степенным зависимостями  $h_3 = 0,127\tau^{0,247}$  — для неупрочненного сплава и  $h_3 = 0,113\tau^{0,234}$  — для сплава, упрочненного АДУ.

Экспериментальные и теоретические зависимости (см. рисунок 1) показали хорошую совместимость (величины погрешности не превышают 8 %-ный рубез), что указывает на правильность теоретических расчетов.

По степенным зависимостям рассчитаны количественные показатели величин износа для пластин, не упрочненных и упрочненных АДУ, а также произведены их сравнения между собой.

Результаты имитационных исследований процесса износа в программе DEFORM (рисунок 2) показали, что обработка твердым сплавом MC111, упрочненным методом АДУ, деталей из стали 45 ( $v = 158,3$  м / мин;  $s_z = 0,12$  мм / зуб;  $t = 1,0$  мм) способствует снижению интенсивности практически всех показателей, присутствующих в зоне резания, и способна увеличить стойкость инструмента приблизительно на 60 %. Данные результаты довольно хорошо совпадают с экспериментальными результатами (см. таблицу 1).

Т а б л и ц а 1 — Зависимости износа по задней поверхности  $h_3$  от времени  $\tau$  для твердосплавных пластин MC111 при фрезеровании стали 45

Опыт	Режимы резания			Зависимости износа по задней поверхности от времени	
	$v$ , м / мин	$s_z$ , мм / зуб	$t$ , мм	Пластины MC111н	Пластины MC111у
1	158,3	0,13	1,0	$h_3 = 0,127\tau^{0,247}$	$h_3 = 0,113\tau^{0,234}$
2	124,6	0,13	1,0	$h_3 = 0,103\tau^{0,325}$	$h_3 = 0,078\tau^{0,302}$
3	158,3	0,13	1,5	$h_3 = 0,165\tau^{0,261}$	$h_3 = 0,106\tau^{0,255}$
4	158,3	0,13	0,5	$h_3 = 0,126\tau^{0,279}$	$h_3 = 0,095\tau^{0,267}$
5	158,3	0,11	1,0	$h_3 = 0,077\tau^{0,413}$	$h_3 = 0,067\tau^{0,387}$
6	158,3	0,26	1,0	$h_3 = 0,096\tau^{0,391}$	$h_3 = 0,088\tau^{0,311}$
7	197,8	0,13	1,0	$h_3 = 0,087\tau^{0,454}$	$h_3 = 0,080\tau^{0,388}$

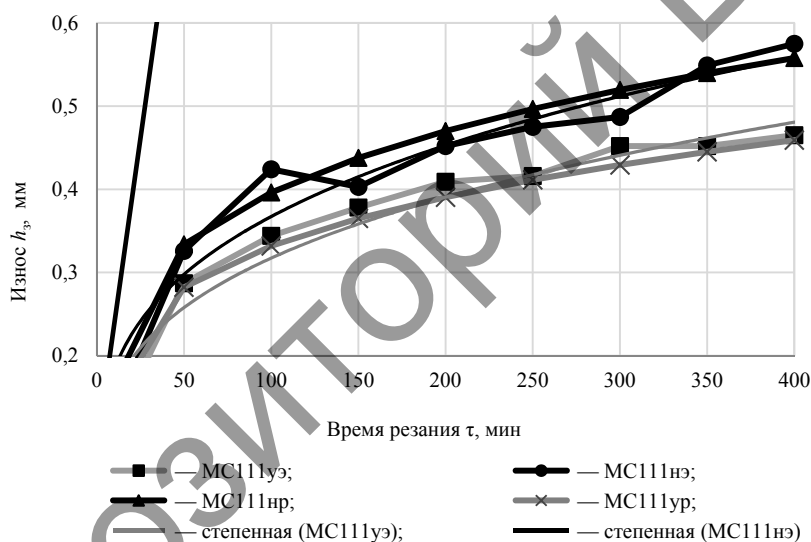


Рисунок 1 — Теоретические и экспериментальные (с линией тренда) зависимости износа по задней поверхности  $h_3$  сплава MC111 при  $v = 158,3$  м / мин;  $s_z = 0,13$  мм / зуб;  $t = 1,0$  мм (н — не упрочненный; у — упрочненный АДУ; р — расчетный; э — экспериментальный)

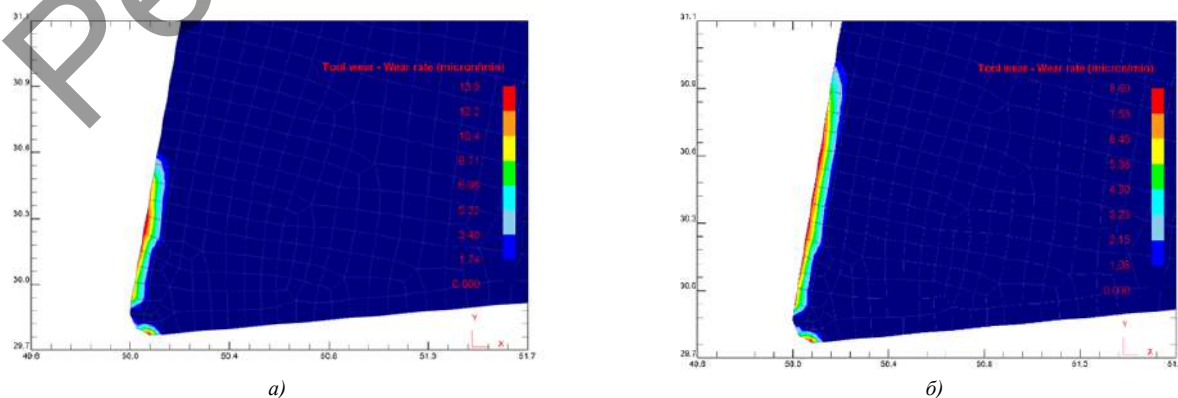


Рисунок 2 — Результаты имитационных исследований износа инструмента из сплава MC131, не упрочненного (а) и упрочненного АДУ (б)

**Заключение.** Полученные степенные зависимости износа пластин сплава MC111 от времени резания при фрезеровании стали 45 на различных режимах обработки показывают, что износ неупрочненных пластин больше, чем пластин, упрочненных АДУ, на что указывают значения коэффициентов степенных функций. В количественном соотношении при 400 мин резания износ пластин MC111, упрочненных АДУ, в 1,2...1,6 раз меньше, чем без АДУ, что указывает на эффективность метода АДУ для упрочнения пластин твердосплавных, используемых для фрезерования. Полученными степенными зависимостями износа от времени резания удобно пользоваться для предварительного выбора режимов резания, а также количественно оценивать и предсказывать их стойкостные свойства.

#### Список цитируемых источников

1. Жигалов, А. Н. Исследование процессов фрезерования в программном продукте DEFORM / А. Н. Жигалов, А. Д. Филипович // Содружество наук. Барановичи-2019 : материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. молодых исследователей, Барановичи, 16 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 130.
2. Шелег, В. К. Исследование влияния метода аэродинамического звукового упрочнения на износ твердосплавного инструмента при фрезерной обработке материала из стали / В. К. Шелег, А. Н. Жигалов // Гор. механика и машиностроение. — 2019. — № 3. — С. 56—65.

УДК 621.9

А. Н. Жигалов<sup>1</sup>, В. К. Шелег<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

**Введение.** При процессах прерывистого резания, протекающих в наиболее тяжелых условиях из-за явлений удара при врезании инструмента в заготовку и выходе из нее, частого циклического изменения температурного поля на режущем клине инструмента при рабочих и холостых ходах, неблагоприятного расположения режущего клина инструмента в процессе стружкообразования и других явлений, происходит интенсивный износ металлорежущего твердосплавного инструмента, причем значительно больше уровня, чем при непрерывном резании. Поведение инструмента при таких процессах недостаточно глубоко изучено, имеется потребность в его дальнейшем исследовании.

**Основная часть.** Анализ производства твердосплавного инструмента показал, что дислокации, создающиеся в процессе изготовления твердых сплавов, являются основным источником образования аномальных явлений, происходящих при эксплуатации твердосплавного инструмента. В окончательно изготовленном твердосплавном продукте образуются погрешности структуры с плотностью дислокаций порядка  $10^6 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$ . Недостатком твердых сплавов является их повышенная хрупкость, образующаяся от имеющейся в сплаве высокой плотности дислокаций, которая, в свою очередь, создает высокую твердость, равную  $85 \dots 91 \text{ HRA}$ , что, с другой стороны, является основным преимуществом твердых сплавов. Специфика обработки поверхностей при прерывистом резании указывает, что создание новых технологий изготовления или упрочнения твердосплавного инструмента должно происходить в направлении обеспечения в твердых сплавах повышенной твердости и ударной вязкости.

Тенденции развития мировых производителей твердосплавного инструмента направлены на совершенствование технологий получения субмикронных карбидов, создание мелкодисперсных поликристаллических структур, наноструктурных твердых сплавов, совершенствование «связки», связанное с использованием высокопрочных и жаростойких связок, содержащих кроме кобальта тугоплавкие металлы, не образующие устойчивых карбидов, изменение структуры сплава за счет равномерности распределения его компонентов по объему изделия, однородности карбидных зерен, входящих в его состав, по размеру, форме и т. д., создание универсальных конструкций стружколомающих рельефов на передней поверхности твердосплавного инструмента, совершенствование технологий упрочнения рабочих поверхностей твердосплавного инструмента и нанесения на них покрытий с высокой износостойкостью. Все указанные мероприятия сопряжены с большими финансовыми затратами и не в состоянии в полном объеме решить проблему повышения стойкости инструмента при работе с ударами, большими переменными нагрузками. Существующие методы упрочнения, основанные на высокоэнергетических и высокотемпературных воздействиях на структуру сплава, не в состоянии достичь одновременно высоких свойств, связанных с прочностью и твердостью, из-за того, что высокотемпературный источник энергии, благодаря которому осуществляется упрочнение, наряду с увеличением прочностных характеристик, обеспечивает снижение поверхностной твердости из-за возникновения отпуска структуры при остывании материала. Низкотем-

пературные методы упрочнения не обладают достаточно высокими энергиями, способными оказывать воздействия на весь объем изделия, а только производят воздействие в поверхностных слоях, что недостаточно для повышения вязкопрочностных характеристик материала, требуемых для инструмента, воспринимающего ударные нагрузки.

Перспективным направлением видится создание высокоэффективного метода аэродинамического звукового упрочнения (далее — АДУ) [1] твердых сплавов, предназначенных для работы в условиях прерывистого резания со значительными ударными нагрузками, способного с небольшой добавленной стоимостью существенно улучшать прочностные характеристики твердых сплавов при сохранении их высокой исходной твердости, тем самым значительно повышать ресурсную стойкость упрочненного твердосплавного инструмента, а также проведение теоретических и экспериментальных исследований такого метода, что направлено на решение важной научной и практической проблемы.

В процессе создания метода АДУ методами математического анализа подтверждено, что атомы кристаллической решетки твердых сплавов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, сцементированные кобальтовой связкой, имеющих поликристаллическое строение, совершают акустические колебания, которые носят волновой гармонический характер. Показано, что вывести из положения свободного равновесия атомы кристаллической решетки возможно за счет передачи твердому телу внешней волновой энергии. Максимальные частоты свободных колебаний атомов титана, вольфрама, тантала и кобальта, являющихся основными элементами твердых сплавов, принадлежат к гиперзвуковому диапазону колебаний.

Методами численного моделирования явлений, происходящих в структуре кристаллической решетки твердых сплавов, установлено, что максимальная энергия свободных колебаний атомов, приводящая к смещению атомов кристаллической решетки твердых сплавов, находится в пределах  $(3,4—9,5) \cdot 10^{-21}$  Дж. Дислокации возможно переместить и изменить их величину за счет приложения максимальной энергии в размере  $6,8(10^{-19} \dots 10^{-11})$  Дж. Кристаллические зерна, образующие твердые сплавы, дробятся и смещаются [2] при приложении внешней энергии в размере  $1,1 \cdot 10^{-17} \dots 6,5 \cdot 10^{-12}$  Дж. Достижение таких значительных энергий на уровне кристаллической решетки известными методами является проблематичным. Величины максимальных энергий свободных колебаний атомов Ti и Co в 2,2 раза больше, чем максимальных энергий для атомов Ta и W.

Показано, что эволюция дефектной структуры (смещение атомов кристаллической решетки, дефектов и дислокаций) твердых сплавов под действием приложения энергии звуковых волн способна к существенному изменению его макроскопических свойств. Выдвинуто предположение, что за счет применения явления резонанса, свойственного волновым гармоническим процессам, и одновременным нагревом упрочняемого тела, возможно значительно увеличить энергию внешнего воздействия, тем самым существенно увеличив от внешнего воздействия амплитуду колебаний при невысоких исходных частотах, находящихся в звуковом спектре колебаний, достичь такой внешней энергии, которой будет достаточно для смещения атомов титана, вольфрама, тантала и кобальта, являющихся основными элементами кристаллических решеток твердых сплавов, и придать за счет этого твердым сплавам новые свойства. Оптимальный диапазон частот внешних воздействий, при которых возникают резонансные амплитуды, лежит в звуковом спектре частот в диапазоне до 300 Гц. Теоретически обосновано, что для достижения эффекта на кристаллическом уровне дополнительно к прилагаемой на упрочняемое тело волновой энергии необходимо повысить энергию свободных колебаний атомов решетки за счет температурного воздействия, при этом температура должна быть максимально допустимой, при которой не происходят изменения исходных параметров по твердости. Обосновано, что после прекращения действия внешнего воздействия волнами звуковой частоты большинство образовавшихся новых структур переходят в новое равновесное состояние, не являющееся повторением ранее существующего, в результате чего происходит перестройка кристаллических решеток и коллективное движение групп дислокаций на «мезоскопическом» уровне, формирование или аннигиляция (уничтожение) дислокационных структур. Такая перестройка структуры твердых сплавов основана на самоорганизационных процессах, происходящих на уровне кристаллических решеток и дислокационных образований.

Показано, что эффективность звуковой энергии при аэродинамическом процессе зависит от коэффициента затухания, времени воздействия и добротности резонатора. Расчетным методом обосновано, что для получения эффекта над структурой при упрочнении вольфрамокобальтовых и танталокобальтовых твердых сплавов методом АДУ необходимо осуществлять двукратное энергетическое воздействие на двух частотных диапазонах. При упрочнении титанокобальтовых твердых сплавов методом АДУ достаточно однократного энергетического частотного воздействия.

Экспериментально установлено [3], что в зависимости от режимов резания твердосплавные пластины, упрочненные методом АДУ, превышают по стойкости неупрочненные пластины: MC131 — в 2,1...4,2 раза; MC111 — в 2,0...6,7 раза; B35 — в 1,6...3,5 раза. Комбинация режимов резания оказывает существенное влияние на стойкость для твердосплавных пластин, упрочненных методом АДУ: для сплава MC131 при величине допустимого износа по задней поверхности  $h_{здоп} = 0,8$  мм на режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,11$  мм / зуб,  $t = 1,0$  мм стойкость  $T_y = 613,7$  мин, а на режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,13$  мм / зуб,  $t = 1,5$  мм  $T_y = 2\ 816,2$  мин, что отличается в 4,5 раза; для сплава MC131 при  $h_{здоп} = 0,8$  мм на режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,11$  мм / зуб,  $t = 1,0$  мм стойкость  $T_y = 613,7$  мин, а на режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,13$  мм / зуб,  $t = 1,5$  мм  $T_y = 2\ 816,2$  мин или отличается в 4,5 раза; для твердосплавных пластин B35 при  $h_{здоп} = 0,6$  мм на режимах резания  $v = 158,3$  м / мин,  $s_z = 0,21$  мм / зуб,  $t = 3,0$  мм  $T_y = 1\ 369,7$  мин, а на режимах резания  $v = 98,8$  м / мин,  $s_z = 0,21$  мм / зуб,  $t = 3,0$  мм  $T_y = 571,8$  мин — отличие в 2,4 раза.

**Заключение.** Метод АДУ апробирован в производственных условиях ряда машиностроительных предприятий Республики Беларусь (ОАО «Могилевский лифтостроительный завод», ОАО «Могилевский завод «Строммашина», ЗАО «Промлизинг», ОАО «Могилевский завод Электродвигатель», ОАО «СтанкоГомель», ОАО «Гомельский литейный завод «Центролит») и Российской Федерации (ЗАО «НИР» (Рыбинск), ОАО «Победит» (Владикавказ)) и др. Результаты апробаций показали, что упрочненный методом АДУ разнообразный по назначению инструмент, такой как пластины твердосплавные разных сплавов, ножи твердосплавные (для фрез торцовых), резцы прорезные напайные из сплава ВК8, фрезы твердосплавные для Т-образных пазов сплава Т15К6, пуансоны из стали У8, фрезы концевые твердосплавные, но работающий при ударных нагрузках, обеспечивает повышение стойкости в 1,2...3,8 раза по сравнению с неупрочненным инструментом.

#### Список цитируемых источников

1. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. ВУ 21049 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков ; дата публ.: 30.06.2017.
2. Шелег, В. К. Инновации при создании метода аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента / В. К. Шелег, А. Н. Жигалов // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 27—28 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т. — Брест : Изд-во БрГТУ, 2019. — С. 51—54.
3. Шелег, В. К. Исследование влияния метода аэродинамического звукового упрочнения на износ твердосплавного инструмента при фрезерной обработке материала из стали / В. К. Шелег, А. Н. Жигалов // Гор. механика и машиностроение. — 2019. — № 3. — С. 56—65.

УДК 621.1

**В. А. Козловский, Т. П. Литвинович, К. С. Винничек**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦЕЛЬНЫХ КРУГЛЫХ ПРОТЯЖЕК

**Введение.** Протягивание — одна из эффективных операций обработки материалов резанием, выполняемая режущим инструментом — протяжкой, обеспечивающая получение изделий высокой точности и качество обработанной поверхности. Процесс является высокопроизводительным, так как за один проход снимается весь припуск на обработку и выполняются операции черновые и чистовые.

Высокая стоимость инструмента и его сложность конструкции определяют область применения протяжек — массовое и крупносерийное производство. Однако применение протяжек дает значительный эффект на предприятиях с мелкосерийными даже единичным производством, если размеры и формы обрабатываемых поверхностей нормализованы, а также в случаях, когда протягивание — единственно возможный или наиболее экономичный способ обработки (вместо долбления и строгания).

**Основная часть.** Объектом исследования является круглая протяжка — многозубый инструмент с рядом последовательно выступающих друг над другом зубьев в направлении, перпендикулярном скорости главного движения резания, предназначенная для обработки сквозных отверстий. Режущая часть инструмента изготовлена из быстрорежущей стали Р6М5.

Круговая протяжка состоит из хвостовой части  $l$ , передней и задней направляющих  $D$ , режущей  $l_1$  и калибрующей  $l_2$  частей (рисунок 1).

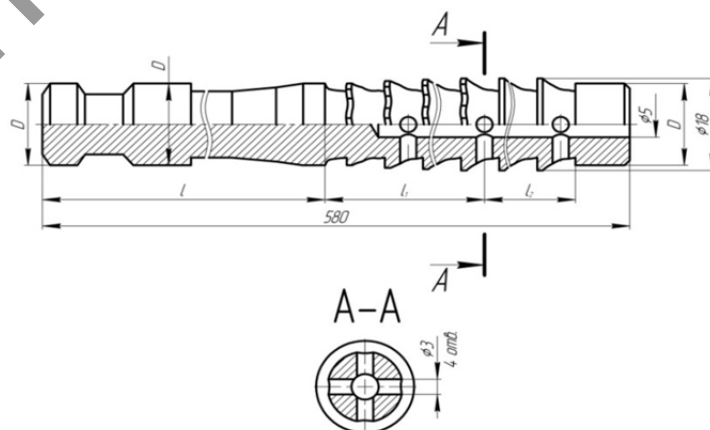


Рисунок 1 — Конструкция круглой цельной протяжки

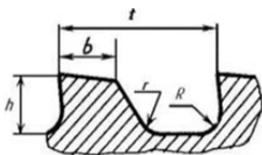


Рисунок 2 — Форма и размеры стружечных канавок удлиненной формы

Хвостовик служит для закрепления протяжки на станке. В зависимости от размера протяжек хвостовики бывают с круговой выточкой, с плоской опорной поверхностью или боковыми лысками. Передняя направляющая часть обеспечивает центрирование и направление протяжки при вхождении режущих зубьев в контакт с обрабатываемой заготовкой.

Рабочая часть протяжки может иметь черновые зубья, расположенные на режущей части, переходные и чистовые режущие, калибрующие и выглаживающие или деформирующие зубья выполняются на калибрующей части протяжки. Черновыми зубьями срезается основная часть припуска на протягивание. Наибольший подъем на секцию из двух-пяти черновых зубьев ( $S_{\text{черн}} = 0,3 \dots 1,2$  мм) принимается в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Чистовые зубья имеют малые подъемы ( $S_{\text{чист}} = 0,005 \dots 0,05$  мм), что обеспечивает низкую шероховатость протянутой поверхности. Число калибрующих зубьев (3...8) назначается в зависимости от требуемой точности и конструкции (толщины стенок) протягиваемой детали и типа протяжки [1].

Между зубьями расположены стружечные канавки. Форму и размеры зуба и стружечной канавки устанавливают исходя из условий возможности резания, образования и размещения стружки в канавке, а также прочности зуба. Канавки удлиненной формы (рисунок 2) применяют при обработке отверстий, прерывистых по длине, а также при большой длине протягивания. Ширина канавки и радиусы закруглений  $r$  и  $R$  зависят от высоты  $h$  и ширины  $b$  зуба, а также от шага  $t$  режущих зубьев.

При обработке глубоких отверстий под действием сил трения материалы заготовки и инструмента сильно нагреваются, поэтому требуется их охлаждение изнутри. Так как система охлаждения протяжных станков не может обеспечить такой процесс, то предлагаем вариант усовершенствования конструкции круглой протяжки.

Исследования проводились на ОАО «Барановичский завод автоматических линий» на горизонтально протяжном станке модели 7Б55. Для эксперимента была выбрана стандартная протяжка переменного резания (ГОСТ 20365-74) длиной 580 мм для обработки отверстия диаметром 18H7 (см. рисунок 1). Для подвода охлаждающей жидкости с правого торца был просверлен канал диаметром 5 мм на всю длину задней направляющей и режущей части протяжки. Через одну канавку под углом  $90^\circ$  сверлились по четыре отверстия диаметром 3 мм. Размеры канала и отверстий выбираются в зависимости от размеров протяжек. В четырех заготовках длиной 120 мм (материал — сталь 45) предварительно были просверлены сквозные отверстия диаметром 17,4 мм. Струя охлаждающей жидкости под давлением направлялась в канал и через отверстия равномерно охлаждала заготовку и инструмент, в результате чего уменьшалось трение и количество выделяемой теплоты. Наблюдения проводились визуально.

**Заключение.** Усовершенствованная конструкция круглой протяжки позволяет: увеличить стойкость инструмента и уменьшить количество переточек; повысить точность обработки (6...7 квалитет) и шероховатость обрабатываемых поверхностей  $Ra = 0,32$  мкм, а в отдельных случаях — 0,16 мкм; уменьшить нарост на режущих кромках; устранить брак по форме отверстия после его предварительного сверления; сократить расходы на эксплуатацию инструмента.

#### Список цитируемых источников

1. Литвинович, Т. П. Технология контроля станочных и слесарных работ : учеб. пособие для учащихся учреждений, обеспечивающих получение проф.-техн. образования по учеб. специальности «Механическая обработка металла на станках и линиях» / Т. П. Литвинович. — Минск : РИПО, 2008. — 440 с. : ил.

УДК 620.193

Н. Ю. Кондратчик, Е. А. Веремейко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛИ МАРОК 45 И 38ХНЗМФА

**Введение.** Коррозия металлов — разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. Наиболее часто при коррозии металл окисляется с образованием ионов металла, которые при дальнейших превращениях дают различные продукты коррозии. Коррозию металлов можно затормозить изменением потенциала металла, пассивацией металла, снижением концентрации окислителя, изоляцией поверхности металла от окислителя, изменением состава металла и др. Значительное влияние на коррозионную стойкость оказывает качество поверхности деталей: топография и геометрическая структура, наклеп [1].

**Основная часть.** В целях выявления закономерностей влияния окислительного изнашивания сталей марок 45 и 38ХНЗМФА на долговечность в процессе длительной эксплуатации были выполнены исследования коррозионной стойкости этих металлов в среде 10 %-ного раствора хлористого калия при температуре  $20^\circ\text{C}$  (рисунок 1).

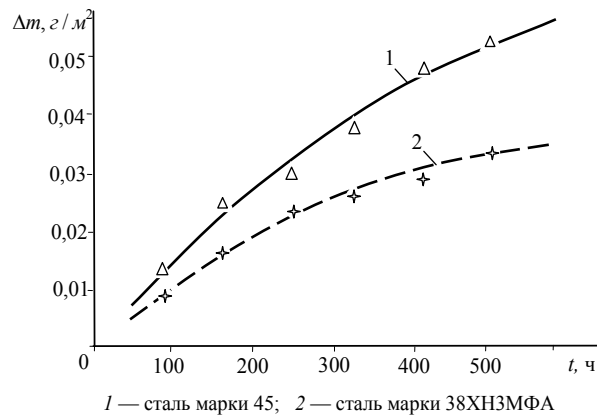


Рисунок 1 — Влияние времени выдержки в растворе хлористого калия на потерю массы сталей в результате коррозии

Испытания сталей на коррозионную стойкость показали, что по мере увеличения времени выдержки  $t$  в растворе КСl потеря массы  $\Delta m$  образца в результате окисления монотонно возрастает. Однако скорость протекания коррозии  $\Delta m / t$  с течением времени замедляется. Так, за первые 168 ч потеря массы стали 45  $\Delta m$  составляет  $0,0232 \text{ г/м}^2$ , за второй такой же период —  $0,0131 \text{ г/м}^2$ , а за третий —  $0,0110 \text{ г/м}^2$ .

Наличие хрома и никеля в составе стали 38ХНЗМФА обеспечивает ее более высокую стойкость к воздействию агрессивной среды. Так, обработка приведенных данных показывает, что легированная сталь в среднем на 23...33 % меньше теряет массу в процессе коррозии по сравнению со сталью 45. Такая разница обусловлена тем, что в результате взаимодействия с окислительной средой на поверхности стали 38ХНЗМФА образуется плотная пассивная пленка оксида хрома —  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , которая препятствует проникновению кислорода к металлу и снижает скорость окисления [2].

На поверхности стали 45 также образуется оксидная пленка, однако она легко разрушается и существенно не снижает скорость коррозии.

Для подтверждения достоверности данных зависимостей были проведены исследования коррозии стальных образцов по потере прозрачности раствора хлористого калия  $n$  (рисунок 2) [1].

Прозрачность 10 %-ного раствора КСl до начала испытаний принимали равной 100 %. Испытания показали, что по мере увеличения времени нахождения стали в растворе хлористого калия его прозрачность уменьшается вследствие загрязнения продуктами окисления металла. Более интенсивному повреждению подвергается сталь 45, так как прозрачность раствора, в котором она находилась, значительно ниже. Сталь марки 38ХНЗМФА в меньшей степени подвержена коррозии.

Для оценки вероятности протекания коррозии были проведены испытания по методу появления первого коррозионного очага [3, 4]. Этот метод включает регистрацию не только периода времени до появления первого коррозионного пятна, но и число центров коррозии за фиксированный период, а также площадь коррозионного очага (рисунок 3).

Установлено, что появление очагов коррозии на поверхности образца из стали 45 наблюдалось через 2 ч после помещения его в 10 %-ный раствор КСl, а на поверхности стали 38ХНЗМФА — только по истечении 7 ч. Суммарная площадь очагов коррозии на поверхности образца из стали 45 (ограничены пунктирными линиями)  $S \approx 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , а на поверхности легированной стали 38ХНЗМФА суммарная площадь пятен коррозии  $S \approx 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Степень поражения  $G$  поверхности стали 45 коррозией составила 36 % (см. рисунок 3, а), а поверхности стали 38ХНЗМФА — 26 % (см. рисунок 3, б). Соотношение показателей степени коррозии металлов (1,38:1) подтверждает приведенные выше данные, полученные методом потери массы образцов.

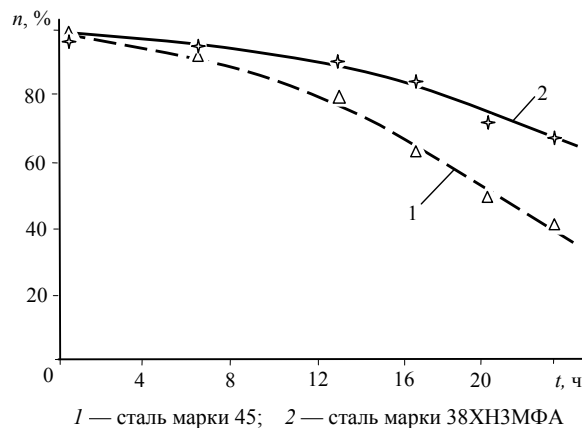


Рисунок 2 — Зависимости прозрачности 10 %-ного раствора хлористого калия от времени нахождения в нем стали

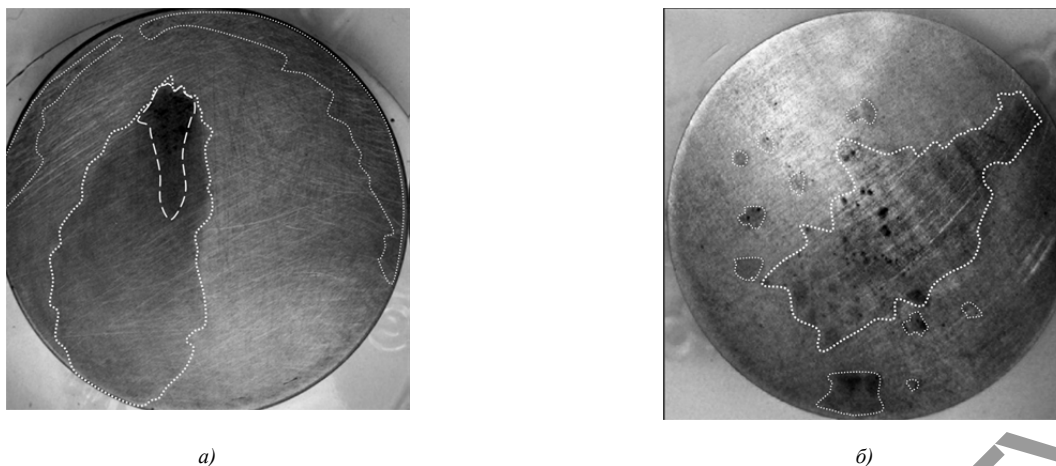


Рисунок 3 — Поверхности образцов из стали 45 через 2 ч (а) и из стали 38ХНЗМФА через 7 чв (б) после испытаний на коррозионную стойкость

Особенность стали 38ХНЗМФА заключается в том, что в отличие от равномерного поражения стали 45 на ее поверхности возникают многочисленные, слабо проявляющиеся центры коррозионного повреждения. Глубина коррозионных повреждений (толщина оксидной пленки) на этих пятнах значительно ниже, чем на стали 45.

**Закключение.** Хромоникелевая сталь 38ХНЗМФА в меньшей степени (на 23...33 %) подвержена коррозии по сравнению со сталью 45. Полученные данные позволяют полагать, что в процессе эксплуатации сталь 38ХНЗМФА должна менее интенсивно изнашиваться, чем сталь 45, благодаря более низкому вкладу окислительного изнашивания.

#### Список цитируемых источников

1. Прушак, В. Я. Коррозионная стойкость валков грануляционного аппарата для компактирования хлористого калия / В. Я. Прушак, Н. Ю. Кондратчик // Гор. механика и машиностроение. — 2019. — № 2. — С. 96—101.
2. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2003. — 784 с.
3. Данилов, В. А. Технология производства и ремонта горных машин и оборудования : в 2 т. / В. А. Данилов, В. Я. Прушак, Е. М. Найденышев. — Минск : Тэхналогія, 2007. — Т. 2 : Ремонт и испытания горных машин и оборудования. — 491 с.
4. Севостьянов, И. В. Теоретические и экспериментальные исследования пресс-валкового агрегата с предварительным уплотнением шихты : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / И. В. Севостьянов. — Белгород, 2000. — 212 с.

УДК 621.928.24

И. М. Корзун<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

## ВИБРАЦИОННЫЙ ГРОХОТ С ПРУЖИННЫМИ ПРОСЕИВАЮЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

**Введение.** Вибрационный грохот — это грохот с вибрационным приводом, который в отличие от жесткого кинематического привода называют динамическим (или силовым). Принципиальная особенность вибрационного грохота состоит в том, что характер колебательного движения, амплитуда и форма траекторий грохота определяются динамическими факторами — силовым воздействием, генерируемым приводом, числом и массой движущихся элементов, а также числом, расположением и характеристиками упругих элементов.

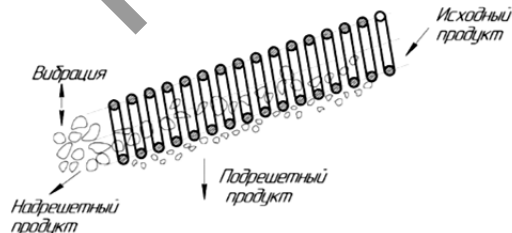


Рисунок 1 — Механизм просеивания материала при пружинном грохоте

**Основная часть.** В результате проведенного патентного и литературного анализа была спроектирована и разработана экспериментальная конструкция пружинного грохота, предназначенная для исследования процесса грохочения песка и других зернистых материалов по крупности от 0,5 до 5 мм. Рабочая поверхность выполнена в виде цилиндрической пружины (рисунок 1) со следующими техническими характеристиками: наружный диаметр пружины  $D = 50$  мм, диаметр сечения витков пружины  $d = 4$  мм, длина пружины  $l = 250$  мм.

Разработанный экспериментальный пружинный грохот (рисунок 2) имеет следующие технические характеристики [1]: угол наклона просеивающей поверхности к горизонту  $\alpha = 25^\circ$ ; частота вращения дибалансного вала  $n = 2\ 200$  об./мин; мощность электродвигателя  $N = 0,12$  кВт.

Конструкцию грохота, приведенную на рисунке 3, образуют вибропривод 1, амортизаторы 2, 3, короб 4, рама 5, пружинное сито 6 и загрузочный патрубок 7. Для изменения режимов работы предусмотрено устройство для регулировки угла наклона 8 и механизм 9 для регулирования границ разделений.

Пружинный грохот работает следующим образом. Включается вибропривод 1 и приводит в колебательное движение смонтированный посредством амортизаторов 2, 3 короб 4 на раме 5, в который помещена спиральная просеивающая поверхность 6 — винтовая пружина. Просеиваемая масса зернистых материалов подается в устройство для загрузки материала через загрузочный патрубок 7 и далее внутрь пружинной просеивающей поверхности 6. Просеивание материала осуществляется за счет того, что просеивающая поверхность 6, смонтированная в коробе 4 с продольным пазом, установленным с определенным углом наклона к горизонту, изменяемым с помощью устройства для регулировки угла наклона 8, совершает вместе с материалом интенсивные колебания и имеет необходимый зазор между витками пружины 6, через которые выходит подрешетчатая фракция зернистого материала. Зазор между витками пружины изменяется механизмом регулировки границ разделения 9. Надрешетчатый продукт удаляется из полости пружинного рабочего органа 6 через его свободный конец [2].

Для просеивания большого объема материала разработана конструкция рабочего оборудования промышленного пружинного грохота, представленного на рисунке 4, а, его рабочее оборудование, выполненное в виде набора цилиндрических пружин, приведено на рисунке 4, б.

Конструкция пружинного грохота для разделения сыпучего материала содержит устройство для загрузки материала 1, винтовые просеивающие поверхности 2, выполненные по меньшей мере из одного ряда параллельных между собой винтовых цилиндрических пружин, свободно установленных на поддерживающих стержнях 4 с помощью поддерживающих втулок на коробе 5, связанных с приводом колебательных движений 3. Нижние концы винтовых цилиндрических пружин закреплены на подвижной торцевой стенке 7, которая снабжена механизмом перемещения относительно их центральных осей и механизмом фиксации 8 к коробу 5. Вся конструкция смонтирована на коробе 5, который установлен посредством амортизаторов 6 на опорном основании.

Особенностью конструкции пружинного грохота является возможность выполнения многоярусной схемы, при которой просеивающая поверхность состоит из большого набора пружин, что позволит повысить производительность и уменьшить его габариты [2].



Рисунок 2 — Экспериментальная конструкция пружинного грохота

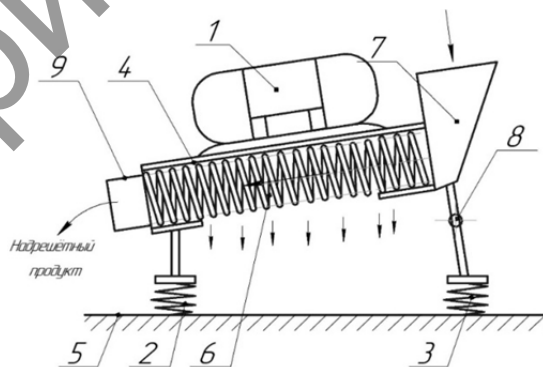
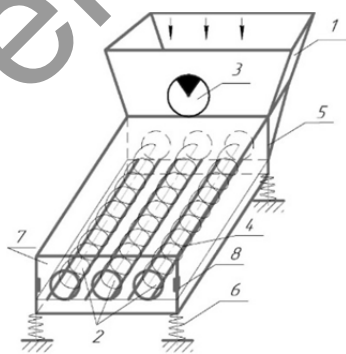


Рисунок 3 — Конструктивная схема экспериментального пружинного грохота



а)



б)

а — конструкция рабочего оборудования; б — набор пружин

Рисунок 4 — Конструкция пружинного грохота секционного типа

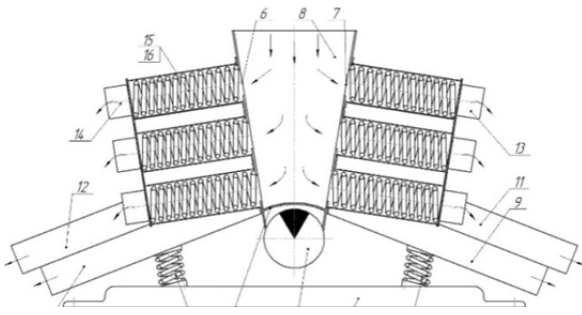


Рисунок 5 — Общий вид пружинного грохота

возможности проектировать высокопроизводительные агрегаты с многоуровневым расположением пружинных сит и решать вопросы их практического использования.

Для просеивания большого объема материала нами разработана конструкция промышленного пружинного грохота, общий вид которого представлен на рисунке 5. Грохот включает в себя опорную раму 1, на которую посредством пружинных амортизаторов 3, 4 устанавливается короб 2 с дебалансным виброприводом 5, два его борта 6, 7 образуют боковые стенки бункера 8 для приема горной массы, причем по бортам 6, 7 короба 2 с его внешних сторон расположены лотки 9, 10 и 11, 12 соответственно для отвода из рабочих зон мелкой и крупной фракций после процесса разделения материала на пружинным просеивающих поверхностях 15. Для изменения границы разделения и компенсации износа витков пружин предусмотрены устройства 13 и 14 для регулирования межвитковых зазоров. Фиксированная установка пружин 15 в каждом из бортов 6, 7 обеспечивается с помощью стержней 16, на которые они укладываются параллельными рядами и фиксируются устройствами 13, 14.

Перед началом работы грохота пружинные рабочие органы 15 регулируются на заданную границу разделения. Далее включается дебалансный вибропривод 5 и за счет создаваемой им вынуждающей силы приводит в колебательные движения установленный на раме 1 посредством пружинных амортизаторов 3, 4 короб 2. Посредством механического питателя в бункер 8 подается гранитный отсев, который через окна на бортах 6, 7 поступает во внутренние полости вибрирующих пружин, где происходит его разделение на нужные фракции, причем мелкая фракция проходит между витками и сыпается на лотки 9, 10, а крупная проходит внутренние полости пружин и с их торцов выгружается на лотки 11, 12. Отсортированный таким образом материал поступает на соответствующие конвейеры и далее транспортируется к местам складывания.

В представленной конструкции грохота реализована многоуровневая схема установки пружинных просеивающих элементов, что позволяет повысить производительность установки в разы и уменьшить ее габаритные размеры.

**Заключение.** Наиболее рациональными областями применения приведенных пружинных грохотов можно считать тонкое грохочение с границами разделения 0,5...3 мм, в том числе для подготовки компонентов для производства различных видов строительных материалов, переработки гранитного отсева, сортировка гранитного отсева (камнедробление), разделение горнохимического и горнорудного сырья по фракциям, приготовление составляющих асфальтобетонных смесей и т.д. По мнению авторов, наибольшая эффективность в Республики Беларусь пружинных грохотов может быть использована в циклах обогащения ПО «Беларуськалий».

#### Список цитируемых источников

1. Сиваченко, Л. А. Обоснование основных подходов вибрационных грохотов / Л. А. Сиваченко, И. М. Корзун // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2018. — № 6. — С. 75—80.
2. Корзун, И. М. Экспериментальные исследования рабочего процесса пружинного грохота / И. М. Корзун, Л. А. Сиваченко // Горн. механика и машиностроение. — 2019. — № 2. — С. 34—41.
3. Сиваченко, Л. А. Вибрационные пружинные грохоты: конструкция, расчет, технологическая эффективность / Л. А. Сиваченко, О. В. Голушкова. — Могилев : Препринт : Бел.-Рос. ун-т, 2006. — 42 с.

УДК 621.92

М. П. Купреев<sup>1</sup>, Л. В. Судник<sup>2</sup>, К. Ф. Рудницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель

<sup>2</sup> Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», Минск

## АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ

**Введение.** Исследованию вопроса повышения эффективности обработки деталей из труднообрабатываемых материалов шлифованием посвящены многие работы. При шлифовании труднообрабатываемых сталей и сплавов эффективно использование абразивного инструмента из карбида кремния на керамической связке [1]. Коэффициент шлифования таким инструментом повышается в 1,4...1,5 раза, а стойкость по количеству

обработанных изделий увеличивается в 1,2...1,3 раза при использовании шлифовальных кругов из смеси карбида кремния различных зернистостей (100, 63 и 25) при их соотношении в масс. % 40,8...43,6, 18,4...19,6, 8,8...9,6 соответственно [2]. Круги, изготовленные из предлагаемой смеси, имеют пятую структуру и более рациональную упаковку зерен, что позволяет повысить эксплуатационные показатели при обработке труднообрабатываемых изделий.

Общим недостатком инструментов из карбида кремния на керамической связке является низкая механическая прочность, что приводит к их повышенному износу при шлифовании, снижению производительности и малой стойкости инструмента. Это объясняется тем, что керамическая связка не реакционно способна к карбидокремневым зернам, которые к тому же имеют гладкую поверхность и более широкие углы режущих граней, что отрицательно сказывается на характере удержания зерна в черепке инструмента. Зерна карбида кремния удерживаются лишь за счет механического заклинивания в связке.

В работе [3] предлагается повысить прочность абразивного инструмента из карбида кремния за счет введения в абразивную массу адгезионно-активных к керамической связке абразивных частиц наполнителя, например электрокорунда зернистостью 25 и 16 вместо зерен карбида кремния зернистостью 25 в тех же объемных пропорциях. При этом отношение объемов частиц наполнителя по их размерам равно отношению объемов карбида кремния смежных зернистостей. Использование частиц наполнителя двух зернистостей дает более рациональную упаковку зерен карбида кремния как зернистостью 100, так и зернистостью 63. С введением адгезионно-активных частиц наполнителя повышается механическая прочность инструмента и улучшается закрепление зерен карбида кремния в связке за счет армирования мостиков связки и в целом черепка инструмента частицами наполнителя. Частицы наполнителя также играют роль опоры зернам карбида кремния и являются своеобразными их зажимами. Это повышает качество инструмента и производительность шлифования.

Одним из путей повышения эффективности абразивной обработки труднообрабатываемых сталей является увеличение структуры абразивного инструмента. Так, на ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ» для высокоточной шлифовки распределительных дисков, блоков цилиндров и других деталей используются высокопористые шлифовальные круги фирмы Rappold Winterthur с параметрами 11C120H15VP. Они изготавливаются из карбида кремния зернистостью 80...120 мкм (F80, F120), имеют высокую пористость (15 структура), очень мягкие — *H* (M1). Эти круги хорошо зарекомендовали себя в работе. Структура круга 11C120H15VP представлена на рисунке 1. Этот круг состоит из зерна зеленого карбида кремния зернистостью F80, керамической связки и пор размером 0,8...1,0 мм. Расстояние между порами 0,4...1,2 мм.

**Основная часть.** Представленные данные свидетельствуют о перспективности исследований по совершенствованию абразивного инструмента для труднообрабатываемых сталей с использованием карбида кремния. Оработка технологии проводилась на примере изготовления и испытания чашечного шлифовального круга ЧЦ 60 × 50 × 25, аналогичного по размерам кругу 11C120H15VP. Для исследований выбрана абразивная масса, состоящая из зерна электрокорунда, карбида кремния и органического наполнителя разной зернистости.

Анализ структуры круга 11C120H15VP показал, что большое применение в промышленности имеют крупнопористые абразивные инструменты, общая объемная пористость которых может быть от 35 до 70 %, а величина пор — от 0,5...1,0 мм и более. В связи с этим для исследования выбран порошок электрокорунда зернистостью F60 (250 мкм) и порошок карбида кремния F46 (320 мкм), а в качестве выгорающего наполнителя — новый органический наполнитель с размером частиц 320...630 мкм. Размер частиц наполнителя больше размера абразивного зерна в 1,5...2 раза, что позволяет получить высокопористый абразивный материал.

На рисунке 2 представлен образец экспериментального шлифовального чашечного круга ЧЦ 60 × 48 × 25 25A F60 64C F46 15V из электрокорунда 25A зернистостью F60 (250 мкм), изготовленного с введением в формовочную массу 43...50 % (по массе) карбида кремния 64C и 10...15 % (по массе) и нового порообразующего органического наполнителя с размером частиц 320...630 мкм. Все круги не разрушились и не деформировались во время сушки и последующего обжига при скорости подъема температуры во время обжига 70 °С в час до 1 050 °С.

В таблице 1 представлены характеристики и результаты производственных испытаний абразивных кругов, изготовленных из порошка электрокорунда 25A, в зависимости от содержания в формовочной массе карбида кремния 64C, керамической связки и нового органического порообразующего наполнителя с размером частиц 0,32...0,63 мм.

Из таблицы видно, что при содержании связки более 14 % шлифовальные круги получаются мягкими и сыпятся. Наилучшие эксплуатационные свойства имеют круги, изготовленные из шихты, содержащей 14 % (по массе) керамической легкоплавкой связки и 10 % (по массе) нового порообразующего наполнителя. В процессе работы они не засаливаются, не сыпятся и обеспечивают достаточно большую глубину резания.



Рисунок 1 — Структура круга 11C120H15VP



Рисунок 2 — Высокопористый экспериментальный шлифовальный круг ЧЦ 60 × 50 × 25 25A F60 C64 F46 15V

Т а б л и ц а 1 — Характеристики и режущие свойства абразивных кругов, изготовленных из порошка электрокорунда 25А, в зависимости от содержания в формовочной массе карбида кремния 64С, керамической связки и нового органического порообразующего наполнителя с размером частиц 0,32...0,63 мм

Опыт	Содержание электрокорунда 25А F25 в формовочной массе, масс. %	Содержание карбида кремния 64С F46 в формовочной массе, масс. %	Содержание керамической связки в формовочной массе, масс. %	Содержание порообразователя в формовочной массе, масс. %	Номер структуры	Характеристика работы при обработке деталей
1	57	43	15	12	15	Сыпется
2	50	50	13	15	15	Работает при глубине шлифования до 0,08 мм
3	50	50	14	10	10	Работает хорошо, не сыпется и не засаливается

Режущая способность и производительность указанных инструментов значительно выше обычных кругов из электрокорунда. Кроме того, высокопористый абразивный инструмент с карбидом кремния и обрабатываемый материал при работе нагреваются меньше, вследствие чего не наблюдается прижогов по обрабатываемой поверхности.

В результате микроскопических исследований установлено, что при содержании наполнителя в формовочной массе до 12 % поры от него (после выгорания) занимают меньший объем, чем абразивное зерно, а ширина стенок между порами превышает их размеры. При содержании наполнителя в формовочной массе свыше 16 % после его выгорания ширина стенок между порами соответствует или меньше размерам пор. Абразивный материал приобретает при этом очень развитую губчатую структуру. Крупные поры в полученных крупнозернистых абразивах заключены между стенками из абразивно-керамической массы (шлифзерно, скрепленное связкой). Наличие крупных пор и губчатая структура инструмента позволяют обрабатывать им такие материалы, как резина, пробка, кожа, войлок, а также мягкие горные породы и металлы, которые или совсем не могут обрабатываться обычными кругами, или обрабатываются плохо.

**Заключение.** В процессе исследований решен комплекс задач, необходимых для изготовления абразивного инструмента с высокими режущими свойствами, связанный с использованием нового порообразующего наполнителя и легкоплавкой керамической связки.

Изучено влияние состава абразивной массы на прочностные и режущие свойства шлифовальных кругов на легкоплавкой керамической связке из смеси электрокорунда и карбида кремния при обработке легированных сталей. Установлено, что при температуре обжига 1050 °С карбид кремния окисляется незначительно и абразивный инструмент характеризуется высокой режущей способностью при содержании в шихте до 10 масс. % выгорающего органического порообразователя.

Изготовлены опытные образцы высокопористых шлифовальных кругов из смеси электрокорунда и карбида кремния, проведено их испытание на ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ».

#### Список цитируемых источников

1. Преимущества кругов из карбида кремния зеленого на адгезионно-активной связке при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов / В. А. Смирнов [и др.] // Физико-химические явления при шлифовании : сб. докл. — Киев, 1976. — С. 56—61.
2. Шлифовальные круги из смеси абразивных материалов : а. с. № 1526968 СССР : МКИ4 В24Д3/14 ; 1989 ; бюл. № 45.
3. Абразивный инструмент : пат. 2215643 РФ / В. М. Шумячер, В. А. Назаренко, С. А. Крюков, И. В. Дуличенко ; 2003 ; бюл. № 31.

УДК 621.793

М. А. Леванцевич, Л. Л. Сотник, И. А. Козловский, А. С. Столяров, А. А. Голушко  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА-ДОНОРА И СЛОЯ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО ДЕФОРМАЦИОННЫМ ПЛАКИРОВАНИЕМ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Введение.** Известно, что формирование антифрикционных покрытий на рабочих поверхностях трущихся деталей является эффективным технологическим приемом, используемым для улучшения работоспособности подвижных сопряжений. При этом предпочтение отдается композиционным покрытиям, содержащим в матричном материале легирующие добавки компонентов металлического (медь, бронза, олово и др.) и неметаллического

ского (графит, дисульфид молибдена, фторопласт и др.) происхождения, в том числе наноразмерного уровня. Например, введение в состав электрохимических покрытий порошка ультрадисперсных алмазов детонационного синтеза способствует диспергированию кристаллов осаждаемого металла и насыщению покрытия сверхтвердыми частицами. В результате износостойкость, микротвердость, адгезия покрытий и их коррозионная стойкость существенно повышаются [1].

Улучшение триботехнических свойств пар трения скольжения при формировании покрытий методом деформационного плакирования гибким инструментом (далее — ДПГИ), где слой покрытия на поверхности детали формируется за счет переносимых ворсом вращающейся металлической щетки (ВМЩ) микрочастиц материала-донора, имело место и при формировании покрытий из композиционных доноров, полученных путем спекания порошковых смесей на основе меди и бронзы с легирующими добавками порошков графита и алмазно-графитной шихты — УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства НПО «Синта» (Беларусь) [2]. Однако до настоящего времени не проводилось сопоставление химических составов материалов доноров и сформированных из них методом ДПГИ покрытий, что затрудняет как количественную оценку перенесенных ворсом ВМЩ легирующих элементов, так и прогнозную оценку эксплуатационных свойств сформированных слоев покрытий.

Цель исследований заключалась в сравнительной оценке и сопоставлении химических составов композиционного материала-донора и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия.

*Методика исследований.* Анализ химического состава материала-донора, а также сформированного методом ЭДПГИ из этого материала слоя покрытия проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения Vega фирмы Tescan (Чехия) с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с использованием детектора вторичных электронов (SE) и детектора обратно отраженных электронов (BSE).

При этом для изучения химического состава слоя покрытия использовались прямоугольные пластинки размером  $20 \times 50 \times 3$  мм из стали 45 (HRC 43...50) на одной из поверхностей которых методом ДПГИ формировали покрытия (рисунок 1, б) с толщиной слоя 10...12 мкм из донора, представляющего собой композит на основе бронзы Бр05С5Ц5Гр1ДМ0,5 (рисунок 1, а), полученный путем спекания смеси порошков меди (83,5 %), с легирующими добавками олова (5 %), свинца (5 %), цинка (5 %) и компонентов твердой смазки — графита (1 %) и дисульфида молибдена (0,5 %).

Формирование покрытий осуществляли с использованием цилиндрической щетки диаметром 200 и шириной 30 мм (производства фирмы OSBORN, Германия) с ворсом из гофрированной стальной проволоки. Вылет и диаметр ворса щетки составляли 30 и 0,25 мм соответственно. Линейная скорость вращения щетки — 32...35 м / с. Число проходов — 8 при натяге ворса щетки к поверхности образца 1,0 мм.

Химический состав поверхностных слоев оценивался при анализе предварительно зафиксированного рентгенофлуоресцентного спектра, полученного при облучении поверхности образцов потоком высокоскоростных электронов и регистрации спектра детектором энергодисперсионного спектрометра. Качественный (наличие определенных химических элементов на исследуемой поверхности) и полуколичественный (процентное содержание найденных химических элементов, определенных методом фундаментальных параметров, без использования стандартных образцов состава) анализ химического состава осуществлялся с использованием специализированного программного обеспечения, поставляемого совместно с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 [3].

Сопоставление химических составов материала-донора и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия показало, что медь (матричный материал спеченного композита), а также легирующие добавки на основе металлов (цинк, олово, свинец) и неметаллов (графит и дисульфид молибдена) идентифицируются как в доноре, так и в покрытии (таблица 1).

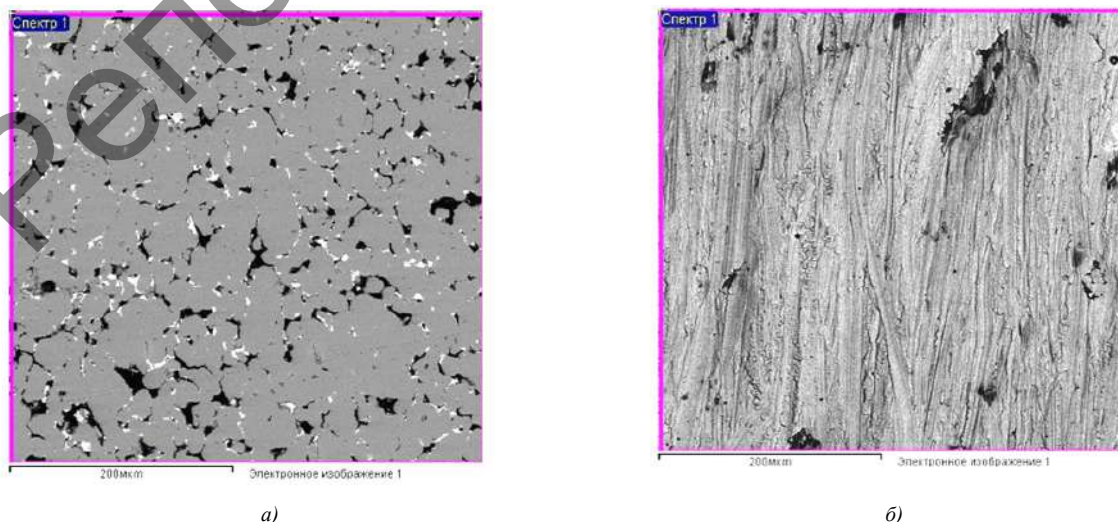


Рисунок 1 — СЭМ-изображение поверхности материала донора (а) и сформированного из этого материала поверхности покрытия (б)

Т а б л и ц а 1 — Химический состав материала-донора Бр05С5Ц5Гр1ДМ0,5 и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия

Материал	С	О	Fe	S	Cu	Zn	Mo	Sn	Pb
Донор	17,31			0,35	70,55	4,75	0,55	3,54	2,95
Покрытие	3,18	3,1	7,52		73,92	5,02	0,52	3,33	3,41

При этом количественное соотношение меди, олова и дисульфида молибдена примерно одинаковое. Некоторое превышение содержания меди, цинка, свинца, а также пониженное содержание углерода (графита) в слое покрытия, по-видимому, связаны с особенностями как процесса спекания материала донора, так и процесса формирования слоя покрытия ворсом ВМЩ.

Наличие железа (Fe) в слое покрытия объясняется известными данными о том, что в процессе плакирования в состав покрытия неизбежно привносятся как частички материала ворса щетки, так и частички материала стальной основы образца. В то же время механизм попадания кислорода (О) в слой плакированного покрытия пока не нашел достаточных объяснений.

**Заключение.** При формировании антифрикционных покрытий методом ДПГИ из композиционных материалов-доноров входящие в их состав легирующие добавки как металлического, так и неметаллического происхождения переносятся ворсом ВМЩ в состав слоя сформированного покрытия примерно в одинаковом количестве, что создает хорошие предпосылки для улучшения его эксплуатационных свойств за счет подбора составов и количества легирующих элементов при изготовлении материалов доноров.

#### Список цитируемых источников

1. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий / В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат // Сверхтвердые материалы. — 2000. — № 1. — С. 84—95.
2. Триботехнические свойства тонких металлических покрытий с наноразмерными наполнителями / П. А. Витязь [и др.] // Трение и износ. — 2004. — Т. 25, № 6. — С. 593—601.
3. Лосев, Н. Ф. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа / Н. Ф. Лосев, А. Н. Смагунова — М.: Химия, 1982. — 207 с.

УДК 621.926

О. И. Наливко<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОВОЛОЧНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Введение.** Анализ развития технических систем для дезинтегральной обработки дисперсных материалов показывает, что главными факторами, определяющими их эффективность, являются способность воздействовать на исходные системы по методу индивидуального зерна и создание в них максимальных контактных напряжений, что обеспечивается корреляцией размеров разрушаемых объектов и измельчительных органов [1].

Важным свойством для измельчительного оборудования нового поколения является обеспечение их адаптивности к переработке различных по своим характеристикам сред.

Учитывая предыдущие исследования [2; 3], одним из вариантов технического решения некоторых проблем измельчения механическим способом может быть использование в качестве измельчающих элементов упругих стержней, концы которых, с одной стороны, жёстко закреплены, а с другой — осуществляют воздействие на обрабатываемый материал торцевыми частями консольных концов.

Ближайшими конструктивными аналогами являются широко применяемые в технике щётки и иглофрезы. Их основная функция состоит в реализации сдвиговых воздействий на обрабатываемые поверхности для их очистки, снятия поверхностных слоев материала или финишной отделки. По доступной информации использование щёточного и иглофрезерного инструментов для изготовления измельчительных устройств промышленного назначения не найдено.

**Основная часть.** На основании теоретических исследований и с использованием методов моделирования была разработана конструкция валкового измельчителя, схема которого приведена на рисунке 1.

Предлагаемая конструкция способствует повышению эффективности рабочего процесса путём увеличения зоны измельчения материала и применения щеки с возможностью регулирования зазора в зоне обработки.

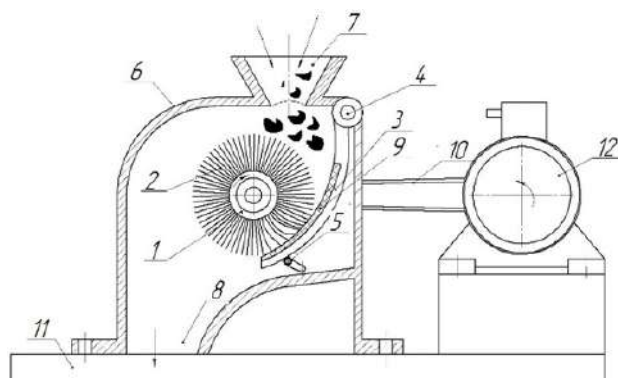


Рисунок 1 — Схема валкового измельчителя

Валковый измельчитель, установленный на раме 11, включает в себя два основных рабочих звена — вращающийся ротор 1 с проволоочными элементами 2 и щеку 3, охватывающую часть наружной поверхности ротора. Щека 3 своим верхним концом смонтирована на оси 4, контакт осуществляется в рабочей части щеки 9. Рабочее оборудование смонтировано в корпусе 6, имеющем люки 7, 8 для загрузки и выгрузки материала. Регулирование прижима щеки к вращающему ротору обеспечивается регулирующим устройством 5. Вращение ротора осуществляется посредством электродвигателя 12 через клиноременную передачу 10. Рабочую поверхность щеки 9 желательнее выполнять сменной для уменьшения материальных затрат [4].

В качестве рабочего органа предлагается применение известных металлических однорядных цилиндрических щёток. Важным фактором в пользу использования именно такого рабочего органа является то, что это освоённые промышленностью изделия, они широко применяются в различных технологиях и отличаются высокой износостойкостью, простотой эксплуатации и самоочищаемостью. Для увеличения производительности рекомендуется применять наборы из цилиндрических щёток.

Для практического использования нас будут интересовать цилиндрические щётки. Применительно к процессам измельчения эти рабочие органы должны претерпеть определенные изменения, которые мы постараемся сформировать в концентрированном виде. Для этого сведём их в таблицу 1.

Для изготовления стержневых элементов используется проволока стальная углеродистая пружинная по ГОСТ 14959-79 марок 51ХФА, 60С2А, 65С2ВА, 70С3А с пределом прочности 1 200...1 300 Мпа.

Из технологических параметров проволоочных рабочих органов прежде всего следует выделить окружную скорость вращения и натяг, т. е. величину деформации рабочей поверхности, а из эксплуатационных — долговечность [4—6].

Предполагаемые параметры иглофрезерных рабочих органов для промышленных измельчителей основаны на экспертных оценках авторов и будут корректироваться в процессе их проектирования. В качестве объектов заимствования, например, у ведущих фирм-производителей — «Осборн», «Лессман» (ФРГ) — приняты геометрические параметры, принципы конструирования составных щёток и некоторые аспекты технологии изготовления. В определенной степени выбор параметров для рабочих органов иглофрезерных измельчителей нами учтён из эксплуатации чесальных и других машин, применяемых в легкой промышленности.

Приведем характеристики износа дисковой жгутовой щётки фирмы «Лессман» в условиях постоянного контакта с истирающей поверхностью (таблица 2).

Т а б л и ц а 1 — Сравнительные характеристики проволоочных рабочих органов для металлообработки и измельчения материалов

Параметр	Металлообработка	Измельчение
Плотность проволоочного ворса	0,2...0,3 (щетки), 0,4...0,89 (иглофрезы)	0,2...0,5
Диаметр единичных проволок, мм	0,1...1,0	0,4...3,0 (12)
Свободная длина проволоочного ворса, мм	12...30 (щетки), 30...75 (иглофрезы)	30...120 (300)
Диаметр рабочей поверхности, мм	50...400	200...400 (700...1 000)
Длина рабочей поверхности, мм	20...100/20...200	100...500 (3 000)
Натяг, мм	0,2...6	-6 + 3 (50)
Окружная скорость вращения, м / с	0,8...2,2 (иглофрезы), 10...60 (зачистка)	3...60 (100)
Долговечность, ч	50...400	> 400

Примечание. Значение параметров в скобках относится к созданию прогнозируемых объектов.

Т а б л и ц а 2 — Результаты износа жгутовой щётки фирмы «Лесман»

Время, мин	Диаметр, мм	Вес, г	Износ, %	Обрыв опасных провочек длиной, см	
				> 3	> 2
0	200,0	901	0	—	—
10	196,8	857	11	4	0
20	194,5	836	16	0	3
30	192,5	817	21	0	3
40	186,9	782	30	2	2
50	180,7	740	40	1	5
60	174,4	696	51	3	10
70	160,5	633	67	6	22
80	148,2	569	83	3	29
90	141,2	529	93	0	10
100	134,2	499	100	0	6

**Заключение.** Принимая во внимание данные износа, можно сделать вывод, что применение данных щёток возможно для процесса измельчения в предложенной конструкции.

Решение практических задач по созданию крупногабаритных иглофрезерных рабочих органов требует пересмотра как собственно их конструкции, так и технологии изготовления, что необходимо организовывать на специализированном производстве. Создание новых конструкций иглофрезерных рабочих органов для технологических аппаратов промышленного назначения позволит не только сформировать новый класс оборудования, но и обеспечит отечественный приоритет на рынке его продаж.

#### Список цитируемых источников

1. *Зубаков, А. П.* Вальцевый пресс с протяженной зоной уплотнения материала и съемными формующими элементами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.13 / А. П. Зубаков ; БГТАСМ. — Белгород, 2002. — 24 с.
2. Иглофрезерный измельчитель : пат. 31143 Kaz по заявке № 2015/0303.1 / Л. А. Сиваченко, С. Ж. Барирова, Т. Л. Сиваченко ; дата публ.: 16.05.2016.
3. К выбору рациональной схемы иглофрезерного измельчителя для комплексной переработки неоднородных и сложных по составу и свойствам материалов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов : межвуз. сб. ст. / Л. А. Сиваченко [и др.]. — Белгород : БГТУ, 2017. — С. 228—234.
4. *Матчак, А. Я.* Металлические проволочные щётки для отделочно-затирочных работ / А. Я. Матчак, С. В. Заковырик, Л. Г. Одинцов // Вестн. машиностроения. — 1989. — № 7. — С. 51—53.
5. *Гавриленко, И. Г.* Силовые параметры вращающихся проволочных щёток / И. Г. Гавриленко // Станки и инструменты. — 1975. — № 12. — С. 29—30.
6. *Баршай, И. Л.* Формирование качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при иглофрезеровании и комбинированной обработке иглофрезерованием и поверхностным пластическим деформированием / И. Л. Баршай, В. К. Шелег, Е. Э. Фельдштейн. — Минск : БНТУ, 2009. — 231 с.

УДК 62-23

**О. И. Наливко<sup>1</sup>, Л. Л. Сотник<sup>1</sup>, И. О. Волостных<sup>1</sup>, С. И. Ханин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Введение.** Появление компьютерной техники и развитие вычислительной математики обусловили серьезные изменения традиционных подходов к инженерным расчетам. Системы инженерного анализа (Computer-aided Engineering, CAE) прочно заняли свое место в машиностроительном проектировании. Типичная схема использования таких систем в рамках концепции автоматизированного проектирования предусматривает создание электронной модели проектируемого изделия. Эта электронная модель отражает требуемые конструктивные характеристики изделия (геометрические, механико-физические и т. п.) и является главным источником

проектной информации об изделии. В последние годы в качестве такой модели выступают трехмерные твердотельные и поверхностные геометрические модели проектируемых изделий или их двумерные аналоги [1].

Проектирование элементов привода рабочих машин является немаловажной задачей как на машиностроительных предприятиях, так и в учебном процессе. При изучении ряда дисциплин общенаучного профиля (механика материалов, детали машин и т. д.) приходится прибегать к достаточно сложным расчетам, которые можно упростить при помощи современных средств системы автоматизированного проектирования (САПР). При изучении учебной дисциплины «Детали машин» и выполнении курсового проекта немаловажную часть расчетов занимает раздел «Расчет валов». Данные расчеты опираются на материал как самой дисциплины, так и на знания, полученные при изучении таких дисциплин, как материаловедение, теоретическая механика и механика материалов. Современные средства САПР позволяют упростить выполнение данных расчетов путем компьютерного моделирования.

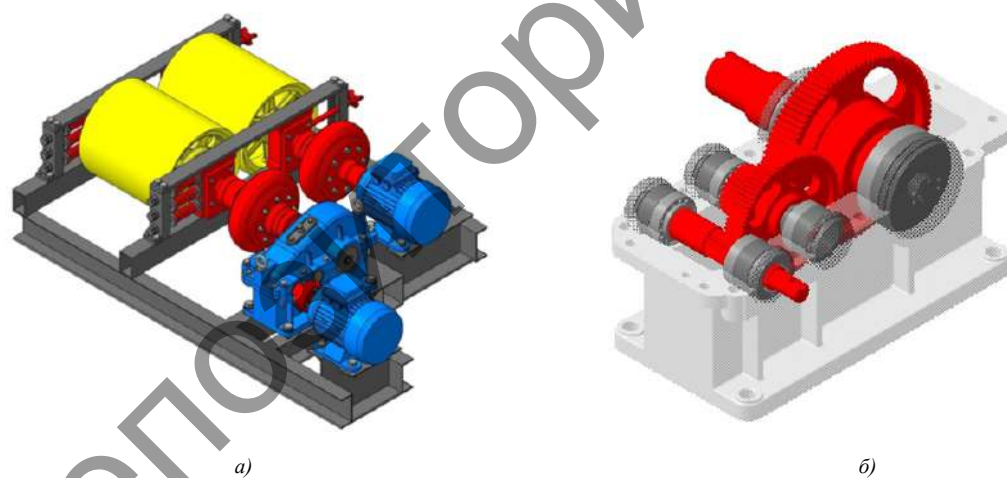
**Основная часть.** В данном исследовании произведен анализ напряжений и деформаций детали «Вал» (рисунок 1, б) [2], входящей в редуктор привода (см. рисунок 1, а), с помощью системы прочностного анализа ARMFEM, интегрированной САПР КОМПАС-3D.

Конечно-элементный (статический) анализ позволяет осуществлять расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил. На сегодня это наиболее востребованная в проектировании задача. С помощью него пользователь может оценить прочность разработанной им конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее слабые места конструкции и внести необходимые изменения в (оптимизировать) изделие. При этом между трёхмерной моделью изделия и расчётной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исходной твёрдотельной модели автоматически переносятся на сеточную конечно-элементную модель [1].

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние детали «Вал» (рисунок 2, а) при нагружении силами, согласно принятым параметрам привода.

Создаем сетку детали (см. рисунок 2, б). Далее выбираем необходимый материал детали — сталь 40Х — и выполняем генерацию конечно-элементной сетки (КЭ-сетки).

Генерация КЭ-сетки производится автоматически с помощью команды «Генерация КЭ-сетки» на панели инструментов «Разбиение и расчет» при этом система автоматически определяет и соединяет совпадающие поверхности [3].



а — модель привода рабочей машины; б — редуктор с исследуемым валом

Рисунок 1 — Схема нагружения вала и конечно-элементная сетка

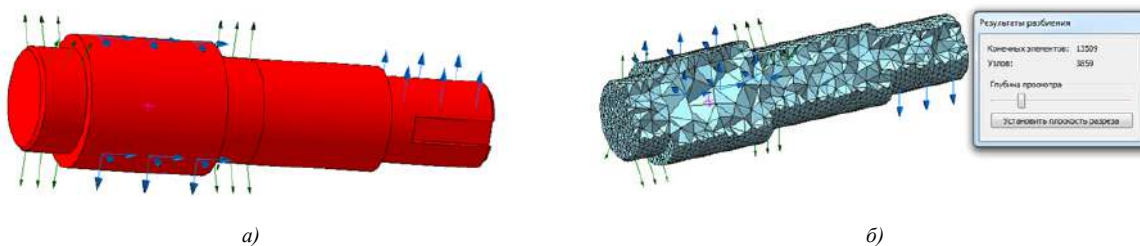


Рисунок 2 — Схема нагружения вала и КЭ-сетка

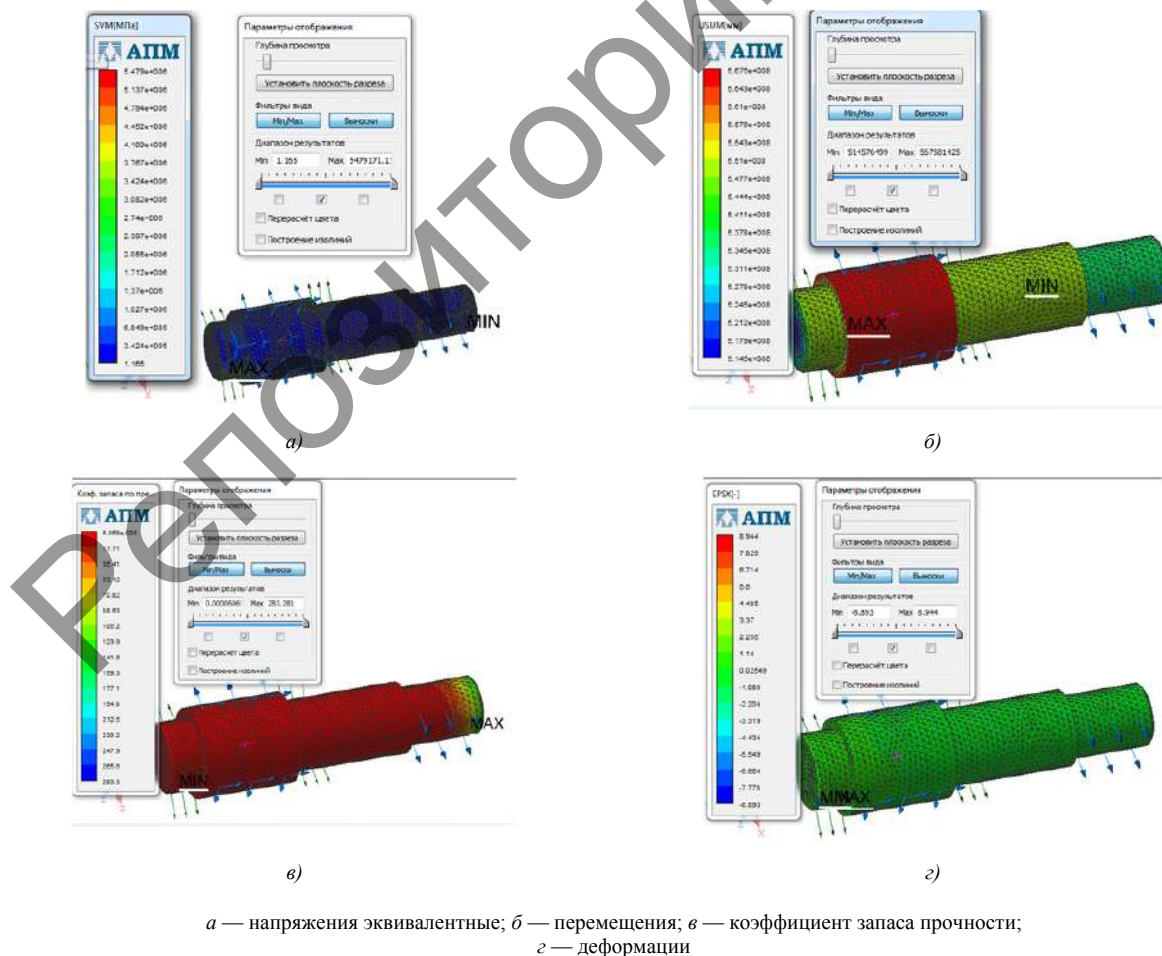
В качестве типа конечного элемента были использованы 4-узловые тетраэдры, что позволяет по сравнению с 10-узловыми увеличить скорость выполнения расчетов при обеспечении достаточной точности расчёта. Далее следует задать параметры сетки, которыми являются максимальная длина стороны элемента, максимальный коэффициент сгущения на поверхности и коэффициент разрежения в объеме. Параметры и результаты разбиения 3D-модели на конечные элементы представлены в таблице 1.

Подготовительные работы для расчета закончены, далее производим сам расчет при помощи команды «Анализ-Расчет». По завершении расчета мы получаем четыре вида силовых эпюр анализируемой детали (рисунок 3).

Проведенный анализ показывает напряжения и деформации вала, входящего в редуктор привода рабочей машины. Максимальное эквивалентное напряжение (по Мизесу) составило 5,4 МПа, что при выбранном материале обеспечивает минимальный запас прочности. Максимальное напряжение возникает в местах закрепления. Диаграмма перемещений показала, что максимальное перемещение возникает на поверхности детали, наибольшему перемещению подвергается центральная часть рассматриваемого вала. Анализ диаграммы прочности показал, что исследуемая деталь способна выдержать прилагаемые нагрузки значительно больше расчетных. Диаграмма деформаций показала, что при данных нагрузках деталь практически не деформируется, что является хорошим показателем при эксплуатации.

Т а б л и ц а 1 — Параметры КЭ-сетки и результаты разбиения

Параметр	Значение параметра
Максимальная длина стороны элемента, мм	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1
Коэффициент разрежения в объеме	1,5
Количество конечных элементов	13 509
Количество узлов	3 859



а — напряжения эквивалентные; б — перемещения; в — коэффициент запаса прочности; г — деформации

Рисунок 3 — Карта результатов конечно-элементного анализа

**Заключение.** Проведенный конечно-элементный анализ позволяет получить результаты оценки напряжений, перемещений, коэффициента запаса прочности и деформаций и тем самым автоматизировать проектирование элементов привода. Проведение расчетов по представленной методике позволяет не только сократить время на расчеты, но и подобрать оптимальные конструктивные параметры элементов привода.

#### Список цитируемых источников

1. T-Flex анализ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.directorinfo.ru/article.aspx?id=7973&iid=318>. — Дата доступа: 05.10.2019.
2. Волостных, И. О. Анализ нагружения эксцентрикового вала вибровалкового измельчителя / И. О. Волостных, Л. Л. Сотник, О. И. Наливо // Содружество наук. Барановичи-2019 : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Барановичи, 16 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 116—118.
3. АРМ FEM система прочностного анализа для КОМПАС-3D / Научно-технический центр «Автоматизированное Проектирование Машин». — М., 2014. — С. 22.

УДК 621.785.532

М. В. Нерода<sup>1</sup>, С. А. Саханько<sup>2</sup>, А. С. Осташко<sup>2</sup>, Ю. П. Нерода<sup>2</sup>, Д. В. Калоша<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест  
<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ТЕХНОЛОГИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДИСКОВЫХ НОЖЕЙ

**Введение.** В технике, связанной с переработкой пищевой промышленности, используются ножи с клиновидной заточкой, в том числе дисковые ножи. Повышение стойкости таких ножей является важной задачей, так как позволяет экономить материальные и трудовые ресурсы.

Из большого многообразия методов повышения работоспособности режущих инструментов следует выделить методы химико-термической обработки, которые в последние годы находят все более широкое применение.

Одной из современных технологий, позволяющей заметно (в несколько раз) повысить износостойкость режущего инструмента, является ионно-плазменное азотирование (далее — ИПА) [1; 2]. Процесс ИПА реализуется при температурах 450...600 °С в газовой среде, состоящей из азота, аргона и водорода. Свойства упрочненного слоя (твердость приповерхностного слоя до  $HV\ 1\ 100$ , его глубина до 0,4...0,5 мм, профиль микротвердости по глубине и другие характеристики) зависят от химического состава стали или чугуна и управляются благодаря возможности управления процессом насыщения изменением параметров процесса [3].

**Основная часть.** Целью работы являлось исследование влияния режимов ИПА обеспечивающих требуемую твердость режущей части дискового ножа, используемого для резки куриных желудков. Материал, из которого изготовлен дисковый нож, — сталь 18ХГТ. Химический состав стали 18ХГТ представлен в таблице 1.

Азотирование образцов проводилось на установке плазменного азотирования государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (рисунок 1).

Т а б л и ц а 1 — Химический состав стали 18ХГТ

Показатель	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Fe
Содержание химического элемента в стали, %	0,17...0,23	0,17...0,37	0,8...1,1	До 0,3	До 0,035	До 0,035	1,0...1,3	0,03...0,09	До 0,3	~96



Рисунок 1 — Установка ИПА



Рисунок 2 — Микроскоп металлографический  
МЕТАМ ЛВ-32 (Ю-33.25.416)

Данная установка состоит из рабочей вакуумной камеры, шкафа управления, системы откачки, системы водяного охлаждения, соединительных кабелей и магистралей. Рабочая камера состоит из неподвижного основания, на котором установлены: система охлаждения с прибором управления температурой рабочей камеры, манометр давления воды в системе питания и манометр рабочего давления камеры, в которой производится обработка деталей. На дверце камеры имеется смотровое окно со шторкой, на крышке — узел подвеса и магистраль подачи рабочих газов, к задней стенке подведена магистраль откачки газов. Управление работой установки и контроль за ходом процесса осуществляются автоматически посредством специализированного контроллера, расположенного на стенке шкафа управления.

Для измерения микротвёрдости образца был применён портативный цифровой твердомер МЕТ-УДА. В данном методе твердость определяется электронным способом посредством измерения изменения ультразвуковой частоты по шкале Роквелла.

Измерение и изучение характеристик модифицированного азотного слоя, а также его распределение проводилось с использованием металлографического микроскопа МЕТАМ ЛВ-32 (Ю-33.25.416) при увеличении в 500 раз (рисунок 2).

Основным показателем физико-механических свойств после ИПА является твердость поверхностного слоя.

В таблице 2 представлены данные измерения твердости поверхности опытных образцов ножей после ИПА.

Режимы азотирования, при которых обеспечивается требуемая твердость рабочих поверхностей дисковых ножей, содержат выдержку в два этапа: прогрев в смеси в камере 50 %  $N_2$  + 50 %  $Ag$ ; температура азотирования 500 °С при концентрации азота 35 %; предельное напряжение 600 В; предельный ток 20 А; нагрев в течение 7 часов до рабочей температуры; остывание в камере до температуры 50 °С.

Т а б л и ц а 2 — Результаты исследования твердости поверхности дискового ножа

Образец	Твёрдость, <i>HRC</i>			
	до азотирования		после азотирования	
	Значение	Среднее значение	Значение	Среднее значение
1	43,4	42,0	67,3	68,9
	42,3		67,8	
	40,1		70,1	
	42,5		70,6	
2	41,5	41,9	71,2	67,7
	42,1		67,2	
	43,2		67,3	
	41,1		65,2	
3	41,2	42,2	65,3	65,1
	43,4		64,8	
	42,1		62,7	
	42,3		67,8	
4	43,4	42,3	71,0	66,5
	41,4		69,5	
	42,3		68,6	
	42,3		67,8	

**Заключение.** Промышленные испытания показали, что после обработки методом ИПА удалось увеличить стойкость дисковых ножей для резки куриных желудков в 2,5 раза.

#### Список цитируемых источников

1. Пастух, И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. — Харьков : ННЦ ХФТИ, 2006. — 361 с.
2. Бикин, Х. М. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика / Х. М. Бикин, И. И. Ляпилин. — Екатеринбург : УрО РАН, 2009.
3. Поболь, И. Л. Методы высокоэнергетической обработки материалов. Опыт освоения в промышленности / И. Л. Поболь // Вестн. Бр. гос.-тех. ун-та. — 2018. — № 4. — С. 64.

УДК 620.178

С. Р. Онысько

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА НА ПРОЦЕСС ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЯ ШТАМПОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Введение.** Многообразие форм и размеров изготавливаемых деталей машин и механизмов требует различных типов штампов и характерного режущего инструмента. Несмотря на устоявшиеся технологии их изготовления, существует необходимость в совершенствовании некоторых элементов оборудования [1] в связи с появлением новых материалов, скоростных методов их обработки, а также предъявляемых требований к качеству обрабатываемых изделий. Это приводит к необходимости более рационально подбирать комплектующие детали для процесса штамповки или повысить срок службы за счет нанесения на поверхность инструмента упрочняющих покрытий, качественно работающих в условиях знакопеременных ударных нагрузок [2; 3]. Одной из операций штамповки является пробивка, имеющая цель получить в вырубленной детали отверстия путем отделения при помощи пробивного штампа части материала по замкнутому контуру.

**Основная часть.** В рассматриваемой работе примером операции штамповки является деталь «Тяга» (рисунк 1) из стали 20 (ГОСТ 1050-88), изготавливаемая на машиностроительном предприятии ОАО «Брестмаш», которая входит в сборочную единицу «Шарнир», используемую практически во всех газовых плитах различных модификаций в странах ближнего и дальнего зарубежья для крепления, открытия и закрытия дверки духовки.

Технология изготовления детали «Тяга» состоит из двух операций: вырубной и зачистно-пробивной. Формирование требуемых размеров осуществляется с использованием различного штампового инструмента (круглых пуансонов — пробивка двух отверстий диаметрами  $4,1^{+0,1}$  мм,  $4,15^{+0,05}$  мм и одного отверстия диаметром  $6,20^{+0,05}$  мм, одного прямоугольного — для пробивки паза, а также фасонного пуансона для зачистки рабочего контура детали). Особую трудность в достижении технических требований конструкторской документации вызывает операция пробивки двух отверстий меньшего диаметра, так как в 40 % случаях выход оснастки из строя происходит из-за поломки пробивных пуансонов диаметром  $4,16_{-0,01}$  мм.

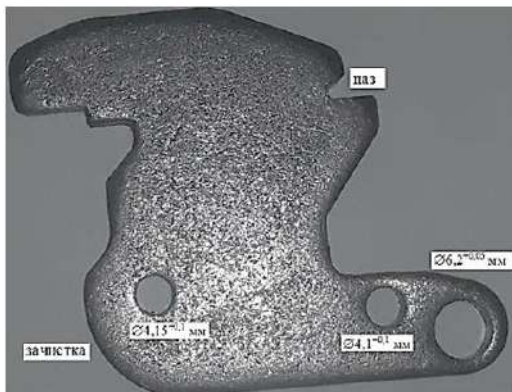


Рисунок 1 — Формируемая деталь в процессе штамповки

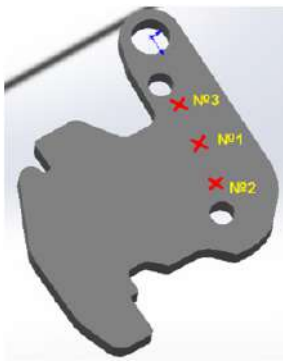


Рисунок 2 — Точки измерения твердости в детали

В процессе работы пробивного инструмента проводились выборочные измерения твердости по методу Бринелля пробиваемых деталей (через 500 пробивок) в трех характерных точках: в центральной части и возле пробиваемых отверстий  $\varnothing 4,1$  мм,  $\varnothing 4,15$  мм (рисунок 2), а также контролировалась толщина готового изделия при помощи микрометра (0...25). Измерение толщины готового изделия после процесса штамповки показало, что она изменяется в пределах 3,87...4,02 мм, что является допустимым при дальнейшем использовании данной детали в конечном изделии.

В процессе измерения твердости был зафиксирован разброс данных в пределах от 176 до 229 HB (рисунок 3) при требуемой твердости не менее 207 HB. Количество контролируемых деталей составляло 28 штук.

Была проведена проверка, превысит ли математическое ожидание выборки пробиваемого изделия отклонение твердости в 5 % от требуемого. Крайнее значение отклонения твердости составило 196,65 HB. Для проверки этой гипотезы использовался критерий Стьюдента, для которого данные должны иметь нормальное распределение [4]. Для проверки на нормальность распределения использовался критерий согласия Пирсона  $\chi^2$ . Гипотеза не отклоняется, если значение  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$  [5], а  $\chi^2$  вычисляется по формуле

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - P_i(\theta))^2}{P_i(\theta)},$$

- где  $k$  — количество интервалов;  
 $n$  — количество элементов в выборке;  
 $n_i$  — количество элементов в  $i$ -м интервале;  
 $P_i(\theta)$  — вероятность попадания в интервал.

Полученное значение  $\chi^2 = 1,85$ . При числе степеней свободы 27 и уровне значимости  $\alpha = 0,01$  величина  $\chi_{кр}^2 = 47$ . Полученное значение  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ , следовательно, можно считать выборку нормальной.

Для проверки гипотезы, используя критерий Стьюдента, была рассчитана  $t$ -статистика по формуле

$$t = \frac{\bar{X} - m}{s_x / \sqrt{n}},$$

- где  $\bar{X}$  — среднее значение;  
 $m$  — математическое ожидание;  
 $s_x$  — несмещенная оценка дисперсии;  
 $n$  — количество элементов в выборке.

Полученное значение  $t$ -статистики  $t$  составило  $-2,2849$ . Для принятия гипотезы абсолютное значение  $t$ -статистики не должно превышать  $t_{кр}$ . При числе степеней свободы 27 и уровне значимости  $\alpha = 0,01$   $t_{кр} = 2,7707$ , что больше  $t$ .

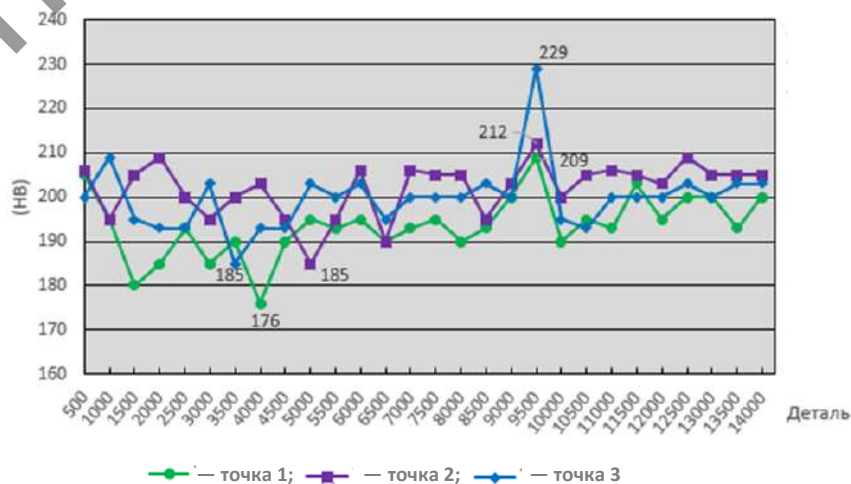


Рисунок 3 — Значение твердости в характерных точках пробиваемой детали

**Заключение.** Согласно полученным результатам, хотя и существует разброс по твердости обрабатываемого материала, однако математическое ожидание значения твердости в пробиваемой детали не превышает допустимого отклонения в 5 %, ее изменение в процессе пробивки отверстий существенным образом не влияет на прочностные характеристики используемого штампового инструмента.

#### Список цитируемых источников

1. Сорокин, Г. М. Виды износа при ударном контактировании поверхностей / Г. М. Сорокин // *Машиноведение*. — 1974. — № 3. — С. 89—94.
2. Нанесение упрочняющих композиционных покрытий системы Zr-C-N на пуансоны / С. Р. Онысько [и др.] // *Порошковая металлургия* : Респ. межведомств. сб. науч. тр. — Минск, 2009. — С. 224—231.
3. Износостойкие нанокристаллические покрытия для штамповой оснастки / Н. М. Чекан [и др.] // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов* : сб. науч. тр. : в 3 кн. / Физ.-техн. ин-т НАН Беларуси ; редкол. : А. В. Белый [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2014. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 6—15.
4. Хейфец, М. Л. Математическое моделирование технологических процессов / М. Л. Хейфец. — Новополоцк : ПГУ, 1999. — 104 с.
5. Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении : справ. пособие / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. — Минск : Выш. шк., 1985. — 286 с.

УДК 621.926

В. А. Потапов<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

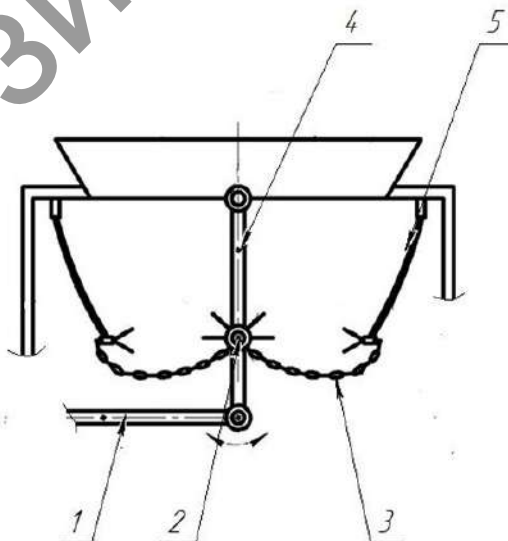
<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

### ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЦЕПНЫХ АГРЕГАТОВ

**Введение.** Первичная переработка материалов карьерной влажности сопряжена со значительными трудностями, обусловленными главным образом адгезией влажных материалов к рабочим поверхностям технологических машин.

К таким материалам относится сырьё для производства цемента и извести (мел, мергель), карьерная глина, доломиты, трепел, торф, шлаки, уголь и др.

Для повышения эффективности процесса первичной переработки таких материалов предложена конструкция многоцелевого цепного агрегата (рисунок 1).



1 — шатун; 2 — толкающая штанга; 3 — цепное полотно; 4 — маятниковый рычаг; 5 — эластичные стенки

Рисунок 1 — Схема рабочего оборудования цепного агрегата [1]



Рисунок 2 — Цепной агрегат с двухволновой рабочей камерой и верхним подвесом маятниковых рычагов (вид сбоку) [2]

Представим цепной агрегат с двухволновой рабочей камерой и верхним подвесом маятниковых рычагов (рисунок 2).

Конструкция опытного образца разработана на основе анализа большого числа технических решений цепных измельчителей, в необходимой степени учитывает весь цикл выполненных ранее поисковых исследований и отражает потенциальные возможности по переработке сложных и неоднородных материалов [3; 4].

**Основная часть.** Одной из проблем при разработке конструкции подобных агрегатов является проектирование рабочих органов, которые должны эффективно взаимодействовать с перерабатываемым материалом.

При разработке конструкции элементов рабочих органов подобных агрегатов возникает сложность в выборе их оптимальной формы, которая позволит эффективно взаимодействовать с материалом.

Проведенные ранее исследования в области создания цепных агрегатов, представленные в работе [5], показывают, что процесс, происходящий в зоне переработки материалов, имеет относительно сложный характер, соударение материала о рабочие органы носит вероятностный характер (рисунок 3).

Моделирование элементов рабочих органов цепных агрегатов может быть осуществлено на базе аналитических, численных и имитационных методов.

Для исследования сложных объектов и процессов построение математических моделей часто оказывается невозможным из-за необходимости принятия существенных допущений и ограничений, а анализ созданных моделей даже численными методами — нерезультативным ввиду неустойчивых погрешностей аппроксимации и округлений.

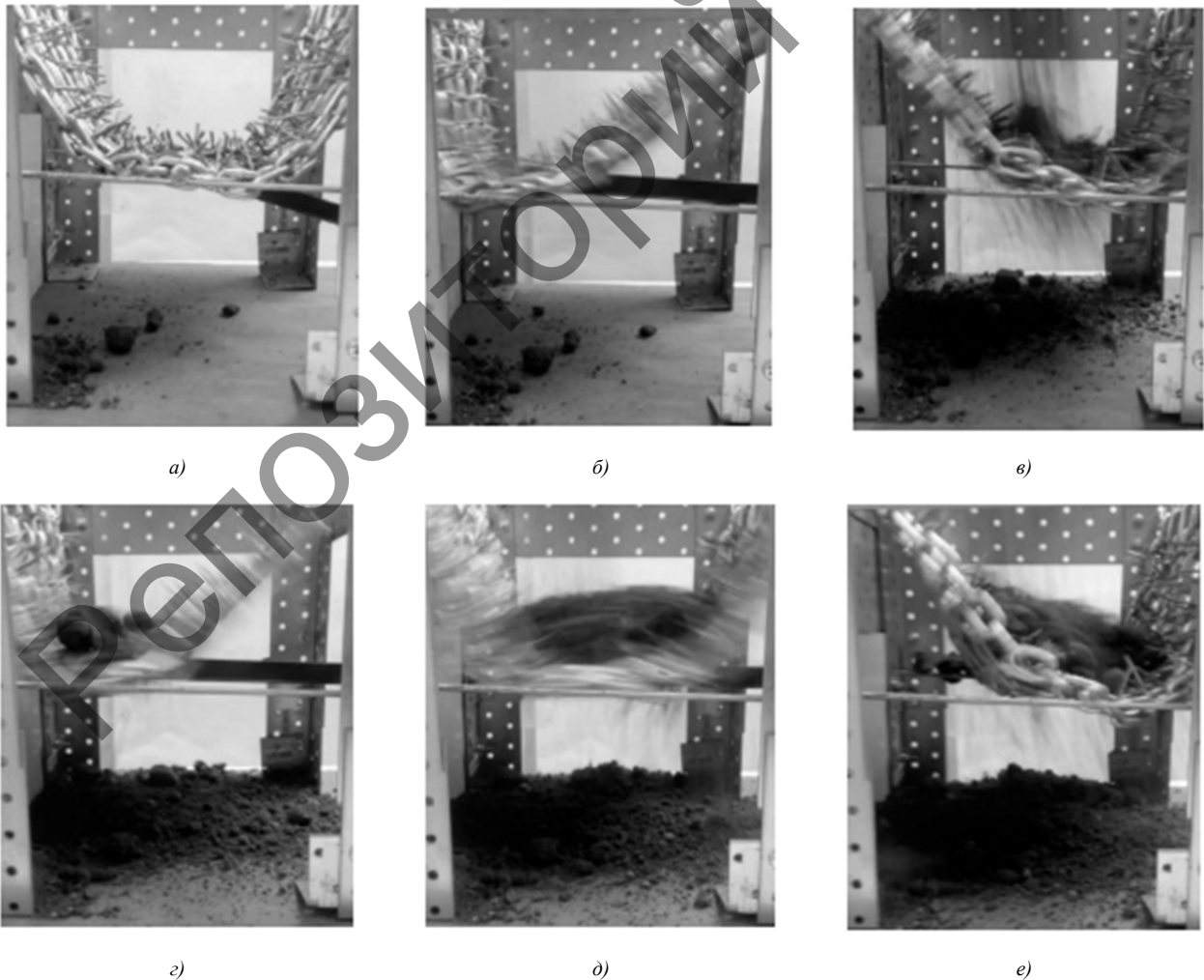


Рисунок 3 — Кинограмма процесса измельчения на опытном образце [5]



ж)



з)



и)

Окончание рисунка 3

В таких случаях широкое применение находят модели, представляющие собой содержательное описание объектов исследования в форме алгоритмов, в которых отражаются как структура исследуемого объекта, что достигается отождествлением его элементов с соответствующими элементами алгоритмов, так и процессы функционирования объекта во времени, представляемые в логико-математической форме. Модели такого типа называются имитационными [6].

Имитационное моделирование может быть использовано в целях постановки виртуальных экспериментов на компьютере, анализа и оценки функционирования объекта.

Для этих целей планируется использовать программу LS-DYNA. Данная программа предназначена для решения трёхмерных динамических нелинейных задач механики деформируемого твёрдого тела, механики жидкости и газа, теплопереноса и др. [7].

Применение данной программы широко используется при проектировании рабочих органов сельскохозяйственных машин, а именно рассмотрение процесса взаимодействия рабочих органов с грунтом, так как программа имеет в библиотеке модели свойств геологических материалов, а также существует возможность создания специальных моделей свойств материалов, что при решении нашей задачи является важной положительной особенностью программы.

**Заключение.** Применение имитационного моделирования в программе LS-DYNA позволит провести ряд виртуальных экспериментов для выявления зависимостей влияния формы элементов рабочих органов цепного агрегата на переработку материалов и позволит подобрать их оптимальную форму для конкретного вида материала, а также установить зависимость влияния амплитуды и частоты колебаний толкателя на разрушение материала, выявить зоны интенсивного разрушения.

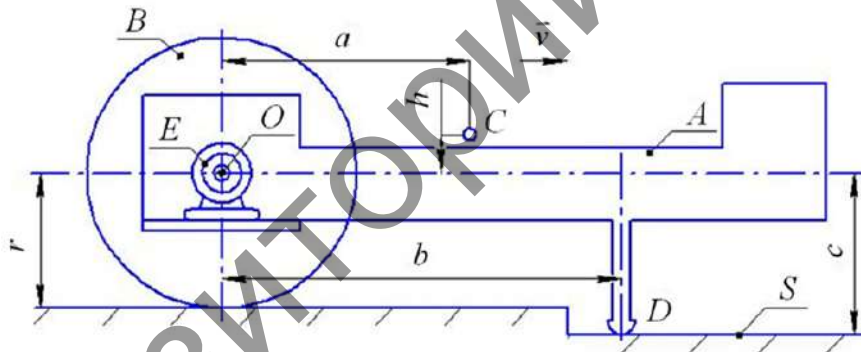
#### Список цитируемых источников

1. *Потапов, В. А.* Рабочее оборудование цепного агрегата для переработки сложных и неоднородных материалов / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко, М. С. Кузьменкова // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожных и строительных отраслях : материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2019. — С. 174—182.
2. *Потапов, В. А.* Сравнительный анализ конструкций рабочей зоны цепных измельчителей / В. А. Потапов, Л. А. Сиваченко // Техника и технологии: инновации и качество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Барановичи, 20 дек. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. ; редкол.: В. В. Климук (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.) [и др.]. — Барановичи : БарГУ, 2019. — С. 121—123.
3. Проблемы переработки влажных сырьевых материалов и пути их решения / Л. А. Сиваченко [и др.] // Инженер-механик. — 2015. — № 1. — С. 16—20.
4. *Сиваченко, Л. А.* Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2016. — № 1. — С. 78—86.
5. *Сиваченко, Л. А.* Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие / Л. А. Сиваченко, А. М. Ровский, И. А. Реутский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2014. — № 1. — С. 78—86.
6. *Войнов, К. Н.* Имитационное моделирование в теории и на практике : учеб.-метод. пособие / К. Н. Войнов. — СПб. : НИУ ИТМО : ИХиБТ, 2014. — 67 с.
7. LS-DYNA [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LS-DYNA>. — Дата доступа: 09.10.2019.

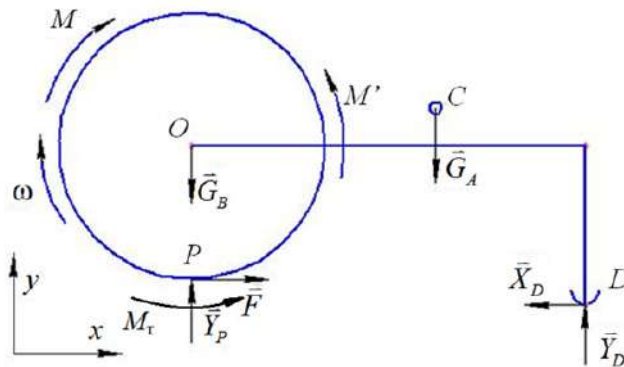
УПЛЫЎ ТРЭННЯ КАЧЭННЯ НА МЕХАНІЧНЫЯ ХАРАКТАРЫСТЫКІ РУХУ  
МАБІЛЬНАЙ СІСТЭМЫ

**Уступ.** Мэта даследавання — ацаніць уплыў трэння качэння на параметры руху мабільнай механічнай сістэмы (машыны). Яе спрошчаная мадэль прадстаўлена на рысунку 1. Мабільная сістэма складаецца са станіны  $A$  масы  $m_A$  з рабочым органам  $D$ , кола  $B$  масы  $m_B$  і электрарухавіка  $E$ , маса якога далучана да целаў  $A$  і  $B$  і ўлічана ў значэннях  $m_A$ ,  $m_B$ . Момент, ствараемы рухавіком, на рысунку 1 абазначаны літарай  $M$ . Разліковая схема сістэмы прадстаўлена на рысунку 2, дзе  $M_T$  — момант трэння качэння. Аб паходжанні назвы сістэмы і яе прызначэнні напісана ў работах [1—3], працягам якіх з’яўляецца дадзенае даследаванне.

**Асноўная частка.** У працэсе работы машыны выдзяляецца некалькі характэрных яе станаў. Пасля ўключэння рухавіка ствараемы ім момант за прамежак часу  $\tau$  узрастае ад нуля да стартавага (пачатковага) значэння  $M_p$ . Пры  $t = \tau$  пачынаецца рух мабільнай сістэмы ў пераходным рэжыме працягласцю  $t = \tau_y$ ; пры гэтым яе скорасць узрастае ад нуля да некаторага ўсталяванага значэння  $v_y$ . Далей рух машыны працягваецца з пастаяннай скорасцю  $v_y$ . Падчас руху магчыма зніжэнне скорасці да велічыні  $\mu v_y$ , дзе  $\mu < 1$  — каэфіцыент зніжэння ўсталяванай скорасці. Разглядаюцца два рэжымы тармажэння: тармажэнне рухавіком і з дапамогай адмысловай тармазной сістэмы. Аднавідныя ім тармазныя шляхі будзем абазначыць праз  $s_1$ ,  $s_2$ . Для мабільнай машыны дамінуючае значэнне мае яе манеўравасць, якая залежыць ад такіх характарыстык, як  $M_p$ ,  $v_y$ ,  $\tau_y$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ . У машынах рознага прызначэння дамінуюць розныя характарыстыкі. Атрыманія ва ўпамянутых работах [1—3] тэарэтычныя залежнасці паміж інерцыйнымі, дынамічнымі і кінематычнымі параметрамі дазваляюць на пачатковай стадыі праектавання мабільных машын устанавіць патрэбныя аптымальныя характарыстыкі іх руху.



Рысунк 1 — Агульны выгляд мабільнай механічнай сістэмы



Рысунк 2 — Разліковая схема мабільнай сістэмы

Прыводзім некаторыя з атрыманых суадносін:

$$M_{II} = a_2 / a_1; v_y = \frac{D_1}{k^2}; \tau = \frac{b_1}{b_2} \ln\left(\frac{b_3}{b_3 - b_2 M_{II}}\right); s_1 = \gamma_1 v_y, s_2 = \gamma_2 v_y^2. \quad (1)$$

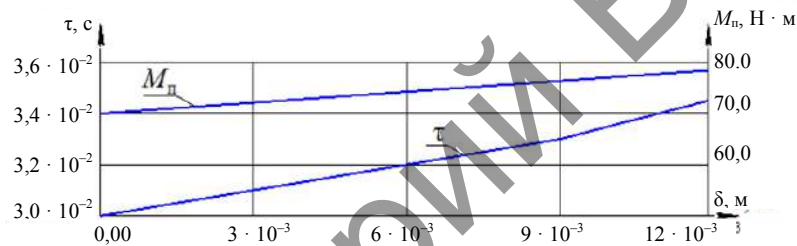
Механічная характарыстыка  $M(t)$  рухавіка  $E$  задаецца дыферэнцыяльным ураўненнем

$$b_1 \frac{dM}{dt} + b_2 M = b_3 - \alpha \omega. \quad (2)$$

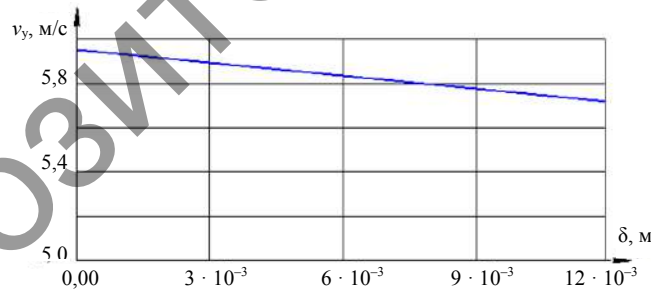
У формулах (1) і (2) прыняты абзначэнні:  $a_1 = \frac{d}{r} + f - \frac{\delta}{r}$ ;  $a_2 = (f m_A + \frac{\delta}{r} m_B) g \alpha$ ;  $a_3 = m_{np} d - (f - \frac{\delta}{r}) m_A h$ ;  
 $m_{np} = m_A + \left(1 + \frac{i_\xi^2}{r^2}\right) m_B$ ;  $d = b - fc$ ;  $k = \sqrt{\alpha a_1 / r a_3 b_1}$ ;  $D_1 = (a_1 b_3 - a_2 b_2) / a_3 b_1$ ;  $\gamma_1 = \sqrt{\left[(1 - \mu^2) r b_1 / \alpha\right] (a_3 / a_1)}$ ;  
 $\gamma_2 = \sqrt{\left[(1 - \mu^2) / 2\right] (a_3 / a_2)}$ ;  $\delta$  — каэфіцыент трэння качэння кола  $B$ ;  $b_1, b_2, b_3, \alpha$  — пастаянныя параметры;  $\omega$  —  
 вуглавая скорасць кола  $B$ ;  $f$  — каэфіцыент трэння слізгання на апоры  $D$ ;  $a, b, c, r, h$  — геаметрычныя параметры  
 мабільнай сістэмы (гл. рысунак 1);  $i_\xi$  — радыус інерцыі кола  $B$ ;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Канкрэтызуюем параметры сістэмы кг:  $m_A = 40$  кг;  $m_B = 90$  кг;  $r = 0,45$  м;  $i_\xi = 0,4$  м;  $f = 0,4$  м;  $a = 1,6$  м;  
 $h = 0,1$  м;  $b = 1,7$  м;  $c = 0,6$  м;  $\alpha = 3,5$ ;  $b_1 = 2,28 \cdot 10^{-2}$ ;  $b_2 = 0,20$ ;  $b_3 = 60$ ;  $\mu = 0,9$ .

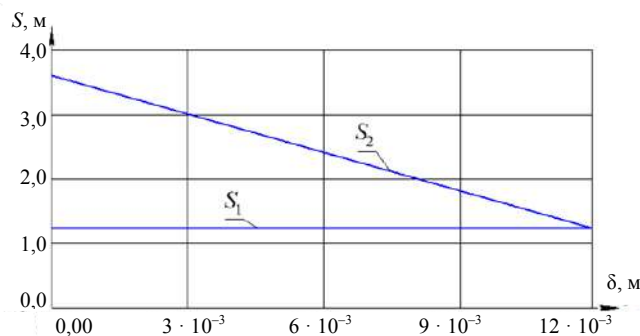
Вынікі разлікаў по формулах (1) прадстаўлены ў графічным выглядзе на рысунках 3—5.



Рысунак 3 — Залежнасці часу «абуджэння» сістэмы  $\tau$ , стартavaга моманту  $M_{II}$  ад каэфіцыента трэння качэння  $\delta$



Рысунак 4 — Залежнасць усталёванай скорасці сістэмы  $v_y$  ад каэфіцыента трэння качэння  $\delta$



Рысунак 5 — Залежнасць тармажных шляхоў  $S_1, S_2$  ад каэфіцыента трэння качэння  $\delta$

**Заклучэнне.** Аналіз графікаў паказвае, што даследуемыя параметры  $\tau$ ,  $M_n$ ,  $v_y$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  змяняюцца ў залежнасці ад  $\delta$  па законах, блізкіх да лінейных. Найбольш адчувальныя да велічыні трэння качэння параметры  $\tau$  і  $s_2$ . Праведзенае даследаванне актуальна для мабільных сістэм, у якіх кола  $B$  сумяшчае функцыю перамяшчэння сістэмы і яе рабочага органа (напрыклад, катка).

#### Спіс цытаваных крыніц

1. Дыдышка, І. М. Вызначэнне стартавага моманту электрарухавіка для зададзенай мабільнай механічнай сістэмы / І. М. Дыдышка, С. І. Русан // Содружество наук. Барановічы-2017 : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей., Барановічы, 18—19 мая 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Барановіч. гос. ун-т. — Барановічы : БарГУ, 2017. — Ч. 2. — С. 199—202.
2. Русан, С. І. Даследаванне руху мабільнай сістэмы ў пераходным рэжыме / С. І. Русан, І. М. Дыдышка // Содружество наук. Барановічы-2017 : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей., Барановічы, 18—19 мая 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Барановіч. гос. ун-т. — Барановічы : БарГУ, 2017. — Ч. 2. — С. 228—230.
3. Дыдышка, І. М. Вызначэнне і даследаванне механічных характарыстык руху мабільнай сістэмы / І. М. Дыдышка, С. І. Русан, А. К. Гаўрыленя // Теоретическая и прикладная механика : Междунар. науч.-техн. журн. — Минск : БНТУ. — 2018. — Вып. 33. — С. 357—362.

УДК 621:001.895

Л. А. Сиваченко

Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ — ИННОВАЦИОННЫЙ РЕЗЕРВ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

**Введение.** Уровень развития технологической структуры, называемый технологическим укладом и характеризующийся периодической сменой различных способов производства, определяет не что иное, как наше место в мировом разделении труда. Кинетику этого процесса хорошо иллюстрирует приведенная на рисунке 1 графическая модель смены технологических укладов [1]. Нам необходима промышленная революция, что возможно только на основе поиска резервов и концентрации всех сил для их реализации. Для этого необходима хорошо продуманная стратегия государства и ее четкое исполнение.

Отличие представленной модели от множества других состоит в том, что на ней отдельно выделены как направления оптимального развития — атомная промышленность, секторы информационно-коммуникационных и информационных технологий, космос, — так и технологии переработки сырья и первые стадии (подготовительные) материального производства. И если первые определяют мировой уровень развития, то вторые являются его ахиллесовой пятой. Опасность сложившейся ситуации заключается в том, что мы прогрессивно отстаем в своем развитии от передовых стран и постепенно впадаем в технологическую (экономическую) зависимость. Это вполне зримая угроза современного неокOLONIALИЗМА, и для ее ликвидации нашему государству необходим переход к интенсивной индустриализации.

Технологическая политика Беларуси и России является расплывчатой, в ней больше внимания уделяется отдельным элементам наукоемкой экономики, по которым масштабно мы не конкурентны в мире, а вот поиска своих национальных приоритетов и перспектив их развития практически не происходит. Автору представляется, что формирование национальной идеологии новой промышленной революции, в частности, ее первой фазы — индустриализации производственной сферы, требует незамедлительного решения. Индустриализация должна охватить всю структуру экономики и обеспечить за счёт роста выпуска продукции необходимые ресурсы для развития научно-технологической сферы и тем самым встать на путь возврата в состав развитых стран. Индустриализация такого рода требует учета современных реалий и должна базироваться на достижениях науки и техники, в том числе цифровой экономики.

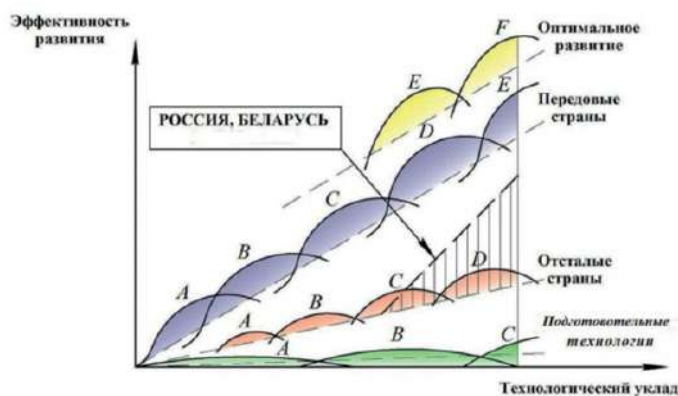


Рисунок 1 — Графическая модель смены технологических укладов

**Основная часть.** Попытаемся изложить свое видение решения данной задачи, основываясь на комплексной оценке экономик Беларуси и России, и выделим ее главное звено — машиностроение. Продукция этой отрасли включает в себя станкостроение, транспорт всех видов, технологическое оборудование для химической, горнорудной, строительной, пищевой и других отраслей промышленности, электроэнергетику, производство вооружений, переработку отходов, бытовую технику и др. Вместе с тем доля машиностроения в валовом внутреннем продукте наших стран с 1991 года уменьшилась более чем в 3 раза и пока не имеет тенденции к устойчивому росту.

Влияние машиностроения на национальную экономику чрезвычайно огромно и выражается рядом основополагающих факторов: обеспечением производственного комплекса необходимым оборудованием и технологическими средствами для его активного функционирования; созданием условий для комплексного энергосбережения на всех этапах технологических процессов; ресурсосбережением при выполнении всех стадий производственного цикла, изготовлении оборудования и его эксплуатации; решением проблем экологического характера и рациональным природопользованием; формированием общей прогрессивной научно-технологической сферы и инновационным развитием в государственном масштабе; использованием экспортного потенциала, снижением импортной зависимости и увеличением объемов торговли, включая сервис, проектирование и т. д.

К перечисленным приложениям индустриализации следует добавить станкостроение, жилищно-коммунальное хозяйство, электроэнергетику, транспорт, связь, химическую, горнорудную, металлургическую, пищевую и строительную отрасли, сельское хозяйство и т. д. Понятно, что при таком разбросе сфер деятельности и значительных затратах на осуществление необходимых мероприятий государство способно выполнить только их некоторую часть. Исходя из сказанного, следует определить главные приоритеты и сконцентрировать на их реализации основные ресурсы. Особо следует остановиться на рынке высокоинтеллектуальной продукции, которая будет создаваться по мере модернизации промышленности и укрепления технологической сферы. Общецивилизованный прогресс идет по пути создания так называемых передовых производственных технологий (ППТ), или проще говоря, комплексов машиностроительных заводов, производств, цехов, линий, включая строительную часть подготовки производства, сервис и т. д. Нам требуется как можно скорее вписаться в эту среду, где кроме чисто производственной деятельности уже есть и всё более расширяется рынок продукции проектирования сложных технологических объектов, в том числе ППТ [2].

Для обеспечения комплексного энерго- и ресурсосбережения, в том числе и не учтенных ранее и не рассматриваемого в программных документах потенциала, может служить энерготехнологическая концепция (ЭТК) национальной безопасности [1]. Её суть заключается в целостном рассмотрении всех вопросов переработки материалов, используемых для удовлетворения потребностей человека, анализа состояния и резервов совершенствования технологии и оборудования на основе достижения науки и техники, критической оценки организационных методов реализации с учетом исторического опыта и выбора основных путей их практического использования.

Выполненные расчеты на основе подходов ЭТК показывают, что возможна экономия не менее 20 % электроэнергии и 8...10 % других энергоресурсов только на основе не учтенных ранее и не включенных в различные программы резервов их использования [3]. Это по преимуществу механические и тепловые производственные переделы. Огромные возможности энергосбережения заложены в системах теплофикации и энергосбережения, что хорошо известно [4] и планируется к реализации. Методическая база для обоснования реальных возможностей только части технологического ресурсно- и энергосбережения нами изложена в работах [1; 2].

Немаловажную помощь в организации процессов производства ряда продуктов, изделий и материалов может оказать оценка передового уровня развития соответствующих предприятий, в том числе включая отдельные виды базовых машин и агрегатов [3]. Например, если взять производство цемента, извести или керамических изделий, то резервы по экономии топлива и электроэнергии составят 30...40 %. И это только на основе известных решений и достигнутого уровня. Технологии переработки сырья и первые стадии материального производства являются самыми энерго- и материалоемкими технологиями современных производств и, как это ни странно, самыми несовершенными и энергозатратными. Тот факт, что в Беларуси, например, ежегодно измельчается не менее 120 млн тонн различных материалов при коэффициенте полезного действия таких машин, как шаровая мельница, около 1 %, говорит сам за себя [1; 3].

Сложившаяся ситуация характерна для всех промышленных стран, хозяйственная деятельность которых не возможна без использования больших объемов различных материалов. По целому ряду причин значительная часть перечисленных выше технологий базируется на технической базе, концептуально сформированной в XIX — начале XX века. Это означает, что в данном сегменте производства мы отстаём от самых передовых стран только на первые десятки процентов вследствие более качественного изготовления оборудования и лучшей организации его работы. При этом хорошо известно, что потенциал повышения эффективности многих стадий переработки материалов составляет порядок и выше [5], а это предвещает революционную модернизацию оборудования, используемого для этих целей.

Прогнозирование технологического развития мировой экономики позволяет с уверенностью утверждать, что в ближайшие десятилетия так называемое технологическое машиностроение [1] будет основным инновационным трендом цивилизации [6]. Движущей силой грядущих изменений следует считать истощение природных ресурсов, чрезмерное энергопотребление, экологические угрозы, перенаселение Земли, а средством практической реализации — орудия производства, которые эволюционируют от кремневого ножа и каменного топора до нынешних роботов, а в будущем — до заводов-автоматов. Сегодня передовые компании идут по этому пути, но реальные возможности, которые открывает материаловедение, используются преимущественно в малотоннажных и специальных производствах, доля которых в общем балансе экономики мизерна. Хотелось бы не прозевать грядущих технологических скачков и занять своё место в мировом разделении труда. Неизбежность перехода к такому сценарию развития мировой экономики иллюстрируется циклограммой [6], приведенной на рисунке 2.

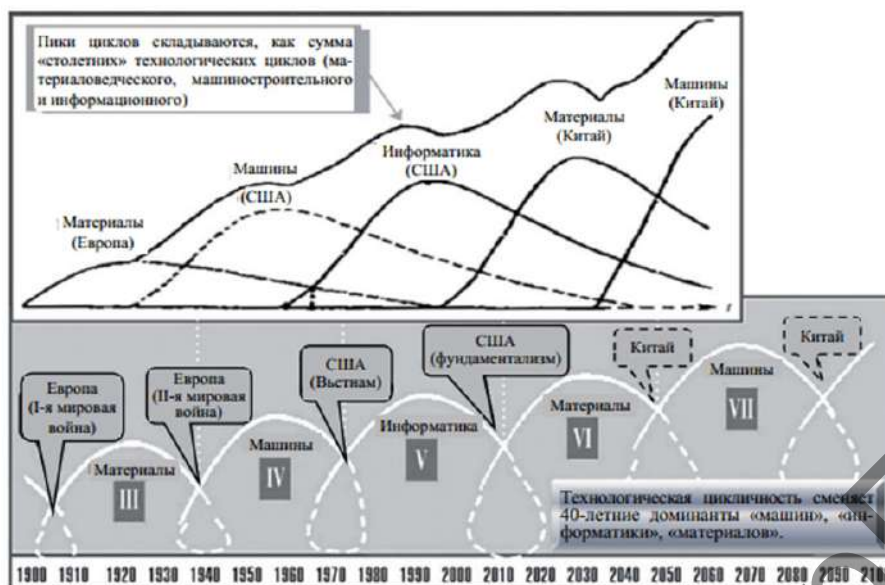


Рисунок 2 — Циклограмма технологического развития мировой экономики

Её оценка показывает, что в ближайшем будущем технологическим гегемоном в планетарном масштабе будет Китай. Объективную предметную оценку такого положения необходимо выполнить на основе комплексного анализа.

**Заключение.** Оценивая научно-производственный потенциал Союзного государства Беларуси и России, можно с уверенностью полагать, что в части развития технологического машиностроения он не только огромен, но и потенциально готов для практической реализации. Исторический опыт наших стран показывает, что задачи подобного рода успешно решались нами ранее, а при правильной организации будут решены и в будущем.

#### Список цитируемых источников

1. Сиваченко, Л. А. Технологическое машиностроение — инновационный резерв мировой экономики / Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко. — Могилёв : Бел.-Рос. ун-т, 2017. — 254 с.
2. Сиваченко, Л. А. Технологический потенциал машиностроения / Л. А. Сиваченко // Строит. и дорож. машины. — 2018. — № 3. — С. 3—14.
3. Технологические пределы с максимальным потенциалом энергосбережения / Л. А. Сиваченко [и др.] // Энергоэффективность. — 2015. — № 10. — С. 24—30.
4. Хрусталева, Б. М. Расширение энергосберегающей базы в условиях централизованного теплоснабжения и доминирования энергоёмких технологий / Б. М. Хрусталева, В. И. Романюк // Энергоэффективность. — 2017. — № 12. — С. 20—27.
5. Селективное разрушение минералов / В. И. Ревнивцев [и др.]. — М. : Недра, 1988. — 286 с.
6. Шамрай, Ф. А. Модернизация в России / Ф. А. Шамрай // Строит. и дорож. машины. — 2012. — № 2. — С. 2—7.

УДК 621.9

П. В. Степанович, К. С. Винничек

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С РАЗРАБОТКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕМ КЛАПАНА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Введение.** Несмотря на ослабление темпов роста мировой экономики, обострения «торговой войны» между Китаем и США, в 2018 году на мировом нефтяном рынке наблюдался, по данным ЕА, рост потребления нефти и нефтепродуктов в среднем на 100 млн баррелей; прогнозируется, что в 2019 году данный показатель достигнет уровня в 101,5 млн баррелей, в связи с чем актуальным является развитие и совершенствование производства нефтедобывающего оборудования. Эффективная эксплуатация нефтедобывающего оборудования способна не только снизить себестоимость нефтепродуктов, но и повысить безопасность условий труда на такого рода оборудовании.

**Основная часть.** Номенклатура установок и оборудования для бурения нефтяных скважин достаточно велика. Отличие их заключается в геометрии конструкции, климатических исполнениях, технических характеристиках.

Наземная буровая установка для разведки и разработки месторождений нефти и газа в общем виде включает следующее оборудование: буровая вышка; буровая лебедка; система верхнего привода или ротор с вертлюгом; буровой ключ; шпилевая катушка; буровые насосы; емкости; оборудование для приготовления бурового раствора и очистки его от шлама; цементировочный агрегат; противовыбросовое оборудование; мостки и склад хранения буровых труб; трубный кран; генератор для обеспечения работы электроприводов оборудования.

Одним из элементов буровых установок, участвующих непосредственно в бурении скважин, является буровой крюк. Буровой крюк, или крюкоблок, представляет собой мобильную часть подъемной системы установки и предназначен для выполнения следующих операций: удержание бурильных труб посредством вертлюга в процессе бурения; удержания и маневрирования бурильных труб посредством штропов и элеватора в процессе спуска-подъема труб; удержания и маневрирования колонны обсадных труб в процессе крепления скважины обсадными трубами; маневрирования при спуске и подъеме разных инструментов при выполнении специальных операций на скважине. На рисунке 1 представлен общий вид крюкоблока модели КБ-6-600. Следует отметить, что существенным недостатком крюкоблоков является их недостаточно высокая надежность и безопасность. Одним из узлов, лимитирующих надежность крюкоблока, является подвеска пружинная 2.

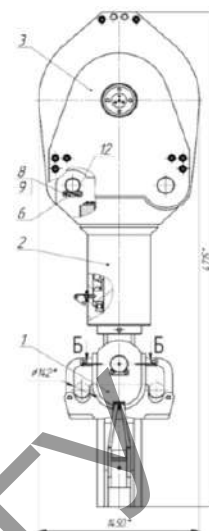


Рисунок 1 — Общий вид крюкоблока КБ-6-600

Конструкция подвески пружинной представляет собой промежуточное звено между талевым блоком и крюком. Состоит из корпуса подвески 1, предназначенного для присоединения к талевому блоку и крышки 7, штока 2 для упора верхнего конца системы пружин 3, втулки пружинной 4, служащей для качественной работы системы из двух пружин. Шток при максимально допустимом выдвигении из корпуса упирается в стакан упорный 5, который, в свою очередь, установлен на подшипник роликовый упорный с цилиндрическими роликами одинарными. Подшипник 9260 (ГОСТ 23526-79) 6 необходим для свободного вращения штока вокруг своей оси, а также для восприятия осевых усилий.

Основная проблема конструкции такой подвески — это отсутствие какой-либо страховки на экстренное снятие нагрузок (обрыв каната, поломка бурильной свечи и пр.). Также усложнены ремонт и обслуживание из-за того, что конструкция в сборе предусматривает первоначальное натяжение пружин.

Предварительный анализ позволил выдвинуть гипотезу о том, что путем добавления в конструкцию подвески пружинной такого узла, как гидроамортизатор, позволит довольно эффективно решить проблему повышения надежности узла. С точки зрения авторов, гидроамортизатор, который будет срабатывать только в начальный момент нагружения и в момент снятия нагрузки, не позволит резко сработать системе пружин до полного снятия нагружения. К слабым местам данного решения может быть отнесено то, что соединение штока и клапана будет осуществляться стопорным кольцом, места посадки на клапане и штоке, а также само стопорное кольцо будут испытывать большие нагрузки, следовательно, будут иметь недостаточную прочность.

**Заключение.** Для проверки выдвинутой гипотезы авторы работы поставили себе цель разработать и исследовать клапан гидравлический для повышения надежности нефтедобывающего оборудования. Задачами для достижения поставленной цели являются: обзор существующих аналогичных конструкций, анализ их преимуществ и недостатков, теоретическое обоснование решаемой проблемы, конструкторская разработка изделия, силовой расчет и расчет на прочность отдельных деталей, подбор более качественных материалов для их изготовления, исследование возможности и эффективности применения антифрикционной смазки, а также ряд других задач.

УДК 67.02

Н. М. Федосов

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАТКИ С ВОЗМОЖНЫМ ПОДВОДОМ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЧЕРЕЗ ВРАЩАЮЩУЮСЯ ОПРАВКУ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

**Введение.** Применение смазочно-охлаждающих технологических средств (далее — СОТС) способствует повышению стойкости режущего инструмента, производительности, качеству поверхности обрабатываемой детали. В данной статье рассматриваются современные конструктивные особенности подвода СОТС при вра-

щающемся режущем инструменте как наиболее сложные по конструкторскому решению по сравнению с тем, когда режущий инструмент неподвижен, а вращается обрабатываемая деталь.

**Основная часть.** Подвод охлаждения (СОТС) через вращающийся режущий инструмент значительно повышает эффективность его охлаждения и размерную стойкость (особенно при чистовых отделочных операциях).

Подвод СОТС к обрабатываемой неподвижной детали, находящейся в приспособлении, доказал свою неэффективность вследствие невозможности обеспечения постоянного нахождения режущего инструмента в среде СОТС, из-за чего он разрушается в связи с появлением трещин ввиду тепловых деформаций, и в действующем производстве не применяется.

*Расточная оправка с внутренним подводом СОТС.* Оправка представляет собой стержень из твердой, закаленной стали. Конструкция оправок определяется формой и размером хвостовика в зависимости от посадочного места шпинделя станка, расположением и формой резца, закрепляемого в оправке, и, наконец, спецификой обрабатываемой детали и отверстия. В нашем случае оправка будет с цилиндрическим хвостовиком. Для обработки деталей типа кольца конструкция оправки должна быть наиболее простой и вместе с тем обеспечивать максимальное сокращение времени на установку, закрепление и снятие детали.

Оправку обычно изготавливают из малоуглеродистой стали, цементируемой и закаливаемой до твердости *HRC 56...62*. При проектировании специальных оправок следует предусматривать, чтобы длина оправки была минимально необходимой для обеспечения наибольшей ее жесткости. По каталогу расточных систем Sandvik Coromant может быть выбрана расточная оправка CoroBore 825Ø19...315 мм (рисунок 1) с регулировкой диаметра по нониусу с точностью до 0,002 мм, а также с внутренним подводом СОТС прямо к резцу [3].

На рисунке 1 показан эскиз расточной оправки с внутренним подводом СОТС.

Патроны для подвода СОТС применяются при растачивании в системах модульного инструмента. Расточные головки модульной конструкции выполняются с внутренними каналами для подвода и вставляются в специальные державки, имеющие присоединительные поверхности с размерами. Державка (рисунок 2) включает корпус 1 с конусным хвостовиком (на рисунке 2 не показан), кожух 3, позиционирующее кольцо 2, уплотнение 5, подшипники 4, позиционирующий штифт 7, пружину 6, позиционирующую втулку 8.

Уплотнение 5, изготавливаемое из тефлона, имеет специальную форму, что обеспечивает частоту вращения патрона до  $60 \text{ с}^{-1}$ .

При установке патрона в шпиндель необходима его ориентация по положению шпонок. При этом корпус 1 должен получить возможность вращения вместе со шпинделем. Подача СОТС производится через отверстие в позиционирующем штифте 7, которое соединяется с отверстием в кожухе 3, и СОТС через цилиндрическую выточку попадает в посадочное отверстие корпуса 1, предназначенное для крепления расточных модулей.

Инструментальная расточная оснастка, изображенная на рисунке 3, предназначена для подвода СОТС через вращающуюся оправку и режущий инструмент и обеспечивает при расточке отверстий постоянное нахождение режущего инструмента в среде СОТС, что предотвращает появление на нем трещин вследствие отсутствия тепловых деформаций. При этом значительно повышается стойкость режущего инструмента, производительность процесса обработки, качество поверхности обрабатываемой детали по сравнению с другими способами подвода СОТС в зону обработки при вращающемся режущем инструменте и неподвижной детали.

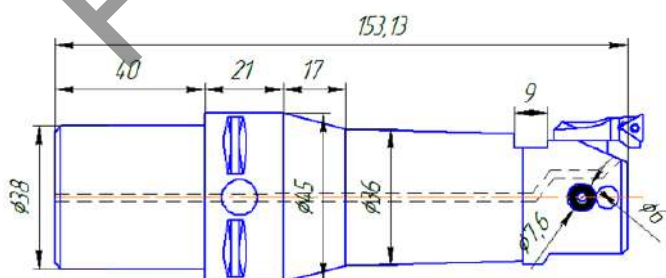


Рисунок 1 — Эскиз расточной оправки с внутренним подводом СОТС

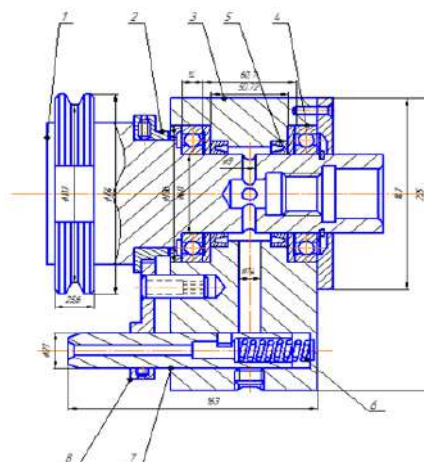


Рисунок 2 — Схема подвода СОТС к расточному инструменту (патрон для подвода СОТС) [1; 2]

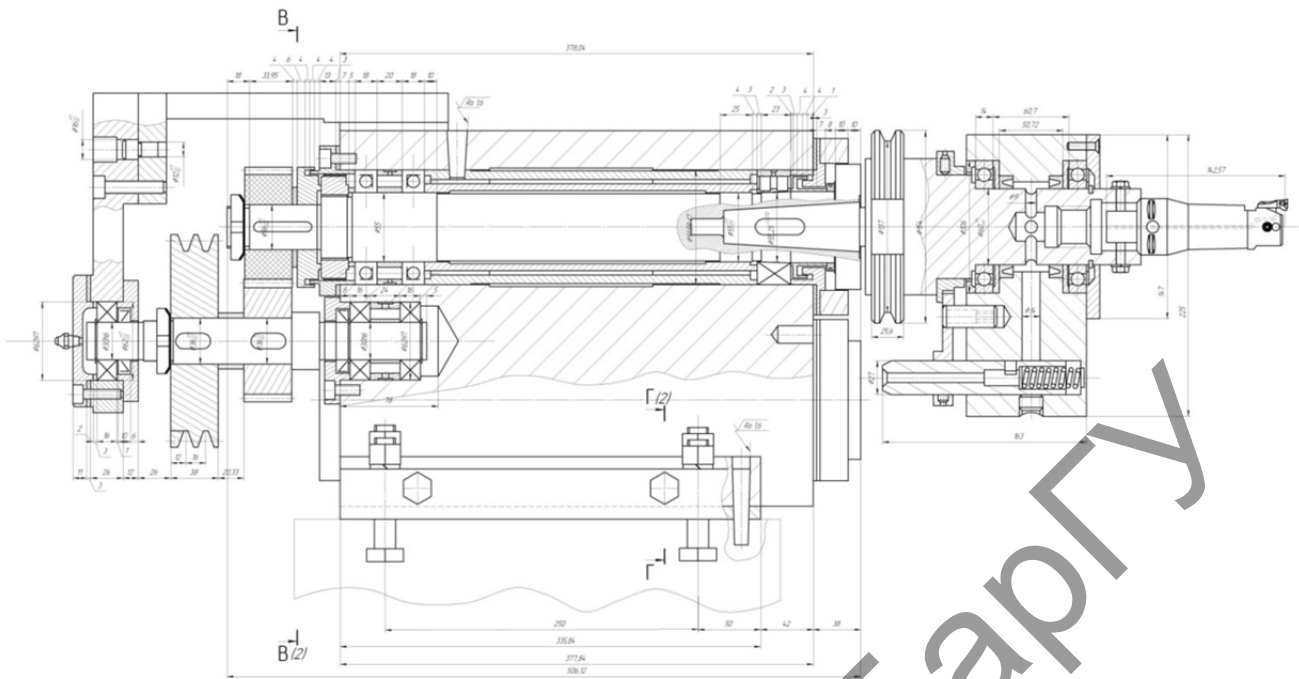


Рисунок 3 — Сборочная схема шпинделя расточного станка с патроном для подвода СОТС и расточной оправкой

**Заключение.** Разработанная инструментальная оснастка с возможностью подвода охлаждения (СОТС) через вращающуюся оправку и режущий инструмент повышает эффективность охлаждения и, как следствие, стойкость режущего инструмента, а также его размерную стойкость.

Подвод охлаждения через вращающийся режущий инструмент экономически целесообразно применять при фрезерных и расточных операциях, особенно при расточке отверстий больших диаметров, так как на данной операции очень трудно обеспечить постоянное нахождение режущего инструмента в среде СОТС. Невыполнение данного условия может привести к образованию трещин на режущем инструменте и его поломке.

#### Список цитируемых источников

1. Каталог Sandvik / МКТС. — М., 2000.
2. Каталог инструментов для фрезерования и сверления / СКИФ. — Белгород, 2013.
3. Расточные оправки с внутренним подводом СОЖ RRS 82 302 / 2013-05 : кат. фирмы Sandvik Coromant, 2013. — 111 с.

### СЕКЦИЯ 3

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ИНФОРМАТИКИ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОФИЛЯ

УДК 37.026.8

Е. В. Артёмова

Государственное учреждение образования «Средняя школа № 45 г. Могилёва», Могилёв

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИАКОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА НА ЗАНЯТИЯХ ПО УЧЕБНОМУ ПРЕДМЕТУ «ИНФОРМАТИКА» КАК ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

**Введение.** Процессы глобальной информатизации общества коренным образом изменяют современное представление о мире. Новые классы компьютерных устройств, а также новые технологии работы с информационными ресурсами и услугами обеспечивают пользователям доступ к информации постоянно, независимо от времени и места их нахождения. Общество с внедрением информационных технологий гораздо в большей степени заинтересовано в том, чтобы его граждане были способны самостоятельно действовать, гибко адаптироваться к изменяющимся условиям жизни.

**Основная часть.** Рассматривая тенденции современного мира, на учебных занятиях по информатике необходимо использовать компетентностный подход для повышения качества образования, так как учащиеся обучаются не только пользоваться компьютером, но и использовать его в качестве источника знаний, что позволяет им повышать качество образования по всем учебным предметам. Таким образом, можно говорить о необходимости формирования медиакомпетенций. Под медиакомпетенцией будем понимать способность использования знаний и умений в области познания медиамира в учебной и внеучебной деятельности человека (в частности учащихся). Рассматривая медиакомпетенции, можно говорить о медиакомпетентностном подходе. Медиакомпетентностный подход — это совокупность общих принципов, определения целей и отбора содержания медиаобразования, организации образовательного процесса, оценки образовательных результатов. Под медиаобразованием будем понимать процесс усвоения знаний об информационных средствах, методах, приемах и формах, которые призваны помогать развивать личность, в целях формирования культуры общения с медиамиром [1, с. 200].

Подготовка медиакомпетентных учащихся — главная и самая важная цель современных образовательных учреждений. Главной задачей педагога в преподавании учебного предмета «Информатика» является формирование медиаграмотности и медиакультуры как неотъемлемой части медиакомпетентностного подхода у учащихся на учебных, факультативных и внеучебных занятиях. Учебный предмет «Информатика» является ключевым предметом, который должен способствовать формированию медиакомпетентности учащихся. На учебных занятиях по информатике педагогу помогает формировать медиакомпетентность учебная программа, которая предусматривает обучение информатике со второй ступени общего образования — 6—11-е классы (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Планирование учебного материала по темам

Класс	Тема	Количество часов
6	Информация и информатика	2
	Основы работы с компьютером	2
	Интернет. Электронная почта	3
7	Информация и информационные процессы	2
	Аппаратное и программное обеспечение компьютера	5
8	Технология обработки аудио- и видеоинформации	5
9	Информационные ресурсы сети Интернет	5
	Компьютерные модели	10
10	Аппаратное и программное обеспечение компьютера	3
	Информационные модели	6
	Компьютерные коммуникации и Интернет	2
11	Информационные системы и технологии	2

На факультативных занятиях формировать и применять медиакомпетентностный подход помогают учителя программы факультативных занятий: «Введение в информатику» (5-й класс); «Информатика» (9-й класс); «Информационно-образовательные ресурсы сети Интернет» (9-й класс); «Избранные главы информатики» (10-й класс); «Избранные главы информатики» (11-й класс).

Учащиеся обучаются не только компьютерной грамотности при работе с основными офисными приложениями, но и медиаграмотности через сеть Интернет.

Также необходимо учитывать основные способы для формирования медиакомпетенций учащихся, которые позволят применять их в любой ситуации вне учебного предмета «Информатика»:

1) интегрированные учебные занятия (помогают сравнивать знания по различным учебным предметам в рамках одной параллели классов либо уровень знаний между учащимися при проведении учебных занятий с разновозрастными учащимися, что позволяет учащимся обмениваться знаниями, совершенствовать работу в командах, а также проявлять лидерские качества);

2) исследовательская деятельность учащихся (способ познания мира, который воспитывает в человеке заинтересованность и мышление);

3) проектная деятельность учащихся (понимание и применение различных знаний, умений и навыков, приобретенных на всех учебных предметах для решения новых задач).

**Заключение.** Успех этих способов для формирования медиакомпетенций заключается в привлечении всех учащихся независимо от уровня самооценки в отношении к учебному предмету и способностей к обучению. Учитель информатики обязан стать «ключом» к современному медиамунду. Современный человек должен владеть компьютерными компетенциями и медиакомпетенциями для дальнейшего профессионального карьерного роста. Только образованный человек, овладевший медиакомпетенциями, сможет построить карьеру и быть востребованным специалистом. Таким образом, будет сформирована готовность учащихся применять знания, умения и навыки в окружающем мире.

#### Список цитируемых источников

1. Артёмова, К. В. Формирование медиакомпетентности на учебных занятиях по информатике в общеобразовательной школе // Научно-методическое сопровождение повышения квалификации педагогов: опыт, проблемы, перспективы : сб. материалов III Респ. науч.-практ. конф., 26 мая 2017 г., г. Могилёв / редкол.: М. М. Жудро [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Гириной. — Могилёв : МГОИРО, 2017. — 538 с.

УДК 517.521.8

И. Н. Бруй

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### СУММИРОВАНИЕ СО СКОРОСТЬЮ РЯДОВ В БАНАХОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

**1. Введение.** Пусть последовательность  $(a_n)_{n=0}^{+\infty}$  элементов банахова пространства  $\mathbf{B}$  порождает ряд

$$a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots \quad (1)$$

и ряд

$$0a_0 + 1a_1 + 2a_2 + \dots + na_n + \dots, \quad (2)$$

который назовём координатным, соответствующим (1). Правило дифференцирования экспоненты  $(e^{inx})' = in e^{inx}$  объясняет появление ряда (2) в теории тригонометрических рядов Фурье и в теории рядов по многочленам Фабера [1, с. 9—12]. И пусть

$$\forall N \in Z_+ := \{0, 1, 2, \dots\} \quad \sigma_N(1) := \sum_{n=0}^N \left(1 - \frac{n}{N+1}\right) a_n \quad (3)$$

суть средние Фейера ряда (1), а

$$\forall N \in Z_+ \quad \sigma_N(2) := \sum_{n=0}^N \left(1 - \frac{n}{N+1}\right) n a_n \quad (4)$$

суть средние Фейера координатного ряда (2). Оператор присваивания «:=» означает, что выражению справа от него присвоено обозначение, стоящее слева; аналогичный смысл имеет символ «=».

В начале рассматривались ряды комплексных чисел. Если средние Фейера комплексного координатного ряда (2) ограничены:  $\sup_{N \in \mathbb{Z}_+} |\sigma_N(2)| < +\infty$ , то согласно известной теореме [2, с. 165, теорема 71] теории суммируемости числовых рядов средние Фейера исходного комплексного ряда (1) сходятся:  $\exists s \in \mathbb{C} \lim_{N \rightarrow +\infty} |s - \sigma_N(1)| = 0$ . Первым скорость последней суммируемости (summability with speed) установил

Д. Алексич [3, с. 46, замечание]:  $\forall N \in \mathbb{Z}_+ \quad |s - \sigma_N(1)| \leq \frac{4}{N+1} \sup_{N \in \mathbb{Z}_+} |\sigma_N(2)|$ ; значение константы уменьшили

с 4 до 3 Б. Сёкефальви-Надь [4, с. 84, лемма] и С. Б. Стечкин [5, с. 464, лемма 2, (1.6)]. Множество комплексных чисел  $\mathbb{C}$  с обычными арифметическими операциями их сложения и умножения и с модулем в качестве нормы становится банаховым пространством.

Для рядов (1) и (2) в произвольном банаховом пространстве  $\mathbf{B}$  Д. Алексич доказал следующие две теоремы [6, с. 62—64].

**Теорема 1.** Из ограниченности в банаховом пространстве  $\mathbf{B}$  последовательности средних Фейера (4) координатного ряда (2)  $\sup_{N \in \mathbb{Z}_+} \|\sigma_N(2)\|_{\mathbf{B}} = A_1 < +\infty$  вытекает сходимость в пространств  $\mathbf{B}$  средних Фейера

(3) исходного ряда (1) к элементу  $s$  со скоростью  $\forall N \in \mathbb{Z}_+ \quad \|s - \sigma_N(1)\|_{\mathbf{B}} \leq \frac{3A_1}{N+1}$ .

**Теорема 2.** Из сходимости в банаховом пространстве  $\mathbf{B}$  средних Фейера (3) ряда (1) к элементу  $s$  со скоростью  $\forall N \in \mathbb{Z}_+ \quad \|s - \sigma_N(1)\|_{\mathbf{B}} \leq \frac{A_2}{N+1}$ , где вещественная постоянная  $A_2 \geq 0$ , вытекает ограниченность

в пространств  $\mathbf{B}$  последовательности средних Фейера (4) координатного ряда (2)  $\sup_{N \in \mathbb{Z}_+} \|\sigma_N(2)\|_{\mathbf{B}} \leq 4A_2$ .

В настоящей работе теоремы 1 и 2 Д. Алексича для средних Фейера  $\sigma_N$  распространяются на матричные средние  $M_N$ .

**2. Основные результаты.** Пусть  $Z_1 := \{1, 2, 3, \dots\}$  есть множество всех натуральных чисел. С помощью комплексной двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in \mathbb{Z}_+ \times Z_1}$ , где номер строки  $N$  принимает неотрицательные целые значения  $0, 1, 2, \dots$ , а номер столбца  $v$  принимает натуральные значения  $1, 2, 3, \dots$ :

$$(d_v(N))_{(N,v) \in \mathbb{Z}_+ \times Z_1} = \begin{pmatrix} d_1(0) & d_2(0) & d_3(0) & \dots \\ d_1(1) & d_2(1) & d_3(1) & \dots \\ d_1(2) & d_2(2) & d_3(2) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}_{\mathbb{Z}_+ \times Z_1}, \quad (5)$$

образуем матричные средние

$$\forall N \in \mathbb{Z}_+ \quad M_N(1) := \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] a_n \quad (6)$$

ряда (1) и матричные средние

$$\forall N \in \mathbb{Z}_+ \quad M_N(8) := \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] n^r a_n \quad (7)$$

ряда

$$0^r a_0 + 1^r a_1 + 2^r a_2 + \dots + n^r a_n + \dots, \quad (8)$$

который назовём координатным, соответствующим (1). Появление последнего ряда мотивирует то, что производная  $r$ -ого ( $r \in Z_1$ ) порядка экспоненты  $(e^{inx})^{(r)} = (in)^r e^{inx}$ . Координатный ряд (2) получается из координатного ряда (8) при  $r=1$ .

Очевидно: 1) если все  $d_v(N) = 0$ , то матричные средние суть частичные суммы  $s_N$ ; 2) если члены двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  таковы, что в первом столбце единицы:  $\forall N \in Z_+ d_1(N) = 1$ , а в остальных столбцах нули:  $\forall N \in Z_+ \forall v \in Z_2 := \{2, 3, 4, \dots\} d_v(N) = 0$ , то матричные средние суть средние Л. Фейера  $\sigma_N$ ; 3) если при натуральном  $r = 1, 2, 3, \dots$  члены двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  таковы, что в  $r$ -том столбце единицы:  $\forall N \in Z_+ d_r(N) = 1$ , а в остальных столбцах нули:  $\forall N \in Z_+ \forall v \in Z_1 \setminus \{r\} d_v(N) = 0$ , то матричные средние суть средние А. Зигмунда  $Z_N^r$  порядка  $r$  ( $\sigma_N = Z_N^1$ ).

Для средних В. Рогозинского [7, с. 113, (13\*)]  $\forall N \in Z_+ R_N(1) := \sum_{n=0}^N \left[ \cos \frac{\pi n}{2(N+1)} \right] a_n$  ряда (1) с помощью канонического разложения функции косинус в степенной ряд получаем, что члены двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  с нечётными номерами столбцов  $d_{2v-1}(N) = 0$ , а с чётными номерами столбцов  $d_{2v}(N) = (-1)^{v-1} \{1 / [(2v)!]\} (\pi/2)^{2v}$  ( $v \in Z_1$ ).

Для внешне схожих с  $R_N(1)$  средних С. Н. Бернштейна [8, с. 523, (2)]  $\forall N \in Z_+$   $B_N(1) := \sum_{n=0}^N \left( \cos \frac{\pi n}{2N+1} \right) a_n$  ряда (1) члены двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  с нечётными номерами столбцов также равны нулю:  $d_{2v-1}(N) = 0$ , а с чётными номерами столбцов уже явно зависят от номера строки  $N$ :  $d_{2v}(N) = (-1)^{v-1} \{1 / [(2v)!]\} (\pi/2)^{2v} [1 + 1/(2N+1)]^{2v}$  ( $v \in Z_1$ ).

**Теорема 3.** Пусть комплексная двойная последовательность (5) удовлетворяет условию

$$\sup_{N \in Z_+} \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(N)| =: A_3 < +\infty \quad (9)$$

и при натуральном  $r \in Z_2$  первые столбцы с номерами  $v$  от 1 до  $r-1$  удовлетворяют условиям

$$\exists A_4 \geq 0 \quad \forall N \in Z_+ \quad \forall v \in [1, r-1] \cap Z_1 \quad |d_v(N)| \leq \frac{A_4}{(N+1)^{r-v}}. \quad (10)$$

И пусть при натуральном  $r = 1, 2, 3, \dots$  описанная выше комплексная двойная последовательность (5) и координатный ряд (8) связаны между собой условием

$$\sup_{N \in Z_+} \left[ \left( \max_{0 \leq M \leq N} \|s_M(8)\|_{\mathbf{B}} \right) \cdot \left| 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \right| \right] =: A_5 < +\infty \quad (11)$$

и нормы частичных сумм координатного ряда (8) мажорируются логарифмической функцией в степени  $\alpha \geq 1$ :

$$\exists \alpha \in [1; +\infty) \quad \forall N \in Z_+ \quad \|s_N(8)\|_{\mathbf{B}} \leq A_6 \ln^\alpha(N+2). \quad (12)$$

Тогда из ограниченности в банаховом пространстве  $\mathbf{B}$  последовательности матричных средних (7) такого координатного ряда (8)

$$\sup_{N \in Z_+} \|M_N(8)\|_{\mathbf{B}} =: A_7 < +\infty \quad (13)$$

вытекает сходимость в пространстве  $\mathbf{B}$  матричных средних (6) исходного ряда (1) к элементу  $s$  со скоростью

$$\forall N \in Z_+ \quad \|s - M_N(1)\|_{\mathbf{B}} \leq \frac{A_8}{(N+1)^r}, \quad (14)$$

где для всех достаточно больших номеров  $N$  константа

$$A_8 := \frac{2^{r+1}r}{2r-1} + \frac{4 \cdot 3^r r}{2r+1} A_3 + 2^r A_5 + 2A_7 + \left[ 2^{2r} + \frac{2^{r-1}(3+2^r)}{r} \right] A_3 A_7 + \\ + 2^r (r-1) [1+r+2^{r-2}(r-1)] A_4 A_7 \quad (15)$$

В силу условия (12) нормы частичных сумм

$$\forall N \in Z_+ \quad s_N(8) := \sum_{n=0}^N n^r a_n \quad (16)$$

координатного ряда (8) обладают следующим свойством: для любого положительного вещественного  $\beta > 0$  предел  $\lim_{N \rightarrow +\infty} N^{-\beta} \|s_N(8)\|_{\mathbf{B}} = 0$ , т. е.

$$\forall \beta > 0 \quad \forall \varepsilon > 0 \quad \exists N_{\beta, \varepsilon} \in Z_+ \quad \forall N \in Z_+ \quad \left[ N \geq N_{\beta, \varepsilon} \Rightarrow \frac{\|s_N(8)\|_{\mathbf{B}}}{N^\beta} \leq \varepsilon \right]. \quad (17)$$

**Теорема 4.** Пусть при некотором натуральном  $r = 1, 2, 3, \dots$  банахово пространство  $\mathbf{B}$  дополнительно обладает ещё зигмундовской структурой:

$$\exists A_9 > 0 \quad \forall f \in \mathbf{B} \quad \forall N \in Z_+ \quad \|Z_N^r f\|_{\mathbf{B}} \leq A_9 \|f\|_{\mathbf{B}}. \quad (18)$$

Тогда из сходимости в таком банаховом пространстве  $\mathbf{B}$  матричных средних (6) ряда (1) к элементу  $s$  со скоростью (14), где вещественная постоянная  $A_8 \geq 0$ , вытекает ограниченность в пространстве  $\mathbf{B}$  последовательности матричных средних (7) координатного ряда (8)

$$\sup_{N \in Z_+} \|M_N(8)\|_{\mathbf{B}} \leq A_8 (1 + A_9). \quad (19)$$

В банаховом пространстве  $C(T)$  всех непрерывных на вещественной прямой  $R$  и периодических с периодом  $2\pi$  функций с равномерной нормой  $\|f\|_{C(T)} := \max_{-\pi \leq x \leq \pi} |f(x)|$  условие (18) выполняется с постоянной  $A_9 = 2r - 1$  [9, с. 236].

**3. Доказательство теоремы 3.** Шаг 1. Выразим разность Коши членов последовательности  $(M_N(1))_{N=0}^{+\infty}$  матричных средних (6) ряда (1) через члены последовательности  $(M_N(8))_{N=0}^{+\infty}$  матричных средних (7) координатного ряда (8).

Для разности последующего и предыдущего членов последовательности  $(M_N(1))_{N=0}^{+\infty}$  имеем

$$\begin{aligned} M_K(1) - M_{K-1}(1) &:= \sum_{n=0}^K \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{n}{K+1} \right)^v \right] a_n - \\ &- \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K-1) \left( \frac{n}{K} \right)^v \right] a_n = \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] a_K + \\ &+ \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{n}{K+1} \right)^v \right] a_n - \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K-1) \left( \frac{n}{K} \right)^v \right] a_n = \\ &= \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] a_K + \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} n^v a_n. \end{aligned} \quad (20)$$

Из аналогичной (20) формулы для разности последующего и предыдущего членов последовательности  $(M_N(8))_{N=0}^{+\infty}$  матричных средних (7) координатного ряда (8)

$$\begin{aligned} M_K(8) - M_{K-1}(8) &= \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] K^r a_K + \\ &+ \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} n^{v+r} a_n \end{aligned}$$

получаем

$$\begin{aligned} \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] a_K &= \frac{1}{K^r} [M_K(8) - M_{K-1}(8)] - \\ &- \frac{1}{K^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} n^{v+r} a_n. \end{aligned} \quad (21)$$

Подстановка (21) в (20) даёт

$$\begin{aligned} M_K(1) - M_{K-1}(1) &= \frac{1}{K^r} [M_K(8) - M_{K-1}(8)] - \\ &- \frac{1}{K^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} n^{v+r} a_n + \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} n^v a_n = \\ &= \frac{1}{K^r} [M_K(8) - M_{K-1}(8)] + \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{n}{K} \right)^r \right] n^v a_n. \end{aligned} \quad (22)$$

Просуммируем разности (22) по  $K$  от  $N+1$  до  $P$ :

$$\begin{aligned} M_P(1) - M_N(1) &= \sum_{K=N+1}^P [M_K(1) - M_{K-1}(1)] \stackrel{(22)}{=} \sum_{K=N+1}^P \frac{1}{K^r} [M_K(8) - M_{K-1}(8)] + \\ &+ \sum_{K=N+1}^P \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ \frac{d_v(K-1)}{K^v} - \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \right] \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{n}{K} \right)^r \right] n^v a_n. \end{aligned}$$

В предыдущем равенстве правую часть преобразуем по методу Абеля:

$$\begin{aligned} M_P(1) - M_N(1) &= \sum_{K=N+1}^P \frac{1}{K^r} M_K(8) - \sum_{K=N}^{P-1} \frac{1}{(K+1)^r} M_K(8) + \\ &+ \sum_{K=N+1}^{P-1} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=0}^K \left[ 1 - \left( \frac{n}{K+1} \right)^r \right] n^v a_n - \\ &- \sum_{K=N+1}^P \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=0}^{K-1} \left[ 1 - \left( \frac{n}{K} \right)^r \right] n^v a_n = \\ &= \frac{1}{P^r} M_P(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] M_K(8) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8) + \\ &+ \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] n^v a_n + \\ &+ \sum_{K=N+1}^{P-1} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] K^v a_K + \sum_{n=0}^{K-1} \left[ \left( \frac{n}{K} \right)^r - \left( \frac{n}{K+1} \right)^r \right] n^v a_n \right\} - \\ &- \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=0}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{n}{P} \right)^r \right] n^v a_n. \end{aligned}$$

Отсюда получаем стартовое представление (его первый вид), в котором  $P > N+1$ :

$$\begin{aligned} M_P(1) - M_N(1) &= \frac{1}{P^r} M_P(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] M_K(8) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8) + \\ &+ \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=0}^N n^v a_n - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=0}^N n^v n^r a_n + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=0}^{K-1} n^v n^r a_n - \\
& - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=0}^{P-1} n^v a_n + \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=0}^{P-1} n^v n^r a_n.
\end{aligned} \tag{23}$$

Шаг 2. По определению

$$\forall N \in Z_+ \quad Z_N^r(1) := \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] a_n \tag{24}$$

суть средние Зигмунда положительного вещественного порядка  $r > 0$  ряда (1), а

$$\forall N \in Z_+ \quad Z_N^r(8) := \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] n^r a_n \tag{25}$$

суть средние Зигмунда положительного вещественного порядка  $r > 0$  координатного ряда (8). Средние Фейера (3) ряда (1) и средние Фейера (4) координатного ряда (2) получается соответственно из средних Зигмунда (24) ряда (1) и средних Зигмунда (25) координатного ряда (8) при  $r=1$ :  $\forall N \in Z_+ \quad \sigma_N(1) = Z_N^1(1)$  и  $\sigma_N(2) = Z_N^1(2)$ .

Для средних Зигмунда натурального порядка  $r \in Z_1$  у двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  столбец  $r$ -й состоит из единиц:  $\forall N \in Z_+ \quad d_r(N) = 1$ , а остальные столбцы состоят из нулей:  $\forall N \in Z_+ \quad \forall v \in Z_1 \setminus \{r\} \quad d_v(N) = 0$ . Поэтому представление (23) с учётом определений (24) и (25) принимает вид

$$\begin{aligned}
Z_P^r(1) - Z_N^r(1) &= \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) - \frac{1}{(N+1)^r} Z_N^r(8) + \\
& + \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^N n^r a_n - \frac{1}{(N+1)^r} \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^N n^r n^r a_n + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \left( \frac{K}{K+1} \right)^r + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{1}{(K+1)^r} \sum_{n=0}^{K-1} n^r n^r a_n - \\
& - \frac{1}{(P+1)^r} \sum_{n=0}^{P-1} n^r a_n + \frac{1}{P^r} \frac{1}{(P+1)^r} \sum_{n=0}^{P-1} n^r n^r a_n = \\
& = \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) - \frac{1}{(N+1)^r} Z_N^r(8) + \\
& + \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] n^r a_n + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \left( \frac{K}{K+1} \right)^r + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^{K-1} \left( \frac{n}{K+1} \right)^r n^r a_n - \frac{1}{(P+1)^r} \sum_{n=0}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{n}{P} \right)^r \right] n^r a_n \stackrel{(25)}{=} \\
& \stackrel{(25)}{=} \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \left( \frac{K}{K+1} \right)^r + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^{K-1} \left( \frac{n}{K+1} \right)^r n^r a_n - \frac{1}{(P+1)^r} Z_{P-1}^r(8).
\end{aligned} \tag{26}$$

Для предпоследней компоненты правой части (26) имеем

$$\begin{aligned}
& \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^{K-1} \left( \frac{n}{K+1} \right)^r n^r a_n = \\
& = \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \left\{ - \sum_{n=0}^K \left[ 1 - \left( \frac{n}{K+1} \right)^r \right] n^r a_n - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r K^r a_K + \sum_{n=0}^K n^r a_n \right\} \stackrel{(25)}{=} \\
& \stackrel{(25)}{=} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \left[ -Z_K^r(8) - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r K^r a_K + \sum_{n=0}^K n^r a_n \right] = \\
& = - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) - \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{1}{K^r} \left( \frac{K}{K+1} \right)^r K^r a_K + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{1}{(K+1)^r} \left( \frac{K}{K+1} \right)^r K^r a_K + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^K n^r a_n = \\
& = - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left( \frac{K}{K+1} \right)^r a_K + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left( \frac{K}{K+1} \right)^{2r} a_K + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^K n^r a_n = \\
& = - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] Z_K^r(8) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \left( \frac{K}{K+1} \right)^r + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^K n^r a_n . \tag{27}
\end{aligned}$$

Подстановка (27) в (26) приводит к

$$Z_P^r(1) - Z_N^r(1) = \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{n=0}^K n^r a_n - \frac{1}{(P+1)^r} Z_{P-1}^r(8) . \tag{28}$$

Из определения (25), помня, что индекс суммирования «немой», по методу Абеля получаем

$$\begin{aligned}
Z_N^r(8) & = \sum_{n=0}^N n^r a_n - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=1}^N n^r n^r a_n = \\
& = \sum_{m=0}^N m^r a_m - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=1}^N n^r \left( \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{m=0}^{n-1} m^r a_m \right) = \\
& = \sum_{m=0}^N m^r a_m - \frac{1}{(N+1)^r} \left[ \sum_{n=0}^N n^r \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{n=0}^{N-1} (n+1)^r \sum_{m=0}^n m^r a_m \right] = \\
& = \sum_{m=0}^N m^r a_m - \frac{1}{(N+1)^r} \left\{ N^r \sum_{m=0}^N m^r a_m + \sum_{n=0}^{N-1} [n^r - (n+1)^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m \right\} = \\
& = \sum_{m=0}^N m^r a_m - \left( \frac{N}{N+1} \right)^r \sum_{m=0}^N m^r a_m + \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^{N-1} [(n+1)^r - n^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
& = \frac{1}{(N+1)^r} [(N+1)^r - N^r] \sum_{m=0}^N m^r a_m + \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^{N-1} [(n+1)^r - n^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
& = \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^N [(n+1)^r - n^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m .
\end{aligned}$$

Отсюда имеем

$$\begin{aligned}
 (N+1)^r Z_N^r(8) &= \sum_{n=0}^N [(n+1)^r - n^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
 &= [(N+1)^r - N^r] \sum_{m=0}^N m^r a_m + \sum_{n=0}^{N-1} [(n+1)^r - n^r] \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
 &= [(N+1)^r - N^r] \sum_{m=0}^N m^r a_m + N^r Z_{N-1}^r(8).
 \end{aligned}$$

Стало быть,

$$\forall K \in Z_+ \quad \sum_{n=0}^K n^r a_n = \frac{(K+1)^r Z_K^r(8) - K^r Z_{K-1}^r(8)}{(K+1)^r - K^r}. \quad (29)$$

Подставляем (29) в (28) и результат преобразуем по методу Абеля:

$$\begin{aligned}
 Z_P^r(1) - Z_N^r(1) &= \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \\
 &+ \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{(K+1)^r - K^r}{K^r (K+1)^r} \frac{(K+1)^r Z_K^r(8) - K^r Z_{K-1}^r(8)}{(K+1)^r - K^r} - \frac{1}{(P+1)^r} Z_{P-1}^r(8) = \\
 &= \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} Z_K^r(8) - \frac{1}{(K+1)^r} Z_{K-1}^r(8) \right] - \frac{1}{(P+1)^r} Z_{P-1}^r(8) = \\
 &= \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{1}{K^r} Z_K^r(8) - \sum_{K=N}^{P-2} \frac{1}{(K+2)^r} Z_K^r(8) - \frac{1}{(P+1)^r} Z_{P-1}^r(8) = \\
 &= \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+2)^r} \right] Z_K^r(8) - \frac{1}{(N+2)^r} Z_N^r(8).
 \end{aligned}$$

Таким образом, из первого стартового представления (23) в специальном случае средних Зигмунда натурального порядка  $r = 1, 2, 3, \dots$  имеем известное [10, с. 363; 11, с. 30] представление для разности Коши ( $P > N + 1$ ):

$$Z_P^r(1) - Z_N^r(1) = \frac{1}{P^r} Z_P^r(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+2)^r} \right] Z_K^r(8) - \frac{1}{(N+2)^r} Z_N^r(8).$$

*Шаг 3.* Работаем с четвёртой и предпоследней восьмой компонентами правой части стартового представления первого вида (23).

По методу Абеля имеем

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=0}^N n^v a_n &= \sum_{n=1}^N n^v a_n = \sum_{n=1}^N n^{v-r} n^r a_n = \sum_{n=1}^N n^{v-r} \left( \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{m=0}^{n-1} m^r a_m \right) = \\
 &= \sum_{n=1}^N n^{v-r} \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{n=0}^{N-1} (n+1)^{v-r} \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
 &= N^{v-r} \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} [(n+1)^{v-r} - n^{v-r}] \sum_{m=0}^n m^r a_m - (0+1)^{v-r} \sum_{m=0}^0 m^r a_m = \\
 &= N^{v-r} \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} [(n+1)^{v-r} - n^{v-r}] \sum_{m=0}^n m^r a_m.
 \end{aligned}$$

В последнюю компоненту правой части предыдущего равенства подставляем соотношения (29) и полученный результат преобразуем по методу Абеля:

$$\begin{aligned}
\sum_{n=1}^N n^v a_n &\stackrel{(29)}{=} N^{v-r} \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} \left[ (n+1)^{v-r} - n^{v-r} \right] \frac{(n+1)^r Z_n^r(8) - n^r Z_{n-1}^r(8)}{(n+1)^r - n^r} = \\
&= N^{v-r} \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} \frac{(n+1)^{v-r} - n^{v-r}}{(n+1)^r - n^r} (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
&\quad + \sum_{n=0}^{N-2} \frac{(n+2)^{v-r} - (n+1)^{v-r}}{(n+2)^r - (n+1)^r} (n+1)^r Z_n^r(8) = \\
&= N^{v-r} \sum_{m=0}^N m^r a_m - \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \\
&\quad + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(n+2)^{v-r} - (n+1)^{v-r}}{(n+2)^r - (n+1)^r} - \frac{(n+1)^{v-r} - n^{v-r}}{(n+1)^r - n^r} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
&\quad + \frac{(0+2)^{v-r} - (0+1)^{v-r}}{(0+2)^r - (0+1)^r} (0+1)^r Z_0^r(8) \stackrel{(16)}{=} N^{v-r} s_N(8) - \\
&\quad - \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8),
\end{aligned}$$

где 1) частичная сумма порядка 0 координатного ряда (8)  $s_0(8) \stackrel{(16)}{=} \sum_{m=0}^0 m^r a_m = 0$ , 2) по определению

двойная подстановка  $h(u) \Big|_{u=n}^{u=n+1} := h(n+1) - h(u)$ , 3) среднее Зигмунда порядка 0 координатного ряда (8)

$$Z_0^r(8) \stackrel{(25)}{=} \sum_{n=0}^0 \left[ 1 - \left( \frac{n}{0+1} \right)^r \right] n^r a_n = 0.$$

Таким образом, двукратным применением преобразования Абеля мы получили следующие соотношения:

$$\begin{aligned}
\forall N \in \mathbb{Z}_1 \quad \sum_{n=1}^N n^v a_n &= N^{v-r} s_N(8) - \\
&- \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8), \quad (30)
\end{aligned}$$

где средние Зигмунда отрицательного порядка здесь и ниже по определению суть нули.

С помощью соотношений (30) для четвёртой компоненты правой части стартового представления первого вида (23) имеем

$$\begin{aligned}
\sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=0}^N n^v a_n &= \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^N n^v a_n \stackrel{(30)}{=} \\
&\stackrel{(30)}{=} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \left\{ N^{v-r} s_N(8) - \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \right. \\
&\quad \left. + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) \right\} = \frac{1}{N^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) - \\
&\quad - \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{(N+1)^v} d_v(N) + \\
&\quad + \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8). \quad (31)
\end{aligned}$$

Аналогично предыдущему для предпоследней восьмой компоненты правой части стартового представления первого вида (23) получаем

$$\begin{aligned}
& - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=0}^{P-1} n^v a_n = - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-1} n^v a_n = \\
& \stackrel{(30)}{=} - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \left\{ (P-1)^{v-r} s_{P-1}(8) - \frac{(P-1)^{v-r} - (P-2)^{v-r}}{(P-1)^r - (P-2)^r} (P-1)^r Z_{P-2}^r(8) + \right. \\
& \quad \left. + \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\} = \\
& \quad = - \frac{1}{(P-1)^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) + \\
& \quad + \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^{v-r} - (P-2)^{v-r}}{(P+1)^v} d_v(P) - \\
& \quad - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8). \tag{32}
\end{aligned}$$

*Шаг 4.* Сейчас работаем с пятой и последней девятой компонентами правой части стартового представления первого вида (23).

Также по методу Абеля имеем

$$\begin{aligned}
\sum_{n=0}^N n^v \cdot n^r a_n &= \sum_{n=1}^N n^v \cdot n^r a_n = \sum_{n=1}^N n^v \cdot \left( \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{m=0}^{n-1} m^r a_m \right) = \\
&= \sum_{n=1}^N n^v \sum_{m=0}^n m^r a_m - \sum_{n=0}^{N-1} (n+1)^v \sum_{m=0}^n m^r a_m = \\
&= N^v \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} [(n+1)^v - n^v] \sum_{m=0}^n m^r a_m - (0+1)^v \sum_{m=0}^0 m^r a_m = \\
&= N^v \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} [(n+1)^v - n^v] \sum_{m=0}^n m^r a_m.
\end{aligned}$$

Подставляем соотношения (29) в последнюю компоненту правой части предыдущего равенства и полученный результат преобразуем по методу Абеля:

$$\begin{aligned}
\sum_{n=0}^N n^v \cdot n^r a_n &\stackrel{(29)}{=} N^v \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} [(n+1)^v - n^v] \frac{(n+1)^r Z_n^r(8) - n^r Z_{n-1}^r(8)}{(n+1)^r - n^r} = \\
&= N^v \sum_{m=0}^N m^r a_m - \sum_{n=1}^{N-1} \frac{(n+1)^v - n^v}{(n+1)^r - n^r} (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
& \quad + \sum_{n=0}^{N-2} \frac{(n+2)^v - (n+1)^v}{(n+2)^r - (n+1)^r} (n+1)^r Z_n^r(8) = \\
&= N^v \sum_{m=0}^N m^r a_m - \frac{N^v - (N-1)^v}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \\
& \quad + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(n+2)^v - (n+1)^v}{(n+2)^r - (n+1)^r} - \frac{(n+1)^v - n^v}{(n+1)^r - n^r} \right] (n+1)^r Z_n^r(8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(0+2)^v - (0+1)^v}{(0+2)^r - (0+1)^r} (0+1)^r Z_0^r(8) \stackrel{(16)}{=} \\
\stackrel{(16)}{=} & N^v s_N(8) - \frac{N^v - (N-1)^v}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) + \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8).
\end{aligned}$$

Стало быть, по схеме предыдущего шага 3 двукратным применением преобразования Абеля мы получили следующие соотношения:

$$\begin{aligned}
\forall N \in Z_+ \quad \sum_{n=0}^N n^v \cdot n^r a_n &= N^v s_N(8) - \\
- \frac{N^v - (N-1)^v}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) &+ \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8). \quad (33)
\end{aligned}$$

Nota bene, соотношения (33) справедливы  $\forall N \in Z_+$ , а соотношения (30) справедливы  $\forall N \in Z_1$ . Последнее ограничение позволяет избежать в правой части (30) нулей в отрицательной степени.

Для пятой компоненты правой части стартового представления первого вида (23) с помощью соотношений (33) получаем

$$\begin{aligned}
- \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=0}^N n^v \cdot n^r a_n &\stackrel{(33)}{=} - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \left\{ N^v s_N(8) - \right. \\
- \frac{N^v - (N-1)^v}{N^r - (N-1)^r} N^r Z_{N-1}^r(8) &+ \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) \left. \right\} = \\
= - \frac{1}{(N+1)^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) &+ \\
+ \frac{1}{(N+1)^r} \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^v - (N-1)^v}{(N+1)^v} d_v(N) - & \\
- \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] &(n+1)^r Z_n^r(8). \quad (34)
\end{aligned}$$

Аналогично предыдущему для последней девятой компоненты правой части стартового представления первого вида (23) получаем

$$\begin{aligned}
\frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=0}^{P-1} n^v n^r a_n &\stackrel{(33)}{=} \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \left\{ (P-1)^v s_{P-1}(8) - \right. \\
- \frac{(P-1)^v - (P-2)^v}{(P-1)^r - (P-2)^r} (P-1)^r Z_{P-2}^r(8) &+ \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) \left. \right\} = \\
= \frac{1}{P^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) - & \\
- \frac{1}{P^r} \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^v - (P-2)^v}{(P+1)^v} d_v(P) &+ \\
+ \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] &(n+1)^r Z_n^r(8). \quad (35)
\end{aligned}$$

Шаг 5. Преобразуем по методу Абеля шестую компоненту правой части стартового представления первого вида (23):

$$\begin{aligned}
& \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] a_K \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) \stackrel{\text{Nota bene}}{=} \\
& \stackrel{\text{Nota bene}}{=} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^r \right] \frac{1}{K^r} \left( \sum_{n=0}^K n^r a_n - \sum_{n=0}^{K-1} n^r a_n \right) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) = \\
& = \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \left( \sum_{n=0}^K n^r a_n - \sum_{n=0}^{K-1} n^r a_n \right) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) \stackrel{(16)}{=} \\
& \stackrel{(16)}{=} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K). \tag{36}
\end{aligned}$$

Шаг 6. Подставляем соотношения (33) в оставшуюся седьмую компоненту правой части стартового представления первого вида (23):

$$\begin{aligned}
& \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=0}^{K-1} n^v \cdot n^r a_n \stackrel{(33)}{=} \\
& \stackrel{(33)}{=} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \left\{ (K-1)^v s_{K-1}(8) - \right. \\
& \left. - \frac{(K-1)^v - (K-2)^v}{(K-1)^r - (K-2)^r} (K-1)^r Z_{K-2}^r(8) + \sum_{n=1}^{K-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\} = \\
& = \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K-1}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{(K-1)^r Z_{K-2}^r(8)}{(K-1)^r - (K-2)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(K-1)^v - (K-2)^v}{(K+1)^v} d_v(K) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=1}^{K-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8). \tag{37}
\end{aligned}$$

Шаг 7. Стартовое представление первого вида (23) после подстановки в него последовательно соотношений (31), (34), (36), (37), (32) и (35) примет второй вид ( $P > N+1$ ):

$$\begin{aligned}
M_P(1) - M_N(1) &= \frac{1}{P^r} M_P(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] M_K(8) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8) + \\
& + \frac{1}{N^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) - \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{(N+1)^v} d_v(N) + \\
& + \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) - \\
& - \frac{1}{(N+1)^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{(N+1)^r} \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^v - (N-1)^v}{(N+1)^v} d_v(N) - \\
& - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K-1}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{(K-1)^r Z_{K-2}^r(8)}{(K-1)^r - (K-2)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(K-1)^v - (K-2)^v}{(K+1)^v} d_v(K) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=1}^{K-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) - \\
& - \frac{1}{(P-1)^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) + \\
& + \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^{v-r} - (P-2)^{v-r}}{(P+1)^v} d_v(P) - \\
& - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
& + \frac{1}{P^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) - \\
& - \frac{1}{P^r} \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^v - (P-2)^v}{(P+1)^v} d_v(P) + \\
& + \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r(8). \tag{38}
\end{aligned}$$

*Шаг 8.* Работаем с компонентами правой части (38), которые содержат частичные суммы (16) координатного ряда (8):

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{N^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) - \frac{1}{(N+1)^r} s_N(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{N}{N+1} \right)^v d_v(N) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) + \\
& + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K-1}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
& - \frac{1}{(P-1)^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) + \frac{1}{P^r} s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P) =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{K}{K+1} \right)^v d_v(K) - \\
&- \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K) - \\
&- \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v d_v(P). \tag{39}
\end{aligned}$$

Преобразуем правую часть (39):

$$\begin{aligned}
&\sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - 1 + \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] d_v(K) - \\
&- \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K) - \\
&- \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - 1 + \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v \right] d_v(P) = \\
&= \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) - \\
&- \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] d_v(K) - \\
&- \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K) - \\
&- \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(P) + \\
&+ \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v \right] d_v(P). \tag{40}
\end{aligned}$$

Стремимся выделить  $\forall K \in \mathbb{Z}_+$  разности  $1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K)$ . Тогда правая часть (40) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
&- \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \right] + \\
&+ \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) + \\
&- \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] d_v(K) - \\
&- \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K) - \\
&+ \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(P) \right] + \\
&- \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) + \\
&+ \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v \right] d_v(P). \tag{41}
\end{aligned}$$

Шаг 9. Второго вида стартовое представление (38) после подстановки в него соотношений (41) примет последний третий уже рабочий вид ( $P > N + 1$ ):

$$\begin{aligned}
M_P(1) - M_N(1) &= \frac{1}{P^r} M_P(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] M_K(8) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8) - \\
&\quad - \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{(N+1)^v} d_v(N) + \\
&\quad + \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^{v-r} - (P-2)^{v-r}}{(P+1)^v} d_v(P) + \\
&\quad + \frac{1}{(N+1)^r} \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^v - (N-1)^v}{(N+1)^v} d_v(N) - \\
&\quad - \frac{1}{P^r} \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^v - (P-2)^v}{(P+1)^v} d_v(P) - \\
&\quad - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{(K-1)^r Z_{K-2}^r(8)}{(K-1)^r - (K-2)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(K-1)^v - (K-2)^v}{(K+1)^v} d_v(K) + \\
&\quad + \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) - \\
&\quad - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
&\quad - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
&\quad + \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) + \\
&\quad + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=1}^{K-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) - \\
&\quad - \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \right] + \\
&\quad + \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(P) \right] + \\
&\quad + \sum_{K=N}^{P-2} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) + \\
&\quad - \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] d_v(K) - \\
&\quad + \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v \right] d_v(P) - \\
&\quad - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K). \tag{42}
\end{aligned}$$

Шаг 10. Для нормы первых трёх компонент правой части (42) в силу посылки (13) теоремы 3 имеем

$$\begin{aligned} & \left\| \frac{1}{P^r} M_P(8) + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] M_K(8) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ & \leq A_7 \left\{ \frac{1}{P^r} + \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] + \frac{1}{(N+1)^r} \right\} = \frac{2A_7}{(N+1)^r}. \end{aligned} \quad (43)$$

Шаг 11. Четвёртую компоненту правой части (42) разбиваем на две:

$$\begin{aligned} & -\frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{(N+1)^v} d_v(N) = \\ & = \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{r-1} \left[ \frac{1}{(N-1)^{r-v}} - \frac{1}{N^{r-v}} \right] \frac{1}{(N+1)^v} d_v(N) - \\ & - \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=r+1}^{+\infty} \left[ N^{v-r} - (N-1)^{v-r} \right] \frac{d_v(N)}{(N+1)^v}. \end{aligned} \quad (44)$$

Из формулы Ньютона—Лейбница

$$N^{v-r} - (N-1)^{v-r} = (v-r) \int_{N-1}^N t^{v-r-1} dt \quad (v \neq r)$$

получаем две оценки сверху:

$$\forall v \in [1, r-1] \cap Z_1 \quad \frac{1}{(N-1)^{r-v}} - \frac{1}{N^{r-v}} \leq \frac{r-v}{(N-1)^{r-v+1}}, \quad (45)$$

$$\forall v \in [r+1, +\infty) \cap Z_1 \quad N^{v-r} - (N-1)^{v-r} \leq (v-r) N^{v-r-1}, \quad (46)$$

а из формулы Ньютона—Лейбница

$$N^v - (N-1)^v = v \int_{N-1}^N t^{v-1} dt \quad (v \neq 0)$$

получаем двусторонние оценки

$$\forall v \in Z_1 \quad v(N-1)^{v-1} \leq N^v - (N-1)^v \leq v N^{v-1}. \quad (47)$$

Для средних Зигмунда натурального порядка  $r \in Z_1$  у двойной последовательности  $(d_v(N))_{(N,v) \in Z_+ \times Z_1}$  столбец  $r$ -й состоит из единиц:  $\forall N \in Z_+ \quad d_r(N) = 1$ , а остальные столбцы состоят из нулей:  $\forall N \in Z_+ \quad \forall v \in Z_1 \setminus \{r\} \quad d_v(N) = 0$ . Поэтому условие (9) выполняется с постоянной  $A_3 = r$ , условия (10) выполняются с постоянной  $A_4 = 0$ :  $\forall N \in Z_+ \quad \forall v \in [1, r-1] \cap Z_1 \quad |d_v(N)| \leq \frac{0}{(N+1)^{r-v}}$ , условие (11) выполняется с постоянной  $A_5 = 0$ , ибо  $\forall N \in Z_+ \quad$  разность  $1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) = 0$ .

Итак, средние Зигмунда натурального порядка  $r = 1, 2, 3, \dots$  удовлетворяют условиям (9), (10) и (11) теоремы 3.

Для нормы первой компоненты правой части (44) в силу левого неравенства (47), посылки (13), оценки сверху (45) и условия (10) имеем оценку

$$\begin{aligned} \forall N \in Z_2 \quad & \left\| \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r(8) \sum_{v=1}^{r-1} \left[ \frac{1}{(N-1)^{r-v}} - \frac{1}{N^{r-v}} \right] \frac{1}{(N+1)^v} d_v(N) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ & \leq \frac{N^r}{r(N-1)^{r-1}} A_7 \sum_{v=1}^{r-1} \frac{r-v}{(N-1)^{r-v+1}} \frac{1}{(N+1)^v} \frac{A_4}{(N+1)^{r-v}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= A_4 A_7 \frac{N^r}{r(N-1)^r (N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} \frac{r-v}{(N-1)^{r-v}} \leq \\
&\leq A_4 A_7 \frac{N^r}{r(N-1)^r (N+1)^r} (r-1) \sum_{v=1}^{r-1} \frac{1}{(N-1)^{r-v}} \leq \\
&\leq A_4 A_7 \frac{N^r}{r(N-1)^r (N+1)^r} (r-1)^2 = \\
&= A_4 A_7 \left(1 - \frac{1}{r}\right) (r-1) \left(1 + \frac{1}{N-1}\right)^r \frac{1}{(N+1)^r} \leq \frac{2^r (r-1) A_4 A_7}{(N+1)^r}. \tag{48}
\end{aligned}$$

Аналогично для нормы второй (последней) компоненты правой части (44) в силу левого неравенства (47), посылки (13), оценки сверху (46) и условия (9) получаем оценку

$$\begin{aligned}
\forall N \in Z_2 \quad &\left\| -\frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r (8) \sum_{v=r+1}^{+\infty} [N^{v-r} - (N-1)^{v-r}] \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
&\leq \frac{N^r}{r(N-1)^{r-1}} A_7 \sum_{v=r+1}^{+\infty} (v-r) N^{v-r-1} \frac{|d_v(N)|}{(N+1)^v} = \\
&= \frac{N^r}{r(N-1)^{r-1} (N+1)^{r+1}} A_7 \sum_{v=r+1}^{+\infty} (v-r) \left(\frac{N}{N+1}\right)^{v-r-1} |d_v(N)| \leq \\
&\leq \frac{1}{r} \left(1 + \frac{1}{N-1}\right)^{r-1} \frac{N}{N+1} \frac{A_7}{(N+1)^r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} v |d_v(N)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r}. \tag{49}
\end{aligned}$$

Из (44), (48) и (49) для нормы четвёртой компоненты правой части (42) имеем оценку

$$\begin{aligned}
\forall N \in Z_2 \quad &\left\| -\frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r (8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^{v-r} - (N-1)^{v-r}}{(N+1)^v} d_v(N) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
&\leq 2^r \left[ \frac{1}{2r} A_3 + (r-1) A_4 \right] A_7 \frac{1}{(N+1)^r}. \tag{50}
\end{aligned}$$

Для нормы пятой компоненты правой части (42) аналогично предыдущему получаем оценку  $\forall P \in Z_3 := \{3, 4, 5, \dots\}$

$$\begin{aligned}
&\left\| \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r (8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^{v-r} - (P-2)^{v-r}}{(P+1)^v} d_v(P) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
&\leq \frac{(P-1)^r}{r(P-2)^{r-1}} A_7 \sum_{v=1}^{r-1} \frac{r-v}{(P-2)^{r-v+1}} \frac{1}{(P+1)^v} \frac{A_4}{(P+1)^{r-v}} + \\
&+ \frac{(P-1)^r}{r(P-2)^{r-1} (P+1)^{r+1}} A_7 \sum_{v=r+1}^{+\infty} (v-r) \left(\frac{P-1}{P+1}\right)^{v-r-1} |d_v(P)| \leq \\
&\leq A_4 A_7 \frac{(P-1)^r}{r(P-2)^r (P+1)^r} (r-1) \sum_{v=1}^{r-1} \frac{1}{(P-2)^{r-v}} + \\
&+ \frac{1}{r} \left(1 + \frac{1}{P-2}\right)^{r-1} \frac{P-1}{P+1} \frac{A_7}{(P+1)^r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} v |d_v(P)| \stackrel{(9)}{\leq} \\
&\leq A_4 A_7 \left(1 - \frac{1}{r}\right) (r-1) \left(1 + \frac{1}{P-2}\right)^r \frac{1}{(P+1)^r} + \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(P+1)^r} \leq \\
&\leq 2^r \left[ \frac{1}{2r} A_3 + (r-1) A_4 \right] A_7 \frac{1}{(P+1)^r}. \tag{51}
\end{aligned}$$

*Шаг 12.* Для нормы шестой компоненты правой части (42) в силу последовательно левого и правого неравенства (47), посылки (13) и условия (9) имеем оценку

$$\begin{aligned}
\forall N \in Z_2 \left\| \frac{1}{(N+1)^r} \frac{N^r}{N^r - (N-1)^r} Z_{N-1}^r (8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{N^v - (N-1)^v}{(N+1)^v} d_v(N) \right\|_{\mathbf{B}} &\leq \\
&\leq \frac{1}{(N+1)^r} \frac{N^r}{r(N-1)^{r-1}} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{vN^{v-1}}{(N+1)^v} |d_v(N)| = \\
&= \frac{1}{(N+1)^r} \frac{1}{r} \left(1 + \frac{1}{N-1}\right)^{r-1} \frac{N}{N+1} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \left(\frac{N}{N+1}\right)^{v-1} v |d_v(N)| \leq \\
&\leq \frac{1}{(N+1)^r} \frac{2^{r-1}}{r} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(N)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r}.
\end{aligned} \tag{52}$$

Для нормы седьмой компоненты правой части (42) аналогично предыдущему получаем оценку

$$\begin{aligned}
\forall P \in Z_3 \left\| -\frac{1}{P^r} \frac{(P-1)^r}{(P-1)^r - (P-2)^r} Z_{P-2}^r (8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(P-1)^v - (P-2)^v}{(P+1)^v} d_v(P) \right\|_{\mathbf{B}} &\leq \\
&\leq \frac{1}{P^r} \frac{(P-1)^r}{r(P-2)^{r-1}} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{v(P-1)^{v-1}}{(P+1)^v} |d_v(P)| = \\
&= \frac{1}{P^r} \frac{1}{r} \left(1 + \frac{1}{P-2}\right)^{r-1} \frac{P-1}{P+1} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \left(\frac{P-1}{P+1}\right)^{v-1} v |d_v(P)| \leq \\
&\leq \frac{1}{P^r} \frac{2^{r-1}}{r} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(P)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{rP^r}.
\end{aligned} \tag{53}$$

*Шаг 13.* Для нормы восьмой компоненты правой части (42) в силу последовательно левого и правого неравенства (47), посылки (13) и условия (9) имеем оценку ( $P > N+1$ )  $\forall N \in Z_2$

$$\begin{aligned}
\left\| -\sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{(K-1)^r Z_{K-2}^r (8)}{(K-1)^r - (K-2)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{(K-1)^v - (K-2)^v}{(K+1)^v} d_v(K) \right\|_{\mathbf{B}} &\leq \\
&\leq \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{(K-1)^r}{r(K-2)^{r-1}} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{v(K-1)^{v-1}}{(K+1)^v} |d_v(K)| = \\
&= \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{1}{r} \left(1 + \frac{1}{K-2}\right)^{r-1} \frac{K-1}{K+1} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} \left(\frac{K-1}{K+1}\right)^{v-1} v |d_v(K)| \leq \\
&\leq \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{2^{r-1}}{r} A_7 \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(K)| \stackrel{(9)}{\leq} \\
&\leq \frac{2^{r-1}}{r} A_3 A_7 \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] = \frac{2^{r-1}}{r} A_3 A_7 \left[ \frac{1}{(N+1)^r} - \frac{1}{P^r} \right].
\end{aligned} \tag{54}$$

*Шаг 14.* Девятую компоненту правой части (42) разбиваем на две:

$$\begin{aligned}
&\sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r (8) = \\
&= -\sum_{v=1}^{r-1} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left\{ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right\} (n+1)^r Z_n^r (8) + \\
&+ \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right] (n+1)^r Z_n^r (8).
\end{aligned} \tag{55}$$

По формуле Ньютона—Лейбница двойная подстановка

$$\left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} = \int_n^{n+1} \left\{ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \right\}' du. \quad (56)$$

Производная

$$\begin{aligned} \left\{ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \right\}' &= \left[ -\frac{r-v}{u^{r-v+1}} + \frac{r-v}{(u+1)^{r-v+1}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} + \\ &+ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{-r \left[ (u+1)^{r-1} - u^{r-1} \right]}{\left[ (u+1)^r - u^r \right]^2} = \\ &= -(r-v) \left[ \frac{1}{u^{r-v+1}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v+1}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} - \\ &- r \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{(u+1)^{r-1} - u^{r-1}}{\left[ (u+1)^r - u^r \right]^2} < 0. \end{aligned} \quad (57)$$

Из  $(u+1)^v - u^v = v \int_u^{u+1} t^{v-1} dt$  ( $v \neq 0$ ) получаем двусторонние оценки

$$\forall v \in Z_1 \quad v u^{v-1} \leq (u+1)^v - u^v \leq v(u+1)^{v-1}, \quad (58)$$

где в случае  $v=1$   $u \in (-\infty, -1) \cup (-1, 0) \cup (0, +\infty)$ ; последнее условие исключает появление в (58) нулей в нулевой степени. Для модуля отрицательной по знаку производной (57) с помощью оценки сверху (45) и двусторонних оценок (58) получаем следующую оценку:

$$\begin{aligned} &\left| \left\{ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \right\}' \right| \leq \\ &\leq (r-v) \frac{r-v+1}{u^{r-v+2}} \frac{1}{ru^{r-1}} + r \frac{r-v}{u^{r-v+1}} \frac{(r-1)(u+1)^{r-2}}{(ru^{r-1})^2} = \frac{(r-v)(r-v+1)}{r} \frac{1}{u^{2r-v+1}} + \\ &+ \frac{(r-v)(r-1)}{r} \frac{(u+1)^{r-2}}{u^{3r-v-1}} = \frac{r-v}{r} \left[ \frac{r-v+1}{u^{2r-v+1}} + \left( \frac{u+1}{u} \right)^{r-2} \frac{r-1}{u^{2r-v+1}} \right] = \\ &= \frac{r-v}{r} \left[ \frac{r-v+1}{u^{2r-v+1}} + \left( 1 + \frac{1}{u} \right)^{r-2} \frac{r-1}{u^{2r-v+1}} \right] \leq \frac{r-v}{r} \left( \frac{r-v+1}{u^{2r-v+1}} + 2^{r-2} \frac{r-1}{u^{2r-v+1}} \right) = \\ &= \frac{(r-v) \left[ r-v+1 + 2^{r-2} (r-1) \right]}{ru^{2r-v+1}}. \end{aligned} \quad (59)$$

Из формулы Ньютона—Лейбница (56) с помощью неравенства (59) имеем следующую оценку модуля двойной подстановки:

$$\begin{aligned} \left| \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} \right| &\leq \int_n^{n+1} \frac{(r-v) \left[ r-v+1 + 2^{r-2} (r-1) \right]}{ru^{2r-v+1}} du \leq \\ &\leq \frac{(r-v) \left[ r-v+1 + 2^{r-2} (r-1) \right]}{rn^{2r-v+1}}. \end{aligned} \quad (60)$$

Для нормы первой компоненты правой части (55) в силу условия (10), оценки (60) и посылки (13) получаем оценку  $\forall N \in Z_3$

$$\begin{aligned}
 & \left\| - \sum_{v=1}^{r-1} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \Bigg|_{u=n}^{u=n+1} \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
 & \leq \sum_{v=1}^{r-1} \frac{1}{(N+1)^v} \frac{A_4}{(N+1)^{r-v}} \sum_{n=1}^{N-2} \frac{(r-v)[r-v+1+2^{r-2}(r-1)]}{rn^{2r-v+1}} (n+1)^r A_7 = \\
 & = \frac{A_4 A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} (r-v)[r-v+1+2^{r-2}(r-1)] \sum_{n=1}^{N-2} \frac{1}{n^{r-v+1}} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^r \leq \\
 & \leq \frac{2^r A_4 A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} (r-v)[r-v+1+2^{r-2}(r-1)] \sum_{n=1}^{N-2} \frac{1}{n^{r-v+1}}. \quad (61)
 \end{aligned}$$

Оцениваем сверху последнюю сумму в правой части (61):

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^{N-2} \frac{1}{n^{r-v+1}} &= 1 + \sum_{n=2}^{N-2} \frac{1}{n^{r-v+1}} \leq 1 + \int_1^{N-2} \frac{dt}{t^{r-v+1}} = 1 - \frac{1}{r-v} \frac{1}{t^{r-v}} \Bigg|_1^{N-2} = \\
 &= 1 - \frac{1}{r-v} \left[ \frac{1}{(N-2)^{r-v}} - 1 \right] = 1 + \frac{1}{r-v} - \frac{1}{r-v} \frac{1}{(N-2)^{r-v}} \leq \frac{r-v+1}{r-v}. \quad (62)
 \end{aligned}$$

Подстановка неравенства (62) в неравенство (61) приводит к оценке  $\forall N \in Z_3$

$$\begin{aligned}
 & \left\| - \sum_{v=1}^{r-1} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \Bigg|_{u=n}^{u=n+1} \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
 & \leq \frac{2^r A_4 A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} (r-v)[r-v+1+2^{r-2}(r-1)] \frac{r-v+1}{r-v} = \\
 & = \frac{2^r A_4 A_7}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} [r-v+1+2^{r-2}(r-1)] \left(1 - \frac{v-1}{r}\right) \leq \\
 & \leq \frac{2^r A_4 A_7}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{r-1} [r+2^{r-2}(r-1)] = \frac{2^r (r-1)[r+2^{r-2}(r-1)] A_4 A_7}{(N+1)^r}. \quad (63)
 \end{aligned}$$

Аналогично предыдущему оцениваем сверху норму второй компоненты правой части (55). По формуле Ньютона—Лейбница двойная подстановка

$$\frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \Bigg|_{u=n}^{u=n+1} = \int_n^{n+1} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]' du. \quad (64)$$

Модуль производной

$$\begin{aligned}
 & \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]' = \\
 & = \frac{(v-r)[(u+1)^{v-r-1} - u^{v-r-1}][(u+1)^r - u^r] - [(u+1)^{v-r} - u^{v-r}]r[(u+1)^{r-1} - u^{r-1}]}{[(u+1)^r - u^r]^2}
 \end{aligned}$$

оцениваем сверху с помощью двусторонней оценки (58):

$$\begin{aligned}
 & \left| \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]' \right| \leq \\
 & \leq \frac{(v-r)(v-r-1)(u+1)^{v-r-2} r(u+1)^{r-1} + (v-r)(u+1)^{v-r-1} r(r-1)(u+1)^{r-2}}{(ru^{r-1})^2} = \\
 & = \frac{(v-r)(v-2)(u+1)^{v-3}}{ru^{2r-2}}. \tag{65}
 \end{aligned}$$

Из формулы Ньютона—Лейбница (64) с помощью неравенства (65) имеем следующую оценку модуля двойной подстановки:

$$\begin{aligned}
 & \left| \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right|_{u=n}^{u=n+1} \leq \int_n^{n+1} \frac{(v-r)(v-2)(u+1)^{v-3}}{ru^{2r-2}} du = \\
 & = \frac{(v-r)(v-2)}{r} \int_n^{n+1} \left(1 + \frac{1}{u}\right)^{r-1} \frac{(u+1)^{v-r-2}}{u^{r-1}} du \leq \\
 & \leq \frac{2^{r-1}(v-r)(v-2)}{r} \int_n^{n+1} \frac{(u+1)^{v-r-2}}{u^{r-1}} du \stackrel{\text{Nota bene}}{\leq} \\
 & \stackrel{\text{Nota bene}}{\leq} \frac{2^{r-1}(v-r)(v-2)}{r} \int_n^{n+1} \frac{(u+1)^{v-r-2}}{u^{r-1}} \frac{u+1}{u} du = \\
 & = \frac{2^{r-1}(v-r)(v-2)}{r} \int_n^{n+1} \frac{(u+1)^{v-r-1}}{u^r} du \leq \frac{2^{r-1}(v-r)(v-2)}{r} \frac{(n+2)^{v-r-1}}{n^r}. \tag{66}
 \end{aligned}$$

Норму второй компоненты правой части (55) оцениваем сверху с помощью последовательно неравенства (66), посылки (13) и условия (9):

$$\begin{aligned}
 & \forall N \in Z_3 \left\| \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
 & \leq \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{|d_v(N)|}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \frac{2^{r-1}(v-r)(v-2)}{r} \frac{(n+2)^{v-r-1}}{n^r} (n+1)^r A_7 = \\
 & = \frac{2^{r-1} A_7}{r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{(v-r)(v-2) |d_v(N)|}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} (n+2)^{v-r-1} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^r \leq \\
 & \leq \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{(v-r)(v-2) |d_v(N)|}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} (n+2)^{v-r-1} \leq \\
 & \leq \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{(v-r)(v-2) |d_v(N)|}{(N+1)^v} \int_1^{N-1} (t+2)^{v-r-1} dt = \\
 & = \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{(v-r)(v-2) |d_v(N)|}{(N+1)^v} \frac{(t+2)^{v-r}}{v-r} \Big|_1^{N-1} = \\
 & = \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{(v-2) |d_v(N)|}{(N+1)^v} [(N+1)^{v-r} - (1+2)^{v-r}] \leq \\
 & \leq \frac{2^{2r-1} A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=r+1}^{+\infty} v |d_v(N)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r}. \tag{67}
 \end{aligned}$$

Из (55), (63) и (67) для нормы девятой компоненты правой части (42) получаем оценку

$$\begin{aligned} \forall N \in Z_3 \left\| \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} &\leq \\ &\leq \frac{2^r \{ 2^{r-1} r^{-1} A_3 + (r-1)[r+2^{r-2}(r-1)] A_4 \} A_7}{(N+1)^r}. \end{aligned} \quad (68)$$

Для нормы десятой компоненты правой части (42) аналогично предыдущему получаем оценку  $\forall P \in Z_4 := \{4, 5, 6, \dots\}$

$$\begin{aligned} &\left\| - \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ &\leq \left\| \sum_{v=1}^{r-1} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left\{ \left[ \frac{1}{u^{r-v}} - \frac{1}{(u+1)^{r-v}} \right] \frac{1}{(u+1)^r - u^r} \right\}_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} + \\ &+ \left\| - \sum_{v=r+1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^{v-r} - u^{v-r}}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ &\leq \frac{2^r (r-1)[r+2^{r-2}(r-1)] A_4 A_7}{P^r} + \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{r P^r} = \\ &= \frac{2^r \{ 2^{r-1} r^{-1} A_3 + (r-1)[r+2^{r-2}(r-1)] A_4 \} A_7}{P^r}. \end{aligned} \quad (69)$$

*Шаг 15.* Оцениваем норму одиннадцатой компоненты правой части (42). По формуле Ньютона—Лейбница двойная подстановка

$$\frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \Big|_{u=n}^{u=n+1} = \int_n^{n+1} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]' du. \quad (70)$$

Производная

$$\begin{aligned} &\left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]' = \\ &= \frac{v \left[ (u+1)^{v-1} - u^{v-1} \right] \left[ (u+1)^r - u^r \right] - \left[ (u+1)^v - u^v \right] r \left[ (u+1)^{r-1} - u^{r-1} \right]}{\left[ (u+1)^r - u^r \right]^2}. \end{aligned}$$

Для модуля предыдущей производной с помощью двусторонней оценки (58) получаем оценку сверху

$$\begin{aligned} \left| \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]' \right| &\leq \frac{v(v-1)(u+1)^{v-2} r(u+1)^{r-1} + v(u+1)^{v-1} r(r-1)(u+1)^{r-2}}{\left( r u^{r-1} \right)^2} = \\ &= \frac{v r (v+r-2)(u+1)^{v+r-3}}{r^2 u^{2r-2}} = \\ &= \frac{v(v+r-2)}{r} \left( 1 + \frac{1}{u} \right)^{r-1} \frac{(u+1)^{v-2}}{u^{r-1}} \leq \frac{2^{r-1} v(v+r-2)}{r} \frac{(u+1)^{v-2}}{u^{r-1}}. \end{aligned} \quad (71)$$

Из формулы Ньютона—Лейбница (70) с помощью неравенства (71) имеем следующую оценку сверху модуля двойной подстановки:

$$\begin{aligned} & \left| \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right|_{u=n}^{u=n+1} \leq \int_n^{n+1} \frac{2^{r-1} v(v+r-2)}{r} \frac{(u+1)^{v-2}}{u^{r-1}} du \leq \\ & \leq \frac{2^{r-1} v(v+r-2)}{r} \int_n^{n+1} \frac{(u+1)^{v-2}}{u^{r-1}} \frac{u+1}{u} du \leq \frac{2^{r-1} v(v+r-2)}{r} \frac{(n+2)^{v-1}}{n^r}. \end{aligned} \quad (72)$$

Тогда в силу оценки сверху (72) и посылки (13) норма

$$\begin{aligned} & \left\| \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ & \leq \sum_{n=1}^{N-2} \frac{2^{r-1} v(v+r-2)}{r} \frac{(n+2)^{v-1}}{n^r} (n+1)^r A_7 = \\ & = \frac{2^{r-1} A_7 v(v+r-2)}{r} \sum_{n=1}^{N-2} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^r (n+2)^{v-1} \leq \frac{2^{2r-1} A_7 v(v+r-2)}{r} \int_1^{N-1} (t+2)^{v-1} dt = \\ & = \frac{2^{2r-1} A_7 v(v+r-2)}{r} \frac{(t+2)^v}{v} \Big|_1^{N-1} \leq \frac{2^{2r-1} A_7 (v+r-2)}{r} (N+1)^v. \end{aligned} \quad (73)$$

Из оценки (73), очевидных неравенств

$$\forall v \in Z_1 \quad \forall r \in Z_1 \quad v+r-2 \leq rv \quad (74)$$

и условий (9) и (13) для нормы одиннадцатой компоненты правой части (42) получаем оценку сверху

$$\begin{aligned} & \forall N \in Z_3 \quad \left\| -\frac{1}{(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(N)}{(N+1)^v} \sum_{n=1}^{N-2} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(13),(73)}{\leq} \\ & \stackrel{(13),(73)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} (v+r-2) |d_v(N)| \stackrel{(74)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{r(N+1)^r} \sum_{v=1}^{+\infty} rv |d_v(N)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{(N+1)^r}. \end{aligned} \quad (75)$$

Аналогично предыдущему для нормы двенадцатой компоненты правой части (42) имеем

$$\begin{aligned} & \forall P \in Z_4 \quad \left\| \frac{1}{P^r} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(P)}{(P+1)^v} \sum_{n=1}^{P-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(13),(73)}{\leq} \\ & \stackrel{(13),(73)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{rP^r} \sum_{v=1}^{+\infty} (v+r-2) \left(\frac{P}{P+1}\right)^v |d_v(P)| \stackrel{(74)}{\leq} \\ & \stackrel{(74)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{rP^r} \sum_{v=1}^{+\infty} rv |d_v(P)| \stackrel{(9)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{P^r}. \end{aligned} \quad (76)$$

*Шаг 16.* Для нормы тринадцатой компоненты правой части (42) в силу оценки сверху (73), неравенств (74) и условий (9) и (13) получаем  $\forall P \in Z_5 := \{5, 6, 7, \dots\}$

$$\begin{aligned} & \left\| \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{d_v(K)}{(K+1)^v} \sum_{n=1}^{K-3} \left[ \frac{(u+1)^v - u^v}{(u+1)^r - u^r} \right]_{u=n}^{u=n+1} (n+1)^r Z_n^r(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\ & \stackrel{(13),(73)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} (v+r-2) \left(\frac{K}{K+1}\right)^v |d_v(K)| \stackrel{(74)}{\leq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\stackrel{(74)}{\leq} \frac{2^{2r-1} A_7}{r} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \sum_{v=1}^{+\infty} r v |d_v(K)| \stackrel{(9)}{\leq} \\
&\stackrel{(9)}{\leq} 2^{2r-1} A_3 A_7 \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] = 2^{2r-1} A_3 A_7 \left[ \frac{1}{(N+1)^r} - \frac{1}{P^r} \right]. \tag{77}
\end{aligned}$$

*Шаг 17.* Для нормы четырнадцатой компоненты правой части (42) в силу условия (11) получаем оценку сверху ( $P > N+1$ )

$$\begin{aligned}
&\left\| - \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(K) \right] \right\|_{\mathbf{B}} \leq \\
&\leq A_5 \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] = A_5 \left( \frac{1}{N^r} - \frac{1}{P^r} \right). \tag{78}
\end{aligned}$$

В силу предыдущего очевидна следующая оценка сверху нормы пятнадцатой компоненты правой части (42) ( $P > N+1$ ):

$$\left\| \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(P) \right] \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(11)}{\leq} A_5 \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right]. \tag{79}$$

*Шаг 18.* Для нормы шестнадцатой компоненты правой части (42) согласно правому неравенству (58) имеем:

$$\begin{aligned}
&\left\| \sum_{K=N+1}^{P-2} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \right\|_{\mathbf{B}} = \left\| \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{(K+1)^r - K^r}{K^r (K+1)^r} s_K(8) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(58)}{\leq} \\
&\stackrel{(58)}{\leq} \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{r(K+1)^{r-1}}{K^r (K+1)^r} \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}} = r \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^r (K+1)} \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}} \leq \\
&\leq r \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^{r+1}} \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}. \tag{80}
\end{aligned}$$

В силу свойства (17)

$$\forall N \in \mathbb{Z}_1 \exists N_{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} \in \mathbb{Z}_+ \forall K \in \mathbb{Z}_1 \left[ K \geq N_{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} \Rightarrow \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K^{\frac{1}{2}}} \leq \frac{1}{N^{\frac{1}{2}}} \right]. \tag{81}$$

Тогда для  $P > N_{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} + 2$

$$\begin{aligned}
r \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^{r+1}} \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}} &= r \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^{r+1-\frac{1}{2}}} \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K^{\frac{1}{2}}} \stackrel{(81)}{\leq} r \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^{r+\frac{1}{2}}} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}}} = \\
&= \frac{r}{N^{\frac{1}{2}}} \sum_{K=N+1}^{P-2} \frac{1}{K^{r+\frac{1}{2}}} \leq \frac{r}{N^{\frac{1}{2}}} \int_N^{P-2} \frac{dt}{t^{r+\frac{1}{2}}} = \frac{r}{N^{\frac{1}{2}}} \left( - \frac{1}{r-\frac{1}{2}} \frac{1}{t^{r-\frac{1}{2}}} \Big|_N^{P-2} \right) = \\
&= \frac{r}{N^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{r-\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{N^{r-\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(P-2)^{r-\frac{1}{2}}} \right] = \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^r} - \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-2)^{r-\frac{1}{2}}}. \tag{82}
\end{aligned}$$

Из (80) и (82) для нормы шестнадцатой компоненты правой части (42) для всех достаточно больших номеров получаем следующую оценку сверху  $\left( P > N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} + 2 \right)$ :

$$\left\| \sum_{K=N+1}^{P-2} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \right\|_{\mathbf{B}} \leq \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^r} - \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}(P-2)^{r-\frac{1}{2}}}}. \quad (83)$$

Шаг 19. Так как неравенство Я. Бернулли

$$\forall v \in Z_1 \quad \forall x \in [-1, +\infty) \quad (1+x)^v \geq 1+vx \quad (84)$$

влечёт

$$\forall K \in Z_+ \quad \forall v \in Z_1 \quad 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^v = 1 - \left( 1 - \frac{1}{K+1} \right)^v \leq 1 - \left( 1 - \frac{v}{K+1} \right) = \frac{v}{K+1}, \quad (85)$$

то для нормы семнадцатой компоненты правой части (42) для всех достаточно больших номеров имеем следующую оценку сверху  $\left( P > N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} \right)$ :

$$\begin{aligned} & \left\| - \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_K(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{K}{K+1} \right)^v \right] d_v(K) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(85)}{\leq} \\ & \stackrel{(85)}{\leq} \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{v}{K+1} |d_v(K)| = \\ & = \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(K)| \stackrel{(9)}{\leq} \\ & \stackrel{(9)}{\leq} A_3 \sum_{K=N}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} = A_3 \sum_{K=N}^{P-1} \frac{(K+1)^r - K^r}{K^r (K+1)^r} \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} \stackrel{(58)}{\leq} \\ & \stackrel{(58)}{\leq} A_3 \sum_{K=N}^{P-1} \frac{r(K+1)^{r-1}}{K^r (K+1)^r} \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} = rA_3 \sum_{K=N}^{P-1} \frac{1}{K^r (K+1)^2} \|s_K(8)\|_{\mathbf{B}} \leq \\ & \leq rA_3 \sum_{K=N}^{P-1} \frac{1}{K^{r+2-\frac{1}{2}}} \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K^{\frac{1}{2}}} \stackrel{(81)}{\leq} rA_3 \sum_{K=N}^{P-1} \frac{1}{K^{r+\frac{3}{2}}} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}}} \leq \\ & \leq \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \int_{N-1}^{P-1} \frac{dt}{t^{r+\frac{3}{2}}} = \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \left( -\frac{1}{r+\frac{1}{2}} \frac{1}{t^{r+\frac{1}{2}}} \right) \Big|_{N-1}^{P-1} = \\ & = \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{r+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{(N-1)^{r+\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(P-1)^{r+\frac{1}{2}}} \right] \leq \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}} - \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}}(P-1)^{r+\frac{1}{2}}}. \quad (86) \end{aligned}$$

Из неравенства Я. Бернулли (84) получаем

$$\forall P \in Z_+ \quad \forall v \in Z_1 \quad 1 - \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v = 1 - \left( 1 - \frac{2}{P+1} \right)^v \leq 1 - \left( 1 - \frac{2v}{P+1} \right) = \frac{2v}{P+1}. \quad (87)$$

Для нормы предпоследней восемнадцатой компоненты правой части (42) для  $P > N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}}$  имеем

$$\begin{aligned}
& \left\| \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] s_{P-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{P-1}{P+1} \right)^v \right] d_v(P) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(87)}{\leq} \\
& \stackrel{(87)}{\leq} \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] \|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{2v}{P+1} |d_v(P)| \leq \\
& \leq 2 \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] \frac{\|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{P-1} \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(P)| \stackrel{(9)}{\leq} \\
& \stackrel{(9)}{\leq} 2A_3 \frac{P^r - (P-1)^r}{(P-1)^r P^r} \frac{\|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{P-1} \stackrel{(58)}{\leq} 2A_3 \frac{rP^{r-1}}{(P-1)^r P^r} \frac{\|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{P-1} = \\
& = 2rA_3 \frac{1}{(P-1)^{r+1} P} \|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}} \leq 2rA_3 \frac{1}{(P-1)^{r+\frac{3}{2}}} \frac{\|s_{P-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{(P-1)^{\frac{1}{2}}} \stackrel{(81)}{\leq} \\
& \stackrel{(81)}{\leq} 2rA_3 \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-1)^{r+\frac{3}{2}}}. \tag{88}
\end{aligned}$$

Шаг 20. Для нормы последней девятнадцатой компоненты правой части (42) для  $P > N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}+1}$

получаем

$$\begin{aligned}
& \left\| - \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] s_{K-1}(8) \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{K^v - (K-1)^v}{(K+1)^v} d_v(K) \right\|_{\mathbf{B}} \stackrel{(58)}{\leq} \\
& \stackrel{(58)}{\leq} \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}} \sum_{v=1}^{+\infty} \frac{vK^{v-1}}{(K+1)^v} |d_v(K)| = \\
& = \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} \sum_{v=1}^{+\infty} v \left( \frac{K}{K+1} \right)^{v-1} |d_v(K)| \leq \\
& \leq \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} \sum_{v=1}^{+\infty} v |d_v(K)| \stackrel{(9)}{\leq} \\
& \stackrel{(9)}{\leq} A_3 \sum_{K=N+1}^{P-1} \left[ \frac{1}{K^r} - \frac{1}{(K+1)^r} \right] \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} = A_3 \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{(K+1)^r - K^r}{K^r (K+1)^r} \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} \stackrel{(58)}{\leq} \\
& \stackrel{(58)}{\leq} A_3 \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{r(K+1)^{r-1}}{K^r (K+1)^r} \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{K+1} = rA_3 \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{1}{K^r (K+1)^2} \|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}} \leq \\
& \leq rA_3 \sum_{K=N+1}^{P-1} \frac{1}{(K-1)^{r+2-\frac{1}{2}}} \frac{\|s_{K-1}(8)\|_{\mathbf{B}}}{(K-1)^{\frac{1}{2}}} = rA_3 \sum_{K=N}^{P-2} \frac{1}{K^{r+\frac{3}{2}}} \frac{\|s_K(8)\|_{\mathbf{B}}}{K^{\frac{1}{2}}} \stackrel{(81)}{\leq} \\
& \stackrel{(81)}{\leq} rA_3 \sum_{K=N}^{P-2} \frac{1}{K^{r+\frac{3}{2}}} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}}} = \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \sum_{K=N}^{P-2} \frac{1}{K^{r+\frac{3}{2}}} \leq \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \int_{N-1}^{P-2} \frac{dt}{t^{r+\frac{3}{2}}} = \\
& = \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \left( -\frac{1}{r+\frac{1}{2}} \frac{1}{t^{r+\frac{1}{2}}} \Big|_{N-1}^{P-2} \right) = \frac{rA_3}{N^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{r+\frac{1}{2}} \left[ \frac{1}{(N-1)^{r+\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(P-2)^{r+\frac{1}{2}}} \right] \leq \\
& \leq \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}} - \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-2)^{r+\frac{1}{2}}}. \tag{89}
\end{aligned}$$

Шаг 21. Из рабочего представления (42) с учётом оценок сверху (43), (50)–(54), (68), (69), (75)–(79), (83), (86), (88) и (89) для нормы разности Коши, где  $P > N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} + 2$ , имеем

$$\begin{aligned}
\|M_P(1) - M_N(1)\|_{\mathbf{B}} &\leq \frac{2A_7}{(N+1)^r} + 2^r \left[ \frac{1}{2r} A_3 + (r-1)A_4 \right] A_7 \frac{1}{(N+1)^r} + \\
&+ 2^r \left[ \frac{1}{2r} A_3 + (r-1)A_4 \right] A_7 \frac{1}{(P+1)^r} + \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r} + \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{rP^r} + \\
&+ \frac{2^{r-1}}{r} A_3 A_7 \left[ \frac{1}{(N+1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] + \frac{2^r \{ 2^{r-1} r^{-1} A_3 + (r-1) [r + 2^{r-2} (r-1)] A_4 \} A_7}{(N+1)^r} + \\
&+ \frac{2^r \{ 2^{r-1} r^{-1} A_3 + (r-1) [r + 2^{r-2} (r-1)] A_4 \} A_7}{P^r} + \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{(N+1)^r} + \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{P^r} + \\
&+ 2^{2r-1} A_3 A_7 \left[ \frac{1}{(N+1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] + A_5 \left( \frac{1}{N^r} - \frac{1}{P^r} \right) + A_5 \left[ \frac{1}{(P-1)^r} - \frac{1}{P^r} \right] + \\
&+ \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^r} - \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-2)^{r-\frac{1}{2}}} + \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}} - \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-1)^{r+\frac{1}{2}}} + \\
&+ 2rA_3 \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-1)^{r+\frac{3}{2}}} + \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}} - \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{N^{\frac{1}{2}} (P-2)^{r+\frac{1}{2}}}. \tag{90}
\end{aligned}$$

Так как пространство  $\mathbf{B}$  банахово, т. е. полное относительно своей нормы  $\|\circ\|_{\mathbf{B}}$ , то из (90) предельным переходом по  $P \rightarrow +\infty$  получаем

$$\begin{aligned}
\|s - M_N(1)\|_{\mathbf{B}} &\leq \frac{2A_7}{(N+1)^r} + 2^r \left[ \frac{1}{2r} A_3 + (r-1)A_4 \right] A_7 \frac{1}{(N+1)^r} + \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r} + \\
&+ \frac{2^{r-1} A_3 A_7}{r(N+1)^r} + \frac{2^r \{ 2^{r-1} r^{-1} A_3 + (r-1) [r + 2^{r-2} (r-1)] A_4 \} A_7}{(N+1)^r} + \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{(N+1)^r} + \\
&+ \frac{2^{2r-1} A_3 A_7}{(N+1)^r} + \frac{A_5}{N^r} + \frac{2r}{2r-1} \frac{1}{N^r} + \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}} + \frac{2rA_3}{2r+1} \frac{1}{(N-1)^{r+1}}.
\end{aligned}$$

Отсюда, ввиду неравенств

$$\begin{aligned}
\forall N \in Z_1 \quad \frac{1}{N^r} &= \left[ \frac{N+1}{N(N+1)} \right]^r = \left[ \left( 1 + \frac{1}{N} \right) \frac{1}{N+1} \right]^r \leq \left( 2 \frac{1}{N+1} \right)^r = 2^r \frac{1}{(N+1)^r}, \\
\forall N \in Z_2 \quad \frac{1}{(N-1)^{r+1}} &\leq \frac{1}{(N-1)^r} = \left[ \frac{N+1}{(N-1)(N+1)} \right]^r = \left[ \left( 1 + \frac{2}{N-1} \right) \frac{1}{N+1} \right]^r \leq \\
&\leq \left( 3 \frac{1}{N+1} \right)^r = 3^r \frac{1}{(N+1)^r},
\end{aligned}$$

имеем скорость (14) с константой (15) для всех номеров, начиная с  $N^{\beta=\frac{1}{2}, \varepsilon=\frac{1}{N^2}} + 2$ .

Доказательство теоремы 3 закончено.

**4. Доказательство теоремы 4. Шаг 1.** Для  $N$ -о среднего Зигмунда (24) натурального порядка  $N$ -о матричного среднего (6) ряда (1) имеем следующее представление через  $N$ -е матричное среднее (6) того же ряда (1):

$$\begin{aligned} \forall N \in Z_+ \quad Z_N^r [M_N(1)] &:= \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] \cdot \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] a_n \stackrel{(6)}{=} \\ &\stackrel{(6)}{=} M_N(1) - \frac{1}{(N+1)^r} \sum_{n=0}^N \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] n^r a_n, \end{aligned} \quad (91)$$

которое с учётом определения (7)  $N$ -о матричного среднего координатного ряда (8) примет вид

$$\forall N \in Z_+ \quad Z_N^r [M_N(1)] = M_N(1) - \frac{1}{(N+1)^r} M_N(8). \quad (92)$$

Из (92) получаем стартовые для доказательства (19) тождества

$$\forall N \in Z_+ \quad M_N(8) = (N+1)^r \left\{ M_N(1) - Z_{N+1}^r [M_N(1)] \right\}. \quad (93)$$

*Шаг 2.* В силу определения (6)

$$\forall N \in Z_+ \quad s - M_N(1) = s - a_0 - \sum_{n=1}^N \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] a_n.$$

Тогда согласно определению (24)

$$\begin{aligned} \forall N \in Z_+ \quad Z_N^r [s - M_N(1)] &:= \left[ 1 - \left( \frac{0}{N+1} \right)^r \right] (s - a_0) - \\ &- \sum_{n=1}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] a_n = s - \left[ 1 - \left( \frac{0}{N+1} \right)^r \right] a_0 - \\ &- \sum_{n=1}^N \left[ 1 - \left( \frac{n}{N+1} \right)^r \right] \left[ 1 - \sum_{v=1}^{+\infty} d_v(N) \left( \frac{n}{N+1} \right)^v \right] a_n \stackrel{(91)}{=} s - Z_N^r [M_N(1)]. \end{aligned} \quad (94)$$

*Шаг 3.* Стартовые для доказательства (19) тождества (93) на основании (94) принимают вид

$$\begin{aligned} \forall N \in Z_+ \quad M_N(8) &\stackrel{(93)}{=} (N+1)^r \left\{ M_N(1) - s + s - Z_N^r [M_N(1)] \right\} \stackrel{(94)}{=} \\ &\stackrel{(94)}{=} (N+1)^r \left\{ M_N(1) - s + Z_N^r [s - M_N(1)] \right\}. \end{aligned} \quad (95)$$

Так как банахово пространство  $\mathbf{B}$  дополнительно обладает ещё зигмундовской структурой, то из (95) имеем

$$\forall N \in Z_+ \quad \|M_N(8)\|_{\mathbf{B}} \leq (N+1)^r \left\{ \|M_N(1) - s\|_{\mathbf{B}} + A_8 \|s - M_N(1)\|_{\mathbf{B}} \right\}. \quad (96)$$

Если матричные средние (6) ряда (1) сходятся к элементу  $s$  со скоростью (14), то из предыдущих неравенств (96) получаем

$$\forall N \in Z_+ \quad \|M_N(8)\|_{\mathbf{B}} \leq (N+1)^r \left[ \frac{A_8}{(N+1)^r} + A_9 \frac{A_8}{(N+1)^r} \right] = A_8 (1 + A_9),$$

т. е. получаем оценку (19).

Доказательство теоремы 4 закончено.

**5. Заключение.** В данной работе теоремы 1 и 2 Д. Алексича для средних Фейера  $\sigma_N$  распространены на матричные средние  $M_N$ .

И. Йо применил теоремы 1 и 2 Д. Алексича [12, с. 252, (26), с. 253; 13, с. 170, лемма 1] к установлению структурной характеристики функций, входящих в класс насыщения средних Зигмунда рядов Фурье 1) по функциям Уолша в нумерации Пэли [12, с. 251, теорема 4 (средние Фейера), с. 252—253, теорема 4' (средние Зигмунда натурального порядка  $r \geq 1$ )], 2) по многочленам Эрмита [13, с. 176, теорема 2 (средние Зигмунда дробного порядка  $r = 0,5$ )]. Молодым исследователям предлагается применить теоремы 3 и 4 к изучению феномена насыщения рядов Фурье—Эрмита, рядов Фурье—Уолша, обобщения последних рядов Фурье—Н. Я. Виленкина; в [14] и [15] найдутся нужные им литературные отсылки.

#### Список цитируемых источников

1. Бруй, И. Н. О классе насыщения средних Зигмунда рядов по многочленам Фабера / И. Н. Бруй // Весн. Гродз. дзярж. ун-та імя Я. Купалы. Сер. 2 : Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. — 2018. — Т. 8, № 2. — С. 6—18.
2. Харди, Г. Расходящиеся ряды / Г. Харди ; пер. с англ. Д. А. Райкова ; с предисл. и обзор. ст. С. Б. Стечкина. — М. : ИИЛ, 1951. — 504 с. — Перевод изд.: *Divergent Series* / G. H. Hardy. — Oxford, 1949.
3. Alexits, G. On the order of approximation by the Cesàro means of Fourier series / G. Alexits // *Approximation theory : (Selected papers)* / G. Alexits. — Budapest : Akadémiai kiadó, 1983. — P. 41—50.
4. Sz. Nagy, B. v. Approximation der Funktionen durch die arithmetischen Mittel ihrer Fourierschen Reihen / Béla v. Sz. Nagy // *Acta scientiarum mathematicarum (Szeged)*. — 1946—1948. — Vol. 11. — P. 71—84.
5. Стечкин, С. Б. Оценка остатка ряда Тейлора для некоторых классов аналитических функций / С. Б. Стечкин // Изв. АН СССР. Сер. матем. — 1953. — Т. 17, № 5. — С. 461—472.
6. Alexits, G. Sur l'ordre de grandeur de l'approximation d'une fonction périodique par les sommes de Fejér / G. Alexits // *Approximation theory : (Selected papers)* / G. Alexits. — Budapest : Akadémiai Kiadó, 1983. — P. 59—70.
7. Rogosinski, W. Über die Abschnitte trigonometrischer Reihen / W. Rogosinski // *Mathematische Annalen*. — 1926. — 95. Band. — S. 110—134.
8. Бернштейн, С. Н. Об одном методе суммирования тригонометрических рядов / С. Н. Бернштейн // Собрание сочинений / С. Н. Бернштейн. — М. : Изд-во АН СССР, 1952. — Т. 1 : Конструктивная теория функций [1905—1930]. — С. 523—525.
9. Жук, В. В. Аппроксимация периодических функций / В. В. Жук. — Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. — 368 с.
10. Králík, D. Über die approximationstheoretische Charakterisierung gewisser Funktionenklassen mit Hilfe der Riesz'schen Mittel von Fourierreihen / D. Králík // *Acta Math. Acad. Sci. Hungar.* — 1969. — Vol. 20, № 3—4. — P. 361—373.
11. Бруй, И. Н. О классе насыщения метода Рисса суммирования рядов Фабера / И. Н. Бруй ; ред. журн. «Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук». — Минск, 1989. — 60 с. — Деп. в ВИНТИ АН СССР 16.08.1989. — № 5514-B89.
12. Joó, I. On some problems of M. Horváth (saturation theorems for Walsh — Fourier expansions) / I. Joó // *Ann. Univ. Sci. Budapest. Eötvös Sect. Math.* — 1988. — Tomus 31. — P. 243—260 (1989).
13. Joó, I. Saturation theorems for Hermite — Fourier series / I. Joó // *Acta Math. Hungar.* — 1991. — Vol. 57, № 1—2. — P. 169—179.
14. Бруй, И. Н. Ряды Уолша—Пэли и пространства Рисса / И. Н. Бруй // Весн. Гродз. дзярж. ун-та імя Я. Купалы. Сер. 2 : Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. — 2014. — № 2 (173). — С. 11—19.
15. Бруй, И. Н. Мультипликативные ряды и пространства Рисса / И. Н. Бруй // Технологии, экономика и право: актуальные проблемы и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 20 нояб. 2014 г., г. Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: А. В. Никишова (гл. ред.), А. К. Гавриленя (отв. ред.) [и др.]. — Барановичи : РИО БарГУ, 2014. — С. 7—16.

УДК 378.16

О. Л. Бушейко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНЛАЙН-ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

**Введение.** В настоящее время в системе образования для объективной оценки знаний обучающихся необходима правильно подобранная форма контроля знаний. Одной из таких форм является тестирование. Использование тестовых заданий различных видов позволяет более адекватно соответствовать требованиям государственного образовательного стандарта.

С ростом популярности Интернета все более востребованным способом контроля знаний становится онлайн-тестирование. Появилось огромное количество сайтов, позволяющих быстро и качественно создать онлайн-тесты.

Целью работы являлся анализ сервисов по созданию онлайн-тестов и выбор наиболее оптимальной системы онлайн-тестирования. Для реализации поставленной цели применялись такие приемы исследований, как анализ, синтез и обобщение. В качестве материалов исследования выступали электронные сервисы по созданию онлайн-тестов.

**Основная часть.** Контроль знаний учащихся является одним из основных элементов оценки качества образования, важнейшим компонентом педагогической системы. Целью контроля является определение каче-

ства усвоения учащимися программного материала, диагностирование и корректирование их знаний и умений, воспитание ответственности к учебной работе [1, с. 24].

В целом педагогический тест — это система заданий специфической формы, определенного содержания, возрастающей трудности, позволяющая качественно оценить структуру и измерить уровень знаний, умений и навыков.

Педагогическое тестирование — это форма измерения знаний учащихся, основанная на применении педагогических тестов [2].

Ранее для проведения тестирования использовали тесты, выполненные самостоятельно или другими авторами в программах Excel или PowerPoint на основе алгоритма (Excel) или шаблона (PowerPoint), а также приходилось дополнительно устанавливать на компьютере программы-тестеры, например MyTest. Многие преподаватели отказывались от появившихся онлайн-тестов, поскольку создание каждого из них требовало много усилий и могло быть действительно затруднительным занятием. Кто-то боялся, что у него не хватит знаний, потребуется покупать дополнительное оборудование, разбираться с HTML-кодом или нанимать программиста. Но сейчас инструменты для создания тестов становятся настолько понятными, что каждый преподаватель, даже новичок, может легко создать отличный онлайн-тест. Не нужно иметь при себе свой компьютер или ноутбук с установленным приложением, достаточно знать свой логин и пароль, а также иметь любое устройство для выхода в Интернет. Мобильные приложения для создания онлайн-тестов позволяют работать даже в дороге.

Рассмотрим наиболее популярные бесплатные системы онлайн-тестирования:

Многофункциональный онлайн-конструктор тестов Online Test Pad (<http://onlinetestpad.com>) — онлайн-ресурс, с помощью которого можно разработать тест, провести тестирование пользователей, установить собственную шкалу оценивания ответов, провести исследование качества ответов и детально определить качество усвоенных знаний обучающихся.

Система электронного тестирования Tests Online (<http://www.tests-online.ru>). С помощью нее можно разработать тест, провести тестирование пользователей, получить результаты ответов обучающихся.

Мастер-тест (<http://master-test.net>) — простой конструктор, который можно использовать в обучении. Чтобы создавать тесты, нужно зарегистрироваться как преподаватель. При желании готовый тест можно встроить у себя на сайте или пригласить участников пройти тестирование на сервисе, скинув им ссылку.

Банк тестов (<https://banktestov.ru>) — сервис, где можно проходить всевозможные бесплатные тесты, а также создавать свои тесты в режиме онлайн.

Портал создания и проведения тестирования «Твой тест» (<http://make-test.ru>) — онлайн-ресурс, с помощью которого можно разработать тест. В принципе, тут есть все, что нужно для проведения полноценного тестирования. Созданные тесты находятся на сайте, поэтому можно самостоятельно создавать группу и добавлять в неё всех тестируемых либо высылать им код и ссылку, по которой они найдут нужный материал.

Test.fromgomel (<http://test.fromgomel.com>) — подходящий сервис для создания тестов онлайн, который трансформирует тест в html, т. е. код потом легко вставить на сайт. Это самый простой конструктор, который встретился: вводится вопрос и варианты ответов, нажатие на кнопку дает возможность получить код теста.

Let's test (<https://letstest.ru>) — онлайн-конструктор тестов, который позволяет тестировать знания учащихся дистанционно. В бесплатной версии возможно создавать неограниченное количество тестов, но проходить их необходимо внутри самого сервиса [3].

Более подробно был изучен онлайн-конструктор тестов Online Test Pad. Данный конструктор тестов предлагает совершенно бесплатно создать тест любой сложности с любой логикой подсчета результатов своими руками. При создании теста не требуется каких-либо специальных знаний, так как конструктор тестов обладает интуитивно понятным интерфейсом и содержит подсказки по ходу создания тестов. Возможности настолько широки, что можно реализовать практически все потребности в составлении тестов, прохождении тестирования и обработке результатов. Вот некоторые из них: публикация / отмена публикации теста; установка ограничения по времени на прохождение теста; отображение текущего времени прохождения теста; свободное перемещение по вопросам; показ вопросов в случайной последовательности; выбор режима прохождения теста — все вопросы сразу или по одному; гибкий подсчет результатов тестов; возможность построения графиков и гистограмм по результатам обработки теста; показ правильных ответов по результатам теста; возможность добавлять интерпретацию по результатам подсчета шкал; получение емейл-уведомлений о прохождении теста и др.

В Online Test Pad предусмотрено гибкое редактирование содержимого вопроса. Любой вопрос может включать в себя текст, html-символы, таблицы, изображения, документы, видео. Для редактирования внешнего вида используется мощный и удобный WYSIWYG-редактор, т. е. можно отображать вопрос в любом виде.

Предусмотрены следующие типы вопросов: один выбор; множественный выбор; ввод числа; ввод простого текста; ответ в свободной форме; заполнение пропусков — цифры; заполнение пропусков — текст; заполнение пропусков — выбор из списка; установление последовательности; установление соответствий; последовательное исключение.

Создавая онлайн-тест в онлайн-конструкторе тестов Online Test Pad, можно не только протестировать обучающихся, но и провести экспресс-проверку уровня усвоения материала по какой-либо теме, контрольную работу. При этом не нужно тратить на это много времени на занятии, а также личное время на проверку. Доста-

точно создать тест, разослать ссылку тестируемому, которые в свободное время выполняют задания, а результат можно видеть сразу [4].

**Заключение.** Конструктор тестов Online Test Pad — наиболее оптимальный сервис по созданию онлайн-тестов. Он является одним из наиболее интересных, востребованных и простых в использовании и позволяет решать задачи современной системы образования.

#### Список цитируемых источников

1. Апанасенко, Г. А. Педагогический контроль / Г. А. Апанасенко // Педагогика. — 2008. — № 4. — С. 23—25.
2. Шеметев, А. А. Тесты как эффективный инструмент проверки знаний студентов высшей школы [Электронный ресурс] / А. А. Шеметев // Современные научные исследования и инновации. — 2014. — № 2. — Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2014/02/31055>. — Дата доступа: 17.10.2019.
3. 11 онлайн-сервисов для создания тестов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.azconsult.ru/11-onlajn-servisov-dlya-sozdaniya-testov>. — Дата доступа: 19.10.2019.
4. Технические возможности Online Test Pad [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mylektsii.ru/8-40254.html>. — Дата доступа: 19.10.2019.

УДК 517.968

А. П. Гринько

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДРОБНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ В ФОРМУЛАХ ТИПА ТЕЙЛОРА

**Введение.** В вычислительной математике широко применяются формулы Тейлора. Эти формулы применимы для  $n$  раз дифференцируемых функций. В работе рассматриваются формулы типа Тейлора, построенные с помощью различных дробных производных. Это даёт возможность применять такие формулы даже для непрерывных, но нигде не дифференцируемых функций.

**Основная часть.** Рассмотрим следующие дробные производные функции  $f(x)$  порядка  $\alpha$ :

– обобщённые на промежутке  $[a, x]$  [1]:

$$D_{a+}^{\alpha, \beta, \dots, \nu} f(x) = \left(\frac{d}{dx}\right)^n \int_a^x (x-t)^{\alpha_1-1} \left(\frac{d}{dt}\right)^k (F(\alpha_1, \beta, \dots, \nu, a, x, t))(f(t))^m dt, \quad (1)$$

$$\alpha, \alpha_1, \beta, \dots, \nu \in R; n, k, m = 0, 1, 2, \dots; k + n - \alpha_1 = \alpha > 0;$$

– локальные в точке  $a$  [2, 3]:

$$\overline{D}_1 = \overline{D}_{a+}^{\alpha, \beta, \dots, \nu} f(a) = \lim_{t \rightarrow a} \left(\frac{d}{dt}\right)^{[a]+1} \int_a^t \frac{f(t) - f(a)}{(t-\tau)^{\{\alpha\}}} F(\alpha, \beta, \dots, \nu, a, x, t) dt, 0 < n - \alpha_1 < 1; \quad (2)$$

$$\overline{D}_2 = \overline{D}_{a+}^{\alpha, \beta, \dots, \nu} f(a) = \lim_{x \rightarrow a} (x-a)^{1-\alpha} \frac{d}{d(x-a)} (F(\alpha, \beta, \dots, \nu, a, x, x-a) f(x-a)), 0 < \alpha < 1; \quad (3)$$

$$\overline{D}_3 = \overline{D}^{\alpha} (a) = \lim_{x \rightarrow a} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \frac{f(x-a+\varepsilon(x-a)^{1-\alpha}) - f(x-a)}{\varepsilon}; \quad (4)$$

– локализованные на промежутке  $[x-\varepsilon; x]$  [4; 5]:

$$\overline{D}_4 = D^{a-\varepsilon} f(x) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dx} \int_{x-\varepsilon}^x \frac{f(t) dt}{(x-t)^{\alpha}}, 0 < \alpha < 1, 0 < \varepsilon. \quad (5)$$

Для дробных производных (1) известны следующие формулы типа Тейлора [6, с. 31]:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(D_{a+}^{\alpha+i} f)(a)}{\Gamma(\alpha+i+1)} (x-a)^{\alpha+i} + R_n(x), 0 < \alpha, a < x, \quad (6)$$

где  $R_n(x) = (D_{a+}^{\alpha+n} D_{a+}^{\alpha+n} f)(x)$ , причём накладывается требование существования суммируемой производной  $D_{a+}^{\alpha+n} f$ .

Для локальных (2)–(4) и локализованных дробных производных (5) имеют место следующие формулы типа Тейлора:

$$\varphi(x) = \varphi(a) + \frac{(\overline{D}_i \varphi)(a)}{\Gamma(1+\alpha)} (x-a)^\alpha + R(x, a), \lim_{x \rightarrow a} \frac{R(x, a)}{(x-a)^\alpha} = 0, 0 < \alpha < 1, i = \overline{1, 4}. \quad (7)$$

Следовательно, они могут быть интерпретированы как дробная мгновенная скорость в точке  $a$ :

$$(\overline{D}_{a+}^\alpha \varphi)(a) = \Gamma(1+\alpha) \lim_{x \rightarrow a} \frac{\varphi(x) - \varphi(a)}{\varepsilon^\alpha}.$$

**Заключение.** Формула типа Тейлора (6) фактически есть формула Тейлора функции  $\frac{f(x)}{(x-a)^\alpha}$ , поэтому она может быть применена только для дифференцируемых функций. Формула (7) для локальных производных (2)–(4) от гёльдеровских функций может быть применена для недифференцируемых функций, но для гёльдеровских функций порядка  $\lambda < \alpha$  в формуле (7) коэффициент  $\frac{(\overline{D}_i \varphi)(a)}{\Gamma(1+\alpha)} = \infty$ , для  $\lambda > \alpha$   $\frac{(\overline{D}_i \varphi)(a)}{\Gamma(1+\alpha)} = 0$  и только для  $\lambda = \alpha$  мы в некоторых частных случаях можем построить формулу (7). Это связано с несепабельностью пространства гёльдеровских функций. И, наконец, формула (7) для локализованных производных (5) может быть построена для недифференцируемых гёльдеровских функций для  $\lambda > \alpha$ .

#### Список цитируемых источников

1. Самко, С. Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения / С. Г. Самко, А. А. Килбас, О. И. Маричев. — Минск : Наука и техника, 1987. — 688 с.
2. Kolwankar, K. M. Fractional differentiability of nowhere differentiable functions and dimensions / K. M. Kolwankar, A. D. Gangal; — Chaos, 1996, 6. — P. 505—513.
3. Khalil, R. A new definition of fractional derivative / R. Khalil; Horani MA, Yousef A, Sababheh M.; J Comput Appl Math, 2014. 264, P. 65—70.
4. Grinko, A. P. Generalized Abel type integral equations with localized fractional integrals and derivatives / A. P. Grinko; Integral Transforms and Special Functions. — 2018. — Vol. 29. — № 6. — P. 489—504.
5. Grinko, A. P. Localized derivatives in spaces of functions representable by localized fractional integrals / A. P. Grinko; Integral Transforms and Special Functions. — 2019. — Vol. 30. — № 10. — P. 817—832.
6. Watanabe, Y. Notes on the generalized derivative of Riemann—Liouville and its application to Leibnitz's formula. I and II / Y. Watanabe; Tohoku Math. J. 1931. — Vol. 34. — P. 8—27, 28—41.

УДК 37.015.3

В. А. Дремук, Н. В. Водопьян

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ САМООПРЕДЕЛЕНИЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ: ГЕНДЕРНЫЙ АСПЕКТ

**Введение.** Современное общество меняет представления о возможностях человека, стремится видеть его максимально успешным, свободным от традиционных «анкетных» характеристик — возраст, пол, состояние здоровья и т. д. Общество ориентировано на то, чтобы максимально развить весь потенциал человека. По существу, каждый мог бы добиться успеха на любом избранном им поприще.

Выбор профессии является первым звеном в цепи последовательных жизненных выборов, связанных с работой, созданием семьи, социальным продвижением, материальным благосостоянием и духовным развитием. С него начинается самостоятельный жизненный путь человека. Довольно распространенным явлением стали ситуации, при которых полученная специальность оказывается невостребованной, а профессиональное будущее большей части молодежи характеризуется как неопределенное. Наличие конкурентного рынка труда привело к тому, что немало выпускников университетов, средней школы остаются нетрудоспособными.

В результате, несмотря на трудности, связанные с поступлением в высшую школу, многие студенты к концу обучения начинают понимать, что наличие диплома о высшем образовании не гарантирует им трудоустройства по приобретенной профессии, а некоторые выпускники даже и не хотят работать по ней.

В настоящее время генеральным направлением развития высшего образования провозглашается его гуманизация, ориентированность на обеспечение самоопределения личности, создание условий для ее самореализации. Актуальной задачей в рамках разработки проблемы факторов саморазвития личности студента является исследование внутренних стимулов учебно-профессиональной деятельности, ее мотивации [1].

**Основная часть.** В начальной школе мальчики и девочки не различаются по интеллектуальным способностям и творческому потенциалу, мотивации достижений. В юношеском возрасте ситуация меняется: происходят изменения в развитии личности.

Существуют специфические особенности мотивации выбора профиля обучения юношами и девушками. Можно обнаружить универсальные гендерные отличия, проявляющиеся независимо от профиля обучения. Юноши в целом демонстрируют прагматичную мотивационную ориентацию при выборе профессии, они более ориентированы на освоение конкретной деятельности, у девушек выражена внутренняя мотивация учения, девушки в большей мере, чем юноши, руководствуются возможностью саморазвития, проявления творчества.

Исследования социально-психологических условий формирования профессиональных мотивов, интересов и склонностей молодых людей имеют высокую теоретическую и практическую значимость, поскольку отношение к будущей профессии, мотивы ее выбора являются чрезвычайно важными прогностическими факторами успешности профессионального обучения, а также удовлетворенности профессией в будущем.

Период получения профессионального образования является временем активного профессионального самоопределения личности. Профессиональное самоопределение как самостоятельное и осознанное нахождение смыслов настоящей и будущей профессиональной деятельности стало серьезной жизненной проблемой и для студентов учреждений высшего образования. Решение этой проблемы является актуальной задачей и требует личностного подхода с учетом особенностей новой социально-экономической ситуации и системы образования, интересов общества и личности. Перед личностью постоянно возникают проблемы, требующие определения своего участия в избранной профессии, с одной стороны, и определения места профессии в своей жизнедеятельности — с другой. В настоящее время в процессе самоопределения студентов гендерный аспект практически не учитывается, несмотря на то, что этот фактор оказывает значительное влияние на формирование внутренней готовности к осознанному и самостоятельному построению, корректировке и реализации перспектив профессионального, личностного и жизненного самоопределения. С одной стороны, декларируется равенство полов, с другой — идет содействие в формировании определенных гендерных стереотипов, осуществляется готовая трансляция гендерных схем разделения труда в профессиональной сфере [2].

По-прежнему на технические специальности высшей школы поступают все меньше девушек, по-прежнему существуют профессиональные области — научная, техническая, математическая, где число женщин, делающих успешную карьеру, значительно меньше мужчин.

В целях определения факторов, оказавших влияние на профессиональный выбор и отношение сегодняшних студентов (отдельно девушек и ребят) к выбору инженерной специальности, были проведены беседы и анкетирование студентов I—IV курсов технических специальностей инженерного факультета БарГУ. Всего опрошено 150 человек: 136 юношей, 14 девушек.

Выбор университета и инженерной специальности осуществлялся по критерию близости к месту жительства у 60 % ребят и 80 % девушек; влияние родителей (преемственность поколений) — 45 % опрошенных. 23 % юношей и 5 % девушек просто имели желание стать студентами и получить диплом. Для женской половины немалую роль в выборе технической специальности сыграло большое количество молодых людей на факультете — 69 %.

В группах технических специальностей девушек, как правило, единицы, они более усердны, внимательны, исполнительны, не позволяют себе пропусков занятий без уважительных причин. Для завоевания авторитета в группе и у преподавателей, с точки зрения девушек, им приходится учиться «круглосуточно», тогда как парням легче даются технические науки, они быстрее продвигаются к поставленным целям. Но в большинстве своем (93 %) девушки чувствуют себя в учебной группе хорошо, научились дружить, используя женскую мудрость, заботу, готовность к самопожертвованию. В то же время 99 % юношей отмечают, что девушка в мужской группе — это позитивный фактор.

В начале обучения студенты довольно смутно представляют себя в роли будущих специалистов. Их деятельность определяется правилами, установленным в университете, требованиями преподавателей, студенческим коллективом. И только к III курсу на основе интеграции знаний и представлений о себе как будущем специалисте начинает складываться профессиональное самосознание. 62 % студентов III курса и 87 % IV—V курсов отмечают осознанность своего профессионального выбора, имеют представления об умениях и навыках, ко-

торые им необходимы для работы по специальности. У молодых людей наблюдается стремление к получению профессионального и социального статуса, хотя у девушек статусные мотивы выражены слабее. Наряду с этим у девушек-технарей сохраняется стремление к самореализации. К сожалению, 3 % девушек четвертого года обучения стали больше сомневаться в выборе специальности и по возможности хотели бы или даже запланировали сменить область будущей деятельности, хотя бы на курсах переподготовки специалистов. Большинство девушек огорчает, что руководители промышленных предприятий отдают предпочтение мужчинам-инженерам, поэтому работу придется искать самой и доказывать свою состоятельность в профессиональном плане. Необходимо отметить, что девушки-инженеры наравне с парнями получают дипломы с отличием по окончании обучения.

**Заключение.** В настоящее время традиционная поговорка о том, что девушки поступают в учреждения высшего образования для того, чтобы выйти удачно замуж, сегодня совсем не актуальна, поскольку современные девушки — всесторонне развитые, целеустремленные и самодостаточные личности. Девушки в должности инженеров на промышленных предприятиях способны достигнуть больших успехов, умело используя в качестве преимуществ характерные им типичные женские черты.

#### Список цитируемых источников

1. Доронина, Н. Н. Мотивация выбора профиля обучения студентами вуза / Н. Н. Доронина, Л. Б. Кузнецова // Психология обучения. — 2015. — № 12. — С. 51—59.
2. Полуйчик, Т. В. Профессиональное самоопределение студентов технического ВУЗа: гендерный аспект / Т. В. Полуйчик // Инновацион. образоват. технологии. — 2013. — № 4. — С. 55—60.

УДК 004.031.6

Г. В. Качкар

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**Введение.** Тесное взаимодействие предприятия и учреждения образования — востребованный специалист, владеющий актуальными средствами 3D-моделирования.

Моделирование можно рассматривать с двух точек зрения: с общетеоретической и методологической как метод научного познания, с практической — как технологию решения прикладных научно-технических задач, опирающуюся на использование компьютера.

В университете основными формами подготовки современного специалиста могут быть: теоретические занятия; интерактивные практические занятия по созданию, сборке трехмерных моделей сборочных узлов различного назначения; лабораторные занятия по компьютерному моделированию простых механических узлов, физических моделей реального мира.

**Основная часть.** Физическое моделирование состоит в замене изучения некоторого объекта или явления экспериментальным исследованием его модели, имеющей ту же физическую природу [1].

Группа студентов I и II курсов инженерного факультета создала модель виртуального вращающегося дисплея на базе микроконтроллера AVR ATmega16. Устройство представляет собой вращающуюся линейку с несколькими десятками светодиодов, при быстром вращении и переменном зажигании которых формируется воспринимаемое глазом изображение в пределах виртуального светового дисплея в виде светящегося диска.

На имеющейся установке можно вывести любое растровое битовое изображение при условии, что его объём позволит разместить его в свободной области памяти программ (до 14 кБ, или ~100 000 пикселей). Можно также программно выводить векторную и процедурную графику, а при использовании более сложного алгоритма — полутоновые изображения с глубиной цвета 3...4 бита.

Разработка даёт возможность студентам применить свои навыки программирования для управления реальным техническим устройством и получить опыт практической проверки работоспособности своих алгоритмов и их интерактивной отладки на реальном работающем физическом устройстве. Прямая визуализация результата работы программы помогает быстро оценить её правильность и найти ошибки [2].

Следующий проект, над которым работают студенты, — 3D-печать.

3D-печатная часть может быть изменена простым редактированием 3D-модели. Это избавляет от необходимости делать какие-либо дополнительные инструменты, которые могут экономить время и деньги. 3D-печать отлично подходит для тестирования.

Основное назначение трехмерного моделирования — это визуализация проектных решений. Одной из основных задач компьютерного моделирования в аддитивных технологиях является создание геометрической 3D-модели будущего изделия. Аддитивные технологии — это технологии создания изделия путём его послойного синтеза. За счёт того, что объект создаётся путём послойного синтеза, создаваемая 3D-модель представляет собой виртуальный прототип будущего изделия. Поэтому всегда есть возможность быстрой корректировки изделия, а также будущей ее модернизации. Благодаря этому открываются широкие возможности в применении данных технологий не только в машиностроении, но и в других различных областях.

У данной технологии есть неоспоримые преимущества: экономия сырья на производстве, за счёт послойного создания изделия практически отсутствуют отходы материала; отсутствие в деталях дефектов производства за счёт постепенного создания изделия слой за слоем; изготовление изделий сложной геометрической формы с использованием оборудования, применяемого в аддитивных технологиях; отсутствие человеческого фактора при изготовлении изделия, его построение происходит в полностью автоматическом режиме; скорость изготовления объекта от прототипа до серийного образца.

Одной из важнейших особенностей компьютерного моделирования в аддитивных технологиях является компьютерный анализ и оптимизация процесса изготовления изделия, а также его физические испытания. Современные системы анализа позволяют моделировать различные физические процессы, которые могут произойти с изготавливаемым изделием.

**Заключение.** В производстве изделий при помощи аддитивных технологий роль компьютерного моделирования очень высока. Начиная от первого этапа, на котором создаётся будущая 3D-модель, так и при последующем этапе анализа полученной модели современные технологии несомненно эффективны. За счёт такой взаимосвязи можно получить изделие 3D-печати высокого качества.

#### Список цитируемых источников

1. Хартов, В. Я. Микроконтроллеры AVR : практикум для начинающих / В. Я. Хартов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 240 с. : ил.
2. Полюх, А. Л. Применение микроконтроллеров для управления техническими системами / А. Л. Полюх, Г. В. Качкар // Содружество наук. Барановичи-2019 : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей : в 2 ч. — Барановичи, 2019. — Ч. 1. — 239 с.

УДК 372.8

Ю. Ф. Мирошникова, А. В. Дзичковская, А. С. Купцов

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»

**Введение.** В настоящее время большинство стран Евразийского экономического сообщества занимает активную позицию на пути цифровой трансформации, в их числе и Республика Беларусь. В нашей стране с 2016 года действует Государственная программа развития цифровой экономики и информационного общества, а 28 марта 2018 года вступил в силу Декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 года № 8 «О развитии цифровой экономики», направленный на дальнейшее развитие Парка высоких технологий и построение современной цифровой экономики в стране. Цифровые технологии стремительно внедряются во все сферы нашей жизнедеятельности от экономики до культуры. Поэтому любой специалист, закончивший учреждение образования, должен быть подготовлен к работе в условиях цифровизации.

**Основная часть.** Впервые термин «цифровизация» ввел в употребление в 1995 году американский информатик Николас Негропonte (Массачусетский университет). В современном обществе термин «цифровизация» трактуется по-разному. Цифровизация — это современный общемировой тренд развития экономики и общества, который основан на преобразовании информации в цифровую форму и приводит к повышению эффективности экономики и улучшению качества жизни. Это наиболее полное определение, но цифровизацию можно рассматривать как тренд эффективного мирового развития только в том случае, если цифровая трансформация информации отвечает следующим требованиям: она охватывает производство, бизнес, науку, социальную сферу и обычную жизнь граждан; сопровождается лишь эффективным использованием ее результатов; ее результаты доступны пользователям преобразованной информации; ее результатами пользуются не только специалисты, но и рядовые граждане; пользователи цифровой информации имеют навыки работы с ней [1, с. 47]. А это возможно только в тандеме с цифровизацией образования.

Цифровизация в образовании в узком смысле — это переход на электронную систему обучения. Она ведёт к изменениям на рынке труда, в образовательных стандартах, выявлению потребностей в формировании новых компетенций населения и ориентирована на реорганизацию образовательного процесса, переосмысление роли педагога [2, с. 109]. Сегодня образование Республики Беларусь находится на начальном этапе цифровизации, но в то же время активно и продуктивно входит в эпоху развития новых технологий, пришедшую на смену информатизации. Цифровизация образования ведёт его к кардинальной и качественной перестройке, которая необходима современному человеку и цифровой экономике нашей страны. Уже сейчас сложно представить современный процесс обучения без электронных книг, мультимедийных презентаций, образовательных платформ и т. п.

Сегодня в университетах обучаются не те студенты, которые были 40 лет назад. Существующее образование для «цифровых» людей безусловно устарело — эти люди не хотят заучивать стихи и пересказывать содержание параграфа учебника. Они хотели бы самостоятельно выполнять конкретные интересные задания, которые к тому же можно быстро сделать, им нужна также мотивация [3, с. 244]. В настоящее время необходимо понимать преподавателя и студента не как лектора и слушателя, а преподавателя как направляющего, координирующего, а студента как ищущего и анализирующего.

Цифровизация современного общества влечёт за собой новые форматы передачи знаний и организации образовательного процесса. Сегодня обучающемуся тяжело усваивать новый теоретический материал на протяжении 80 минут; как показывает практика, хорошо усваивается материал в течение первых 30 минут лекции. Поэтому целесообразно традиционные лекции и практические занятия совмещать и не разделять их как отдельные виды занятий, в том числе и при изучении высшей математики. При такой организации занятий после изучения теоретического материала возможна моментальная отработка её на практике.

Рассматривая цифровизацию образования в разрезе отдельной дисциплины, нужно понимать её как модернизацию структуры занятий, способов отработки практических навыков и методов контроля полученных знаний, переоценку роли преподавателя.

Анализируя опыт других стран, отметим некоторые особенности организации процесса обучения высшей математике в условиях цифровизации образования:

1) открывать каждую тему должна короткая онлайн-лекция своего профессора или чужого в форме видео (10...20 минут) со встроенными картинками, графиками, кейсами и заданием студентам. [3, с. 247]. После теоретического материала на занятии предполагается его обсуждение в виде дискуссии, выполнение заданий по усвоению теоретического материала, а затем совместное решение задач и отработка навыков их решения;

2) возможно использование метода «бесконспектной лекции»;

3) отработка практических навыков при решении задач возможна при использовании образовательных платформ, онлайн-тренажёров и онлайн-тестов, веб-приложений. А по окончании изучения темы предусматривается контроль в виде форума, а также проведения онлайн-тестов или решение онлайн-заданий;

4) при цифровизации обучения математике предусматривается возможность возвращения обучающего к пройденной теме и повторного изучения её с помощью видеоуроков и презентаций;

5) к каждому занятию студент должен готовиться с помощью электронных библиотечных ресурсов своего университета и других источников, отрабатывать навыки решения задач с помощью онлайн-тренажёров;

6) организация цифровизации образовательного процесса предусматривает возможность свободного доступа обучающихся и преподавателей к интернет-ресурсам как в стенах учреждения образования, так и за его пределами. И обучающиеся, и преподаватели должны на высоком уровне владеть цифровыми технологиями.

Например, при изучении темы «Производная и дифференциал функции одной переменной» теоретический материал представляется с использованием элементов технологии «Бесконспектная лекция». Студенты перед занятием изучают предложенный материал с помощью электронных ресурсов учреждения высшего образования либо других источников, распечатывают заготовку теоретического материала с «пробелами» для заполнения недостающих сведений во время занятия, которая заранее подготовлена преподавателем и размещена на сайте университета.

В начале занятия преподаватель освещает теоретический материал, ведётся дискуссия, обучающиеся заполняют пробелы в распечатанной лекции. «Пробелами» в лекции могут быть части формул, определений, теорем. Затем преподаватель показывает вычисление производных и отрабатывает практические навыки при решении задач, используя образовательные платформы, онлайн-тренажёры. В конце занятия проводится онлайн-тест по пройденному материалу. Домашнее задание предусматривает отработку изученного материала также с помощью онлайн-тренажёров и подготовку теоретического материала и заготовок по предстоящей теме.

Цифровизация образования значительно облегчает учебный процесс, однако эти технологии могут отрицательно повлиять на развитие коммуникативных навыков учащихся и социальное взаимодействие.

**Заключение.** Цифровизация образования влечёт за собой не технические инновации, а реорганизацию образовательного процесса и изменение традиционной роли преподавателя. Новые методики позволят сформировать специалиста, обладающего компетенциями, способного принимать самостоятельно решения, работать и развиваться в условиях цифровой экономики.

## Список цитируемых источников

1. Халин, В. Г. Цифровизация и её влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски / В. Г. Халин, Г. В. Чернова // Управленч. консультирование — 2018. — № 10. — С. 46—61.
2. Никулина, Т. В. Информатизация и цифровизация образования: понятия, технологии, управление / Т. В. Никулина, Е. Б. Стариченко // Пед. образование в России. — 2018. — № 8. — С. 107—113.
3. Ковалёв, М. М. Цифровая экономика — шанс для Беларуси : монография / М. М. Ковалёв, Г. Г. Головенчик. — Минск : Издат. центр БГУ, 2018. — 327 с.

УДК 53:51

Ю. П. Нерода, Т. С. Петлицкая

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

**Введение.** Курсы физики и математики являются обязательными для студентов младших курсов технического направления подготовки в учреждениях высшего образования. Целью данных курсов является создание теоретической базы для дальнейшего изучения студентами дисциплин специальности и специализации. Проблема эффективной реализации межпредметных связей в учреждениях высшего образования представляется актуальной, так как именно эти связи объединяют в единое целое все структурные элементы учебного процесса (содержание, формы, методы и средства обучения) и способствуют повышению его эффективности. Межпредметные связи обеспечивают усвоение знаний, формирование умений и навыков, способствуют активизации мыслительной деятельности, осуществлению переноса теоретических знаний на практическую деятельность обучающихся. Сформулируем некоторые темы курсов общей физики и высшей математики, применение в которых интегрированных подходов было бы наиболее эффективным.

**Основная часть.** Одно из центральных математических понятий в курсе физики — понятие функции, играющее исключительно важную роль. По существу, любой физический закон считается четко сформулированным, когда ему дана математическая форма, т. е. он записан в виде функциональной зависимости между физическими величинами. В курсе математики изучают прямую и обратную пропорциональные зависимости, квадратичную, кубическую, показательную, логарифмическую и тригонометрические функции; строят их графики, исследуют и применяют их основные свойства. Все это позволяет осмысливать математические выражения физических законов, с помощью графиков анализировать физические явления и процессы. При выполнении лабораторных работ также используется построение графиков для изучения функциональной зависимости между физическими величинами [1].

Таким образом, элементарные математические функции являются моделями физических процессов, например: а) линейная функция как модель движения с постоянной скоростью; б) квадратичная функция как модель равноускоренного движения, модель свободного падения, модель движения по окружности; в) тригонометрическая функция как модель колебательного процесса.

В цепях переменного тока зависимость силы тока от времени изменяется по закону гармонического колебания (косинуса или синуса). Графически эта зависимость является синусоидой или косинусоидой, т. е. функцией.

Усвоение координатного метода помогает пользоваться понятием системы отсчета и принципом относительности движения при изучении всего курса физики и особенно основ теории относительности и релятивистских эффектов [2].

Понятие производной позволяет количественно оценить скорость изменения физических явлений и процессов во времени и пространстве (производная как мгновенная скорость), например, скорость испарения жидкости, радиоактивного распада, изменения силы тока и др. Ускорение, в свою очередь, рассматривается как производная от скорости.

**Пример 1.** Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $s = 6 + 2t + 0,1t^2 + 0,03t^3$ .

Определить время после начала движения, через которое ускорение тела будет равно  $2 \text{ м} / \text{с}^2$ .

*Решение:*  $v(t) = s'(t) = 2 + 0,2t + 0,09t^2$ ;  $a(t) = v'(t) = 0,2 + 0,18t = 2$ ;  $0,18t = 1,8$ ;  $t = 10 \text{ с}$ .

*Ответ:*  $t = 10 \text{ с}$ .

**Пример 2.** Рассмотрим движение вдоль  $x$ . Пусть ускорение задано выражением  $a = 3 + 2t + \cos 5t$ .

Определить мгновенную скорость и координату в любой момент времени при заданных начальных условиях, т. е.  $V — ?, V_0 = 1 \text{ м} / \text{с}$ ,  $x(t) = ?, x_0 = -2 \text{ м} / \text{с}$ .

*Решение.* Определим мгновенную скорость:

$$a = \frac{dv}{dt}, \Rightarrow dv = a dt, \Rightarrow \int_{V_0}^V dv = \int_0^t a dt \Rightarrow (V - V_0) = \int_0^t (3 + 2t + \cos 5t) dx \Rightarrow$$

$$V - V_0 = 3t + t^2 + \frac{\sin 5t}{5} \Big|_0^t \Rightarrow V = 1 + 3t + t^2 + \frac{1}{5} \sin 5t.$$

Определим координату тела:

$$V = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = V dt \Rightarrow \int_{x_0}^x dx = \int_0^t V dt \Rightarrow x - x_0 = \int_0^t \left( 1 + 3t + t^2 + \frac{1}{5} \sin 5t \right) dt \Rightarrow$$

$$x - x_0 = t + \frac{3t^2}{2} + \frac{t^3}{3} - \frac{1}{25} \cos 5t \Big|_0^t \Rightarrow x - x_0 = t + \frac{3t^2}{2} + \frac{t^3}{3} + \frac{1}{25} - \frac{1}{25} \cos 5t \Rightarrow$$

$$x = -2 + \frac{1}{25} + t + \frac{3t^2}{2} + \frac{t^3}{3} - \frac{1}{25} \cos 5t.$$

*Ответ:*  $V = 1 + 3t + t^2 + \frac{1}{5} \sin 5t$ ;  $x = -2 + \frac{1}{25} + t + \frac{3t^2}{2} + \frac{t^3}{3} - \frac{1}{25} \cos 5t$ .

Умение дифференцировать и интегрировать открывает большие возможности для изучения колебаний и волн различной физической природы.

Поток электрического поля математически записывается через интеграл по поверхности; работа электрического поля по перемещению зарядов, разность потенциалов (напряжение) рассчитываются тоже через интеграл.

**Пример 3.** Сила тока в проводнике равномерно нарастает от  $I_0 = 0$  до  $I = 3A$  в течение времени  $t = 10$  с. Определить заряд  $q$ , прошедший в проводнике.

*Решение.* Элементарный заряд  $dq$ , прошедший в проводнике за время  $dt$ , равен  $dq = Idt$ , где  $I$  в силу равномерного нарастания может быть выражено формулой  $I = kt$ , где  $k = \frac{I-I_0}{t}$  — коэффициент пропорциональности. Полный заряд, прошедший в проводнике за время  $t$ :

$$q = \int_0^t I dt = \int_0^t kt dt = \frac{kt^2}{2} = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ Кл.}$$

*Ответ:*  $q = 15$  Кл.

Пользуясь идеями симметрии, с которыми обучающиеся знакомятся на уроках математики, можно рассмотреть строение молекул и кристаллов, изучить построение изображений в плоских зеркалах и линзах, вычислить картину электрических и магнитных полей.

Таким образом, необходим тщательный анализ программ курсов физики и математики в целях выявления опережающего, параллельного и преемственного изложения тем курсов (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Пример параллельного изложения вопросов некоторых тем физики и математики

Тема	Перечень изучаемых вопросов по математике/физике
1	Линейная функция. Взаимное расположение графиков линейных функций / движение тела с постоянной скоростью
2	Квадратичная функция $y = ax^2 + bx + c$ / прямолинейное неравномерное движение. Свободное падение тел
3	Построение графиков тригонометрических функций / график гармонического колебания
4	Производная. Правила дифференцирования / мгновенная скорость
5	Интеграл / восстановление пути по скорости
6	Дифференциальное уравнение $y' = ky$ / радиоактивный распад

**Заключение.** Математика и физика занимают сегодня важное место в жизни общества. Математика предлагает весьма общие и достаточно четкие логические модели для изучения окружающей действительности, а физика помогает понять окружающую действительность и процессы, происходящие в ней. Эти дисциплины считаются наиболее трудными предметами общеобразовательного цикла. Зачастую реализация межпредметных связей происходит посредством внесения дополнительных математических сведений в курс общей физики и использования задач с физическим содержанием в курсе высшей математики. Интеграция физики с математикой возможна на основе интеграции различных форм занятий, что поможет сделать изложение физики более ясным и доступным на всех уровнях ее изучения.

#### Список цитируемых источников

1. Математические модели физических процессов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://fiz.lsept.ru/view\\_article.php?ID=200901204/](https://fiz.lsept.ru/view_article.php?ID=200901204/). — Дата доступа: 20.10.2019.
2. Использование математических методов для решения практических задач по физике и электротехнике [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://nsportal.ru/npo-spo/obrazovanie-i-pedagogika/library/2014/01/13/ispolzovanie-matematicheskikh-metodov-dlya/>. — Дата доступа: 20.10.2019.

УДК 534+004.9

Т. С. Петлицкая, Ю. П. Нерода

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### МATHCAD КАК СРЕДСТВО РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

**Введение.** При изучении курса физики у многих возникают трудности, связанные с решением задач. Большое количество задач физического содержания зачастую не удаётся решить, так как техника вычисления интегралов и решения дифференциальных уравнений достаточно сложна и объёмна. Сегодня существует огромное количество различных программных средств, которые помогают решать любые математические задачи, как самые простые, так и более сложные. Одним из таких средств является Mathcad, представляющий собой большое многообразие инструментов для математических и технических расчётов, удобный и простой пользовательский интерфейс, а также возможность отображения результатов в графическом виде. Основное достоинство этой системы заключается в отсутствии необходимости пользователю осваивать основы программирования, так как Mathcad предельно приближен к обычному математическому языку, поэтому на решение поставленных задач затрачивается незначительное время [1].

В данной статье рассматривается моделирование поведения гармонического осциллятора с затуханием в системе Mathcad, а также возможность определения всех сопутствующих характеристик и их видоизменение.

**Основная часть.** Изучение колебательных процессов с помощью компьютерного моделирования является самым эффективным методом изучения таких физических систем. На пути создания компьютерной модели необходимо пройти следующие этапы: постановка задачи, физическое описание модели, математическое описание модели, создание компьютерной модели, вычислительный эксперимент и анализ полученных результатов.

*Постановка задачи.* Получить численное решение дифференциального уравнения, описывающее затухающие колебания. Учитывая эффект затухания, требуется построить график зависимости координаты от времени. Определить сопутствующие характеристики: период и угловую частоту колебаний, сравнить их со случаем отсутствия затуханий.

*Физическое описание модели.* Из курса физики известно [2], что во всякой реальной колебательной системе всегда имеются силы сопротивления, действие которых приводит к уменьшению энергии системы. Если убыль потенциальной энергии не восполняется за счёт работы внешних сил, то колебания будут затухать. Такие колебания принято называть свободными затухающими колебаниями. Во многих случаях (при небольших скоростях движения) принято считать, что силы, вызывающие затухание колебаний, пропорциональны величине скорости. Тогда дифференциальное уравнение, описывающее затухающее колебательное движение, примет следующий вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x - 2\beta \frac{dx}{dt},$$

где  $\omega_0$  — собственная циклическая частота незатухающих колебаний;

$\beta$  — коэффициент затухания.

*Математическое описание модели.* Для удобного представления в системе Mathcad дифференциальное уравнения, описывающее затухающие колебания, следует немного видоизменить:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0.$$

Именно такой вид приемлем для нахождения его численного решения в системе Mathcad.

*Создание компьютерной модели. Вычислительный эксперимент.* Произведём расчёты для колебательной системы со следующими параметрами  $\omega_0 = 3$  рад / с;  $x(0) = 0$ ;  $\beta = 0,5$ . В качестве промежутка времени возьмём диапазон от 0 до 10 с.

Для сравнения рядом (рисунок 1) отображена функция зависимости координаты от времени в случае отсутствия затухания ( $\beta = 0$ ).

*Анализ полученных результатов.* Как видно из рисунка 1, периоды колебаний не равны друг другу.

Построим графики зависимости координаты от времени для нескольких значений коэффициента затуханий  $\beta = 1; 2; 2,99$ . Вычислим периоды колебаний.

Как видно из графиков (рисунок 2), при увеличении значения коэффициента затухания происходит быстрое уменьшение амплитуды и заметно увеличивается период колебаний. Последний рисунок получен для значения коэффициента затухания, который приближается к значению собственной частоты свободных незатухающих колебаний ( $\beta \approx \omega_0$ ). Это соответствует тому, что круговая частота свободных затухающих колебаний стремится к нулю, а период колебаний тогда устремляется к бесконечно большому значению, что и было получено на третьем графике. Движение перестаёт быть периодическим. Такой процесс называют аperiodическим [2]. При таком движении весь запас энергии, который имела система, расходуется на преодоление сил сопротивления.

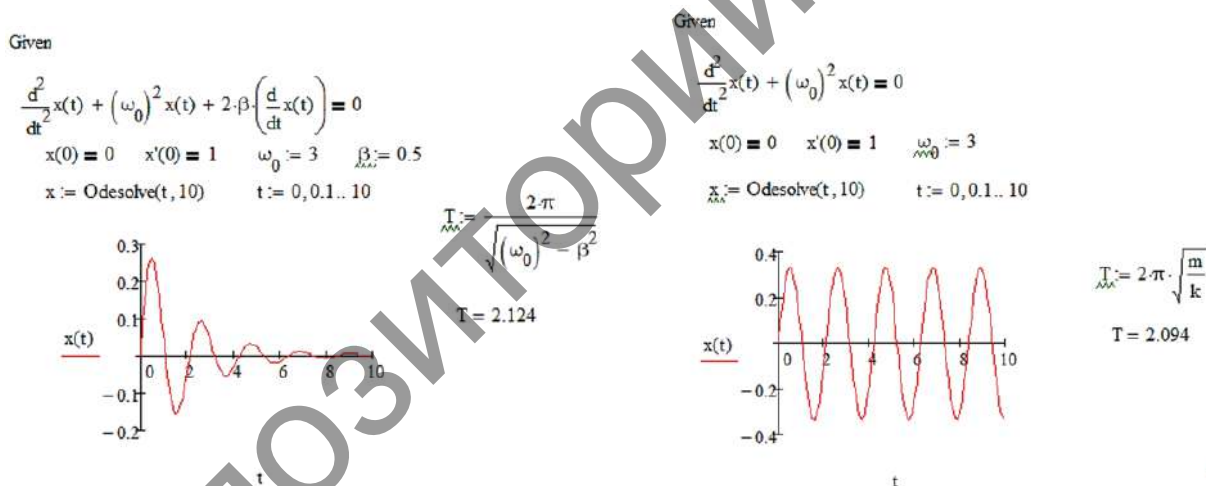


Рисунок 1 — Свободные затухающие (слева) и незатухающие (справа) колебания

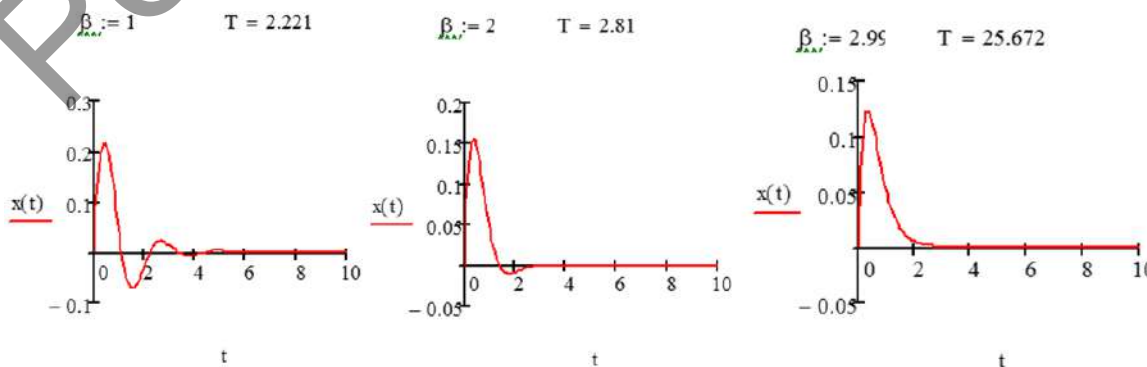


Рисунок 2 — Свободные затухающие колебания (для  $\beta = 1; 2; 2,99$ .)

**Заключение.** Рассмотрено компьютерное моделирование одного из видов колебательных систем — свободные затухающие колебания. Получены сравнительные графики зависимости одной и той же колебательной системы для затухающих и незатухающих колебаний, также графический результат для случая, когда круговая частота свободных затухающих колебаний стремится к нулю.

Система Mathcad позволяет наглядно изучить колебания любой природы. Таким образом, на основе моделирования простых колебательных процессов можно строить базу для изучения таких же задач технического содержания.

#### Список цитируемых источников

1. *Алейников, И. А.* Практическое использование пакета Mathcad при решении задач : учеб. пособие. — М. : Рос. гос. открытый техн. ун-т путей сообщения М-ва путей сообщения Рос. Федерации, 2002. — 114 с.
2. *Савельев, И. В.* Курс общей физики / И. В. Савельев. — М. : Наука, 1970. — Т. I : Механика, колебания и волны, молекулярная физика. — 517 с.

УДК 004:378.147:51

**Т. А. Романчук**

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

**Введение.** Стремительное развитие информационных и компьютерных технологий приводит к серьезному пересмотру используемых в образовательном процессе методов обучения. Нельзя воспитать и подготовить современного востребованного специалиста, используя устаревшие методики и способы обучения. Компьютерные технологии предоставляют невероятно широкий спектр возможностей для совершенствования как учебного материала, так и способов его подачи и объяснения. Как нам кажется, на данном этапе обсуждается уже не целесообразность использования новейших информационных технологий во всех составляющих учебного процесса (это уже очевидно), а то, как разумно и правильно соотносить с ними существующие классические методики (от которых полностью отказываться, наверное, будет неверно).

**Основная часть.** Компьютерные технологии обучения специалисты определяют как некоторую совокупность методов, приемов, способов на основе компьютерной техники, средств телекоммуникационной связи, моделирующих часть функций педагога по представлению, передаче и сбору информации, а также организации контроля и управления познавательной деятельностью студентов.

Таким образом, преподавателю необходимо определиться, с какой целью он собирается использовать компьютерные технологии, какую задачу хочет решить, и просто выбрать то, что ему подходит. Если речь идет об обучении, то можно использовать электронные учебно-методические комплексы, если же необходимо провести контроль знаний — то это уже будет какая-то программа компьютерного тестирования и т. д. Основная цель применения компьютерных технологий — это повышение качества и эффективности учебного процесса.

Внедрение компьютерных технологий в учебный процесс — это едва ли не единственный пример, когда столь важные и значительные изменения происходят не «сверху» (как это бывает чаще всего), а снизу, т. е. идут от самих преподавателей. Из личного опыта можем сказать, что, прочитав однажды лекцию по поверхностям второго порядка в пространстве с использованием мультимедийной презентации, созданной в Microsoft PowerPoint, и оценив все ее преимущества, мы стали разрабатывать презентации и для других тем; в основном это, конечно же, геометрия, но и некоторые темы математического анализа (непрерывность функции, исследование функций с помощью производных). Объяснение этому очень простое: презентация значительно повышает доступность и наглядность предлагаемого материала (так как далеко не каждый студент обладает, например, хорошим пространственным мышлением), с ее помощью можно показать и объяснить гораздо больше, чем просто с мелом в руках. Некоторые идеи подают и сами студенты. Однажды при объяснении рядов Маклорена нам был задан вопрос: как же так может быть, что периодическая функция синус (или косинус) представима в виде суммы степенного (т. е. непериодического) ряда? Именно этот вопрос и заставил нас подготовить презентацию с несколькими графиками, соответствующими разной степени аппроксимации; следующей аналогичной презентацией оказалась презентация по теме «Ряды Фурье».

Также хотелось бы более подробно остановиться на электронных учебно-методических комплексах. Казалось, что это просто электронный вариант обычного учебника. Побывав на курсах повышения квалификации, мы узнали, что электронный учебно-методический комплекс — это целый мир! По сути, это некая программа, которая содержит и учебный материал (основной и дополнительный), и информационно-справочный, а также позволяет выполнять проверку знаний. Ввиду сокращения количества аудиторных часов и увеличения часов на

самостоятельную работу студентов такое пособие может стать просто незаменимым. К тому же оно обладает некоторыми преимуществами по сравнению с обычным печатным учебником:

1) наличие гиперссылок в тексте, которые позволяют студенту при необходимости быстро перейти к тому разделу, который нужен, и также быстро вернуться назад (работая с обычным учебником, часто приходится перелистывать множество страниц в поисках нужного определения или теоремы);

2) возможность объединения в одном пособии и теоретической, и практической части (учебники по высшей математике, как правило, делятся на сугубо теоретические и практические) и осуществление перехода между ними с помощью гиперссылок;

3) возможность разделения материала на основной и дополнительный (в учебниках обычно материал дается достаточно подробно, что не всегда нужно для студента технического университета, а сам он, к сожалению, разобраться, что в параграфе или теме основное, а что нет, не может);

4) возможность добавления мультимедийных файлов (графики функций, построение поверхностей и их сечений различными плоскостями), а также наличие средств для выделения наиболее важных аспектов рассматриваемого материала (подчеркивание, использование различных шрифтов, выделение цветом);

5) возможность самостоятельного контроля знаний по теме. Для студентов это очень важный момент, так как он позволяет оценить уровень собственных знаний, увидеть, где есть «пробелы», и при желании что-то доучить или в чем-то более детально разобраться, чтобы на контрольной, а затем и на экзамене получить более высокую оценку;

6) возможность для преподавателя оперативно вносить изменения и дополнения в существующее электронное пособие, в то время как переиздание учебника требует достаточно много времени и средств;

7) такой учебно-методический комплекс будет очень полезен студентам, по каким-то причинам пропускающим занятия (речь здесь не идет о регулярных прогульщиках), так как при существующих технологиях не очень правильно переписывать или ксерокопировать чужой конспект.

Однако стоит отметить, что электронный учебно-методический комплекс не может стать заменой традиционным парам и методам работы, а вот хорошим помощником — да.

Также хотелось бы отметить важность компьютерных технологий и в организации учебного процесса — внедрение и использование электронного журнала, который позволяет всем заинтересованным лицам (куратору, деканату; хорошо было бы сделать доступными эти данные и для родителей) отслеживать качественные и количественные (пропуски) результаты учебной деятельности студентов (раньше приходилось идти в деканат, писать служебные записки) и в случае возникновения каких-то проблем оперативно принимать меры.

**Заключение.** Несмотря на все преимущества, которые дают компьютерные технологии, их использование вызывает ряд проблем. Во-первых, не все преподаватели хотят и готовы перестраиваться на новые способы и методики преподавания, так как в этом случае им и самим придется многое учиться, что требует и сил, и времени, которыми в силу разных причин обладают далеко не все. Во-вторых, в то время как много говорится о зависимости современной молодежи от разного рода гаджетов, мы тоже предлагаем им не обычный учебник, а его компьютерную программную версию. Тем не менее за компьютерными технологиями — будущее, их использование в учебном процессе, несомненно, будет расширяться и углубляться.

УДК 004.65

Е. В. Соловей, Н. В. Белова

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ

**Введение.** Каждое предприятие специализируется на производстве определенного вида изделий. Каждое изделие обладает перечнем характеристик, дающих максимально полное представление о нем. Такие характеристики составляют из сведений об изделии, которые называются данными. К данным относятся масса, используемый материал, цвет, размер, качество, стоимость, срок эксплуатации и пр. Эти данные дают инженерам возможность тщательно продумать и проанализировать будущую технологию производства, а также являются отправной точкой для начала конструкторской работы. Как правило, данные берутся из проектно-сметной документации, электрических и электротехнических схем, 3D-моделей промышленных объектов, чертежей и спецификаций на разных стадиях готовности и т. д. Из всего вышесказанного следует, что в эффективной работе инженера очень важную роль играют подробные и хорошо организованные базы данных, к которым обеспечен постоянный доступ. Примерами таких баз данных являются электронные справочники, базы данных, встроенные в систему автоматизированного проектирования (САПР).

**Основная часть.** В настоящее время фундаментом, на котором строятся современные автоматизированные системы, являются CALS-технологии.

CALS-технологии — это современное направление развития информационного обеспечения производственных и бизнес-процессов, направленное на создание единого информационного пространства, основу которого составляют интегрированные базы данных [1]. Единое информационное пространство выстраивается как минимум из двух основных баз данных: общая база данных об изделиях и общая база данных о предприятии. Работает единое информационное пространство следующим образом: содержащиеся в нем данные берутся и используются во всех процессах, сопровождающих жизненный цикл изделия, а новые данные, возникающие в ходе этих процессов, наоборот, направляются в единое информационное пространство на хранение для будущего применения.

Общая база данных об изделиях состоит из информационных объектов, каждый из которых имеет свой идентификационный номер, при помощи которого объект можно извлечь из базы данных и выполнять с ним определенные действия. Информационные объекты являются подробным описанием изготавливаемого изделия. В информационный объект входят: строение изделия, его состав, компоненты (детали, агрегаты, узлы и т. д.). Информационные объекты создаются при конструировании и технологической подготовке нового изделия к производству средствами конструкторских и технологических САПР (CAE/CAD/CAM). Информационные объекты могут также использоваться для выпуска технической документации. Общая база данных изделий содействует эффективной и согласованной деятельности разработчиков, технологов, производственного, эксплуатационного и ремонтного персонала. В общей базе данных изделий можно выделить три основных раздела: нормативно-справочный, долговременный и актуальный. В нормативно-справочном разделе постоянно происходят обновления нормативных документов. В долговременном разделе хранятся информационные объекты, которые содержат в себе опыт предприятия и отражают путь его развития. В актуальном разделе содержится рабочая информация, задействованная на данный момент в проектировании изделия.

Помимо хранения информации об изделиях базы данных также способны оказать помощь в управлении предприятием. Речь идет об экспертных системах, созданных на базе технологических баз данных. Особенно большую поддержку экспертные системы оказывают предприятию при дефиците высококвалифицированных кадров. Экспертные системы представляют из себя компьютерные программы, которые работают по принципам искусственного интеллекта с формализованными знаниями в какой-либо области. Экспертные системы накапливают и хранят знания, дают ответы на поставленные вопросы и могут прогнозировать исход принятого решения. Из вышесказанного следует, что чем шире оснащена достоверными данными база знаний, с которой работает экспертная система, тем продуктивнее будет работать сама экспертная система. Для разработки экспертной системы наиболее подходящими являются системы управления реляционными базами данных. Под реляционными базами данных подразумевается множество таблиц, между которыми установлены связи. Наиболее распространенной программой для работы с реляционными данными в настоящее время считается Microsoft Access. Далее мы детально рассмотрим принцип работы экспертной системы для оценки будущих затрат на изготовление новых деталей.

Работа такой экспертной системы основывается на двух составляющих: 1) в учет берутся технологические коды всех деталей, которые имеются в наличии на предприятии. Коды даются в соответствии с Технологическим классификатором деталей приборостроения и машиностроения; 2) анализируется технологическая база данных, в которую включены маршрутные технологические процессы по всем деталям. В этих процессах содержатся данные о трудоемкости изготовления деталей.

После того, как экспертная система получила доступ к необходимым базам данных, она переходит к следующим действиям: 1) присваивание технологического кода каждой детали; 2) поиск в базе данных деталей с аналогичным технологическим кодом; 3) расчет средней трудоемкости для всех деталей с определенным технологическим кодом; 4) присваивание новым деталям рассчитанной средней трудоемкости.

После выполнения этих действий экспертная система анализирует полученные результаты и принимает решение о целесообразности изготовления указанных деталей в пределах данного предприятия.

Таким образом, экспертные системы позволяют инженеру сэкономить значительную часть времени при работе над конкретной задачей, так как экспертные системы быстро и с высокой точностью анализируют имеющийся массив данных, а затем предоставляют перечень наиболее оптимальных вариантов решения поставленной задачи либо готовое решение.

В процессе работы над новым проектом инженерам необходимо постоянно обращаться к значениям постоянных величин и разнообразным формулам. При проведении расчетов либо при их проверке необходимые данные специалистам предоставляют электронные справочники, которые используются преимущественно в конструкторско-технологических подразделениях, отделах материально-технического снабжения, экономических службах. В основном инженерные электронные справочники встроены в САПР. Это предоставляет специалистам возможность обращаться к справочнику, находясь в привычной для них системе проектирования. Благодаря инженерным справочникам, на предприятии создается единая база данных, информацию из которой конструкторы, технологи, нормировщики и другие специалисты могут использовать при оформлении своих документов. Наличие на предприятии инженерных электронных справочников дает следующие преимущества:

1) ускорение процесса проектирования и улучшение его качества; 2) быстрое и точное нормирование; 3) более перспективное и эффективное производство [2].

В структуру инженерного электронного справочника входят три основные базы данных: база данных материалов (металлы и их сплавы, резины, кожи, стекло, пластические массы), база данных сортов (сортовые прокаты, листовые прокаты, сетки, трубные прокаты) и информационная база данных (коэффициенты трения, предприятия стран ближнего зарубежья, модули инженерных расчетов).

**Заключение.** Залогом успешной деятельности предприятия является слаженная и эффективная работа закрепленных за ним специалистов. Для качественной работы инженерам необходимо иметь доступ к современным лицензионным программным пакетам, к информации о передовых методах и технологиях, своевременно получать уведомления об изменениях в нормативах. Считаю перспективным создание и развитие облачного хранения инженерных баз данных на основе государственной поддержки для машиностроительной отрасли. На данной платформе специалисты в области машиностроения могли бы публиковать свои разработки, обмениваться опытом и рекомендациями, а также пользоваться необходимыми для работы лицензированными САПР и иными необходимыми программами, чтобы быть в курсе всех нововведений, касающихся машиностроительного производства. Государственная поддержка обеспечит абсолютную безопасность, а также задаст направление и темп развития машиностроительных предприятий Республики Беларусь. Наличие облачного хранения баз данных поспособствует повышению экономических показателей в отрасли машиностроения.

#### Список цитируемых источников

1. *Фуфаев, Э. В.* Базы данных : учеб. пособие для студентов учреждений сред. проф. образования / Э. В. Фуфаев, Д. Е. Фуфаев. — 10-е изд., стер. — М. : Академия, 2015. — 320 с.
2. Официальный сайт Русская промышленная компания. 30 лет сопровождения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cad.ru/company/>. — Дата доступа: 10.10.2019.

УДК-004896

**Е. В. Соловей, А. Н. Соловей**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Введение.** Необходимость использования искусственного интеллекта (далее — ИИ) в сфере машиностроения Республики Беларусь обуславливается рядом причин. Одно из преимуществ введения ИИ в производственную сферу — это огромные перспективы в развитии машиностроения и экономики страны. Искусственный интеллект — наука и технология создания интеллектуальных машин, особенно интеллектуальных компьютерных программ. На данный момент в мире широко используют системы ИИ. Они хорошо проявляют себя во всех сферах человеческой деятельности. Особое положение ИИ занимает в промышленности. Использование ИИ в производстве привлекает пристальное внимание, поскольку это предполагает увеличение выпуска продукции и улучшения качества выпускаемого товара, что обуславливает влияние внедрения ИИ на жизнь и экономику страны в целом. Его можно внедрить в различные сферы производства, но существенный вклад ИИ будет именно в машиностроении, поскольку машиностроение находится в основополагающем базисе развития промышленности. В Республике Беларусь в машиностроении использование ИИ практически не наблюдается, что является существенным недостатком развития промышленной отрасли.

**Основная часть.** Актуален вопрос о выведении белорусского машиностроения на более высокий качественный уровень развития и получении конкурентоспособного и прогрессивного статуса не только среди стран СНГ, но и среди развитых европейских государств. Чем больше будет произведено конкурентоспособной продукции, тем лучше будет развиваться экономика Республики Беларусь. Использование новых методов производства становится современной необходимостью.

Актуальность темы исследования базируется на необходимости эффективного, качественного процесса реализации управления машиностроением и эффективного использования робототехники на производстве. Существует несколько видов роботов: манипуляторы, машины с жесткой программой, андройды. Постоянно ведутся исследования по созданию и использованию ИИ. В перспективе машины станут не только самостоятельно думать, но и принимать рациональное решение на основе заложенных в них алгоритмов. Сейчас ИИ при помощи самообучения может выполнять сложные и неординарные функции, которые способны частично заменить человека.

Отметим, что концепция «самоосознающих» машин или систем, которые могут извлекать уроки из собственной среды и свободно адаптироваться, получает все более широкое признание в качестве возможной и желательной перспективы. Казалось бы, что мир стандартов и протоколов связи играет ключевую роль в развитии данной технологии, поскольку она обещает заполнить пробелы в критической инфраструктуре, которая до сих пор нуждается в доработках и систематизации. Необходимо понять ценность «самонаблюдающих» машин. Для этого проанализируем некоторые реальные примеры. У станков уже есть способность к «самоосознанию». Они работают как набор систем, подсистем, компонентов и датчиков, взаимосвязаны и контролируются централизованно. Например, функция, такая как компенсация зазора, использующая входной сигнал от конкретного компонента для вычисления коррекции, возвращается к управлению этим же компонентом для устранения нежелательного результата. Аналогичным образом разрабатываются технологии для создания обратной связи для режущих инструментов. Датчики вибрации передают данные в держатель инструмента, который может автоматически выполнять небольшие регулировки, чтобы избежать нежелательных колебательных воздействий, что, в свою очередь, снижает вибрацию, улучшает качество поверхности и увеличивает срок службы обрабатываемой пластины.

Операторное управление следящей релейной системы при отсутствии обратной связи по скорости имеет следующий вид:

$$\varphi = (\varphi^3 - \varphi)W(p)K_n(\delta),$$

где  $W(p) = K_1K_2$ ,  $K_1 = \frac{1}{p}$  — передаточная функция линейной части системы;

$K_n(\delta)$  — передаточная функция релейного элемента, которые легко можно просчитать для отдельно взятой системы.

Теоретически эти современные линии «самоосознающего» оборудования могут быть вскоре связаны гораздо большим количеством петель обратной связи. Деталь или сборка на заводе могут содержать метаданные о себе, об оборудовании, дизайне и о их создателях. Уже сегодня существуют компоненты программного обеспечения для производственного объекта, а также датчики, необходимые для создания контуров обратной связи. Вместе с тем на предприятиях отсутствует возможность подключения таких контуров обратной связи, что затрудняет функционирование «самоосознающего» оборудования при выполнении поставленной задачи. Стандарты обратной связи отсутствуют или неполные, что является, по нашему мнению, существенным недостатком.

Примером программных продуктов, работающих на основе систем ИИ, являются экспертные системы. Экспертные системы используются на многих предприятиях, но они не могут сравниться с настоящим ИИ, который способен на основе решенных ранее проблем и составленных отчетов сам принимать решения в ситуациях, которые не прописаны в его коде. Экспертные системы, в свою очередь, имеют ограниченную функциональность. Все решения и функции делаются на основе прописанных алгоритмов в коде программы и не способен решать нестандартные ситуации, которые не прописаны в коде, без вмешательства человеческого интеллекта.

В области машиностроения существуют примеры использования программных оболочек на базе технологии экспертных систем, когда система может принимать решения на основе заложенных в нее экспертных знаний. Такой подход позволяет оптимизировать единичные и узловые технологии, определить метод технологического обмена и трансфера высоких технологий. Применение экспертных систем для решения подобного рода проблем значительно сокращает время обоснованного выбора предварительных проектов технологической документации и наилучших вариантов единых и узловых технологий. Следует отметить, что в такой системе база знаний содержит формализованные знания экспертов, представленные в виде набора фактов и правил. Механизм вывода, или решатель, — это блок, представляющий собой программу, реализующую прямую или обратную цепочку рассуждений в качестве общей стратегии построения вывода. С помощью интеллектуального интерфейса экспертная система задает вопросы пользователю и отображает сделанные выводы, представляя их обычно в символьном виде. Можно говорить о том, что технолог производства в рамках разработки директивных технологических процессов имеет две возможности: 1) значительное улучшение существующего и отлаженного технологического процесса путем выбора того или иного варианта операций, методов обработки или сборки, а также технологического оборудования; 2) использование системотехнических методов проектирования, основанных на оптимизации конструкторских и технологических решений и математическом моделировании, ориентированных на значимые критерии.

Для обеспечения конкурентоспособности новых продуктов на определенных этапах разработки, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ необходимо следить за соотношением двух групп критериев: 1) качества продукта, где на техническом уровне рассматриваются важные параметры, которые заносятся в соответствующую карту технического уровня и качества продукции; 3) цены продукта, где значимыми параметрами являются значения затрат, вложений и рисков инвестиционных проектов.

В Республике Беларусь инновационные технологии пока практически не внедряются в отличие от зарубежных стран, таких как Япония, Германия и др. Например, японские ученые Токио заявили о создании ИИ в машиностроении. Их технология дает роботам возможность самостоятельно принимать решения, при этом

используется технология, построенная на принципе функционирования мозга человека. Искусственный интеллект может благодаря этому получать, анализировать, обрабатывать информацию и пользоваться ею, самостоятельно принимать решения в незнакомой ситуации. Данные способности являются имитацией человеческого интеллекта. Как и люди, ИИ может получать информацию с помощью входящих данных, разработанных на основе датчиков, которые моделируют работу зрительных, слуховых, сенсорных функций, а также из электронных носителей. В отличие от человеческого интеллекта искусственный сможет получать огромные массивы данных, а значит, запоминать и использовать её больше.

США является одной из стран, которая активно использует ИИ в различных сферах деятельности. Почти в каждой отрасли применяют экспертные базы данных для решения разноплановых проблем. Благодаря использованию ИИ США сейчас является лидером в машиностроении, и многие корпорации внутри страны пытаются внедрить его для повышения качества производимой продукции. Одной из таких корпораций является компания FORD. Эта компания всегда была лидером производства и, пытаясь отстоять своё лидерство, сделала инвестиции в Argo AI, что позволило компании не только сохранить лидерство, а также поставить рекорды в машиностроении, что хорошо сказалось на репутации ИИ для его дальнейшего использования и совершенствования. Повысилось качество продукции, компания FORD стала примером для других предприятий, которые хотят освоить и внедрить ИИ в производство.

**Заключение.** Исходя из общего положения и опираясь на совокупность всех ранее вышперечисленных и упомянутых фактов, можно говорить о том, что введение ИИ в машиностроении необходимо для автоматизации человеческого труда и подмены его машинным трудом, уменьшения финансовых затрат, а также экономии временного ресурса. Что касается нашей страны, то на первых этапах внедрения ИИ в машиностроительное производство было бы удобно использовать систему ИИ в контроле работы станков или отдельно взятых отраслей, где бы собиралась информация либо выдавался отчет-рекомендации по решению какой-либо проблемы в той или иной работе. Это позволило бы устранить различные погрешности и ошибки в сфере машиностроения.

УДК 536.7; 544.2

Г. Ю. Тюменков, А. С. Невмержицкая

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель

## ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗА УРАВНЕНИЯ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ WOLFRAM MATHEMATICA

**Введение.** Wolfram Mathematica — современная система компьютерной алгебры, широко используемая в научных и инженерных разработках [1]. Система обеспечивает автоматическое генерирование программного кода на языке Си с оптимизацией с помощью SymbjlicC. В широком спектре имеющихся расширений для решения физических и инженерных задач следует выделить AceFEM и Geometrica. Применение данной системы для анализа полуэмпирических двухпараметрических уравнений состояния представляется весьма эффективным. Сами же уравнения состояния имеют широчайший спектр технологических приложений, в частности, при описании метастабильных состояний вещества.

**Основная часть.** В работе будут продемонстрированы некоторые элементы графического анализа полуэмпирических двухпараметрических уравнений состояния реального газа с помощью системы Wolfram Mathematica на примере уравнения Ван-дер-Ваальса [2]. Выбор данного уравнения обусловлен тем, что оно обладает высоким уровнем предиктивности для ряда технологических приложений, например, при описании охлаждения реальных газов в рамках процесса Джоуля—Томсона [3]. Для наглядности мы будем использовать приведенную форму уравнения, записанную в терминах безразмерных физических переменных [4]:

$$\tilde{p} = \frac{8\tilde{T}}{3\tilde{V}-1} - \frac{3}{\tilde{V}^2}.$$

В первую очередь в целях графической визуализации данное уравнение может быть представлено в виде поверхности вида  $\tilde{P} = \tilde{P}(\tilde{V}, \tilde{T})$ , наиболее физически интересный участок которой находится вблизи критической точки с координатами  $\tilde{V} = 1, \tilde{T} = 1$ . Фиксируя температуру, мы можем изобразить на поверхности систему изотерм, среди которых обязательно следует выделить критическую изотерму (зеленая) и граничную изотерму для метастабильного состояния растянутой жидкости (синяя).

Математический критерий граничной изотермы, содержащей точку касания оси приведенного объема, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \left( \frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{V}} \right)_{\tilde{T}_{\text{гр}}} = 0, \\ \tilde{P} = 0. \end{cases}$$

Для критической изотермы, содержащей точку перегиба, необходимо выполнение условий:

$$\begin{cases} \left( \frac{\partial \tilde{P}}{\partial \tilde{V}} \right)_{\tilde{T}_{\text{кр}}} = 0, \\ \left( \frac{\partial^2 \tilde{P}}{\partial \tilde{V}^2} \right)_{\tilde{T}_{\text{кр}}} = 0. \end{cases}$$

Явная форма уравнения и математические критерии искомых изотерм позволяют записать их программный код в Wolfram Mathematica:

```
Print["Уравнение Ван-дер-Ваальса"];
|печатать
p[T_, V_] := 8 T / (3 V - 1) - 3 / V^2; (*Ван-дер-Ваальса*)
style = Directive@{Black, Thickness[0.003]};
|директива |чёрный |толщина
Print["p(T,V) = ", p[T, V]];
|печатать
derivation[fun_] := D[fun[T, V], V]; (*взятие первой производной по V*)
|дифференцировать
Print["Первая производная p по V = dp/dV (T,V) = ", derivation[p]];
|печатать
TgrVgr[fun_] := Solve[fun[T, V] == 0 && derivation[fun] == 0 && T > 0 && V > 0, {T, V}]; (*решение системы двух уравнений*)
|решить уравнения
values = TgrVgr[p];
Tgr = values[[1, 1, 2]];
Vgr = values[[1, 2, 2]];
Print["Tgr= ", Tgr, " ", N[Tgr], " ", Vgr= ", Vgr, " ", N[Vgr]];
|печатать |численное приближение |численное приближение
Print[Show[Plot[{p[Tgr, V], p[1 + Tgr / 2, V], p[1, V], p[Tgr - 0.02, V]}, {V, 0.4, 5}], PlotStyle -> style,
|печать |поиск |график функции |стиль графика
AxesLabel -> {V, "p"}, LabelStyle -> {30, GrayLevel[0]}, AxesStyle -> Directive[Arrowheads[0.03], Thickness[0.0022]],
|обозначения на осях |стиль этикетки |уровень серого |стиль оси |директива |наконечники |толщина
PlotLegends -> "Ван-дер-Ваальса", ImageSize -> 1000]];
|размер изображения
Print[Plot3D[p[T, V], {T, 0.01, 2}, {V, 0.5, 5}, PlotRange -> {{0.01, 2}, {0.5, 5}, {-10, 10}}, AxesLabel -> {T, V, "p"}]];
|график функции от переменных |отображаемый диапазон графика |обозначения на осях
Tchange[V_] = Solve[derivation[p] == 0 && V > 0, T, Reals][[1, 1, 2, 1]];
|решить уравнения |множество действительных чисел
Print["Зависимость T(V), при которой dp/dV = 0 T(V) = ", Tchange[V]];
|печатать
Show[Plot[Tchange[V], {V, 0.5, 5}, AxesLabel -> {V, T}, PlotStyle -> style, LabelStyle -> {30, GrayLevel[0]},
|график функции |обозначения на осях |стиль графика |стиль отметки |уровень серого
AxesStyle -> Directive[Arrowheads[0.03], Thickness[0.0022]]], ImageSize -> 1000]
|директива |наконечники |толщина |размер изображения
Уравнение Ван-дер-Ваальса
p(T,V) = 3 / (V^2 - 1 + 3 V) + 8 T / V^2
Первая производная p по V = dp/dV (T,V) = 6 / V^3 - 24 T / (-1 + 3 V)^2
Tgr = 27 / 32 = 0.84375, Vgr = 2 / 3 = 0.666667
```

Расчеты показывают, что граничная изотерма имеет приведенную температуру  $\tilde{T}_{\text{гр}} = 0,84375$  и достигает нуля приведенного давления при  $\tilde{V}_{\text{гр}} = 0,66667$ .

Графическая реализация приведенного уравнения Ван-дер-Ваальса с вышеупомянутыми изотермами показана на рисунке 1.

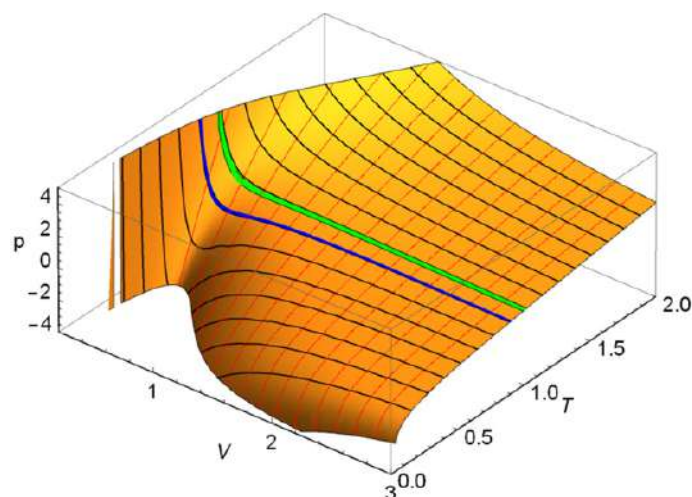


Рисунок 1 — Фрагмент поверхности приведенного уравнения состояния Ван-дер-Ваальса с выделенными критической (зеленая) и граничной (синяя) изотермами.

**Заключение.** Авторам представляется методически привлекательным данный подход к исследованию уравнений состояния в термодинамике реальных газов, имеющих широчайшее применение в технике.

#### Список цитируемых источников

1. *Иванов, О. А.* Дискретная математика и программирование в Wolfram Mathematica / О. А. Иванов, Г. М. Фридман. — СПб. : Питер, 2019. — 351 с.
2. *Redlich, O.* On the thermodynamics of solutions V. equation of state: fugacity of gaseous solutions / O. Redlich, J. N. S. Kwong // *Chemical Reviews*. — 1949. — Vol. 44. — P. 233—244.
3. *Дей, Е. А.* Кривые инверсии эффекта Джоуля—Томсона для обобщенного уравнения Ван-дер-Ваальса / Е. А. Дей, Г. Ю. Тюменков // *Изв. Гом. гос. ун-та им. Ф. Скорины*. — 2015. — № 6 (93). — С. 117—120.
4. *Румер, Ю. Б.* Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. — Новосибирск : Изд-во Новосибир. ун-та, 2000. — 608 с.

## СЕКЦИЯ 4

# АДАПТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

УДК 636.085.52

С. В. Абраскова<sup>1</sup>, Д. Д. Саванчук<sup>1</sup>, И. А. Стречень<sup>2</sup>, А. А. Ярота<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию», Жодино

### РЕЗЕРВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ НА ЗЕРНОСЕНАЖ

**Введение.** Особый интерес науки и практики представляет вопрос эффективного использования жвачными животными органического вещества корма, получаемого из вегетативной и зерновой массы зернофуражных культур, убранных безобмолотным способом. Этот вид корма имеет существенные преимущества по протеиновой питательности, каротину, выходу питательных веществ с единицы площади, суммарной продуктивности 1 га, себестоимости кормовой единицы в сравнении с концентратами [1–3]. Как показывает мировая практика, его скармливание с сенажом (силосом) из многолетних трав позволяет получить свыше 9 000 кг молока от коровы без включения в рацион кукурузного силоса [4]. Затраты труда на сбор и скирдование соломы после уборки на зерно в 2...2,5 раза превышают затраты на сбор зерна, при этом почти полностью теряется половина. При безобмолотном способе уборки зернофуражных культур по сравнению с раздельным они сокращаются в 1,2...1,6 раза, удельные капиталовложения — 1,5...2 раза, а эксплуатационные расходы — в 1,5 раза. Резко уменьшается удельная металлоемкость применяемых машин [4].

Несмотря на кормовые достоинства, в Беларуси заготавливают не более 400 тыс. т зерносенажа в год, часто используют сильно полеглие и заросшие сорняками посевы, предназначенные на зерно. Уборка такого зерна в полной спелости с обмолотом бессмысленна, но и зерносенаж получается из него с питательностью ниже нормативных требований. По данным российских ученых, наибольший урожай зернофуражных культур и выход сухого вещества (92...96 ц/га) получен в стадии восковой спелости, однако убираемые культуры в указанную фазу вегетации дефицитны по протеину на 20...25 % [5].

За последние годы создан целый ряд новых разноспревающих сортов кормового назначения — 76 % от общего объема производимого ячменя [6]. Ячмень при уборке целого растения обладает наиболее высоким оптимальным соотношением массы колосьев к массе стеблей (1:1) благодаря его короткостебельности и достаточно высокой зерновой продуктивности. Анализ всех сельскохозяйственных культур, возделываемых в республике, показывает, что ячмень имеет весь набор незаменимых аминокислот (в том числе таких дефицитных, как лизин и триптофан). По их содержанию он уступает только голозерному овсу — 33,74 г/кг незаменимых кислот, а по их сбору с 1 га лидирует среди зерновых культур — 99,7 кг [7]. С учетом вышеупомянутых потенциальных резервов ячменя для производства биологически полноценного корма основой наших исследований явилось изучение в сравнительном аспекте продуктивности новых кормовых сортов ячменя, а также качества заготовленных из них консервированных кормов с помощью биологического препарата на основе молочнокислых бактерий.

**Основная часть.** Объектами исследований были сорта ярового ячменя из групп раннеспелых — Магутны, Батька, среднепоздних — Добры, Рейдер.

Выход зеленой массы и сухого вещества различались у изучаемых сортов. Наибольший урожай зеленой массы и сухого вещества получен при уборке во второй декаде июля — 265,4 и 104,5 у сорта Батька и 254,0 и 104,8 ц/га — сорта Добры. По урожайности зерна среди изученных сортов выделились сорта Рейдер и Магутны, которые показали максимальный уровень 57...59 ц/га.

Органолептические показатели готового консервированного корма из ячменя, убранного в фазу колошения, свидетельствовали о получении качественного корма: структура была сохранена, запах фруктовый и моченых яблок, оливкового цвета, без плесневого мицелия. Исключение составил контрольный вариант (без внесения биопрепарата), где наблюдался точечный поверхностный плесневый мицелий.

При консервировании кормового сорта ячменя Магутны в фазе колошения с использованием биопрепарата Биоамид сохранность сырого протеина была на 2 % выше (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Химический состав и питательность консервированных кормов из разных сортов ячменя, % в абсолютно сухом веществе

Сорт	Сырой протеин	Сырой жир	Сырая клетчатка	Сырая зола	БЭВ	В 1 кг сухого вещества		
						ОЭ, МДж	Корм. ед.	Сырой протеин, г
Магутны*	12,95	3,77	27,56	7,03	48,69	10,57	0,90	129
Магутны	14,00	4,07	28,45	7,68	46,04	10,58	0,91	140
Батька	13,60	3,79	26,30	8,41	47,90	10,72	0,93	136
Рейдер	13,43	3,69	28,37	7,98	46,53	10,50	0,89	134
Добры	13,40	3,68	29,27	7,59	46,08	10,41	0,88	134

Примечание.\*— контроль.

По остальным показателям химического состава различий не обнаружено, хотя оптимальным уровнем не более 28 % содержания сырой клетчатки характеризовались сорта Магутны, Батька, Рейдер.

Энергетическая питательность сухого вещества сортов варьировалась от 0,88 до 0,93 корм. ед. в одном килограмме; у раннеспелого кормового сорта ячменя Батька был максимальный уровень этого показателя.

**Заключение.** На легкосуглинистой почве со средним уровнем плодородия изучаемые сорта значительно различаются по продуктивности и дифференцируются по выходу зеленой массы, сухому веществу и зерна, как зеленоукосного (Батька, Добры), так и зернового направления (Магутны). Новый сорт Рейдер относится к универсальным как по выходу зерносеменной массы, так и зерна.

Органолептические и химические показатели готового консервированного с помощью биопрепарата Биоамид корма из ячменя, убранный в фазу колошения, свидетельствуют о получении качественного корма. Энергетическая питательность составляет 0,88...0,93 корм. ед. с содержанием сырого протеина 134-136 г в 1 кг сухого вещества.

В типичных для Беларуси погодных условиях раннеспелые кормовые сорта ячменя ярового вступают в фазу колошения во второй декаде июня — сроки, которые можно считать началом уборки на зерносилос (Батька) и в первой-второй декаде июля в фазу молочно-восковой спелости — на зерносемя (Добры, Рейдер).

#### Список цитируемых источников

1. Технология производства высококачественных кормов : рекомендации / В. К. Павловский [и др.]. — Минск, 2013. — 18 с.
2. Разумовский, Н. П. Как обеспечить коров протеином / Н. П. Разумовский // Наше с. хоз-во. Вып. «Ветеринария и животноводство». — 2016. — № 10. — С. 24—39.
3. Разумовский, Н. П. Как снизить себестоимость рациона коровы? / Н. П. Разумовский, А. А. Хрущев // Наше с. хоз-во. Вып. «Ветеринария и животноводство». — 2016. — № 22. — С. 40—45.
4. Эффективное использование кормов при производстве говядины / Н. А. Яцко [и др.]. — Минск : Беларус. издат. тов-во «Хата», 2000. — С. 252.
5. Пахомов, И. Я. Полноценное кормление высокопродуктивных коров / И. Я. Пахомов, Н. П. Разумовский // Витебск : ВГАВМ, 2006. — 109 с.
6. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / А. А. Зубкович [и др.] // Сб. науч. материалов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». — 3-е изд., доп. и перераб. — Минск : ИВЦ Минфина, 2017. — С. 161—176.
7. Сравнительный анализ состава незаменимых аминокислот в продукции основных с/х культур / Р. В. Путятин [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. — 2014. — № 3 — С. 60—69.

УДК 632.08

**В. А. Бурдейко**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКИХ ЩЕТОК МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

**Введение.** При проектировании машины для сбора колорадского жука необходимо рационально выполнить компоновку ее составных частей. Правильная установка рабочих органов влияет одновременно на производительность и качество работы машины. Наиболее эффективными рабочими органами явились конические и прямолинейные щетки, гофрированные боковины и отбойник. Так как коническая щетка имеет наиболее сложную конструкцию по сравнению с другими рабочими органами, то необходимо произвести расчет ее параметров [1—3].

© Бурдейко В. А., 2020

**Основная часть.** Для определения параметров конических щеток принята расчетная схема (рисунок 1), где показан ротор (коническая щетка), перемещающийся поступательно со скоростью машины  $V$  и вращающийся с угловой скоростью  $\omega$ .

Поместим начало подвижной системы координат в центр ротора в начальный момент  $t = 0$ , а ось  $Y$  направим в сторону поступательного движения машины. По периметру каждой конической щетки расположены ворсинки щеток с высотой  $B$ . Средняя линейная щетка сгребает колорадских жуков с картофельной ботвы площади  $aa'b'b'$ , а соседняя — с площади  $cc'd'd'$  и т. д.

Для качественного выполнения технологического процесса линейными щетками необходимо, чтобы между этими площадями не оставалось промежутков. Достигается это при определенном соотношении поступательной и вращательной скоростей щеток, их среднего диаметра  $D = 2R$ , числа щеток  $z$  и высотой ворсинок  $B$ , установленных на каждой щетке, входящей в комплект конической щетки (ротора).

Для выполнения этого условия траектория конца средней щетки (точка  $a$ ) должна касаться траектории начала второй щетки (точка  $d$ ), т. е. максимальные ординаты этих траекторий должны быть равны между собой:  $Y_{amax} = Y_{dmax}$ .

Введя обозначения  $V / (\omega R) = \lambda$  [4] и  $(R - B) / R = k$ , где  $V$  — поступательная скорость машины;  $R$  — радиус ротора;  $B$  — высота ворсинок [4], получим условие касания траекторий в следующем виде:

$$2\pi\lambda/z = \sqrt{1-\lambda^2} - \sqrt{k^2-\lambda^2} - \arccos\left(\frac{1}{K}\lambda^2 + \sqrt{1-\lambda^2} \cdot \sqrt{k^2-\lambda^2}\right),$$

где  $z$  — число щеток на машине.

Поскольку из уравнения нельзя получить зависимость ширины захвата щетки от других параметров в явном виде, оно было решено численными методами. Результат решения представлен в виде номограммы (рисунок 2). На графиках, построенных для ротора единичного радиуса  $R$ , заштрихованная линия ограничивает область существования решений уравнения.

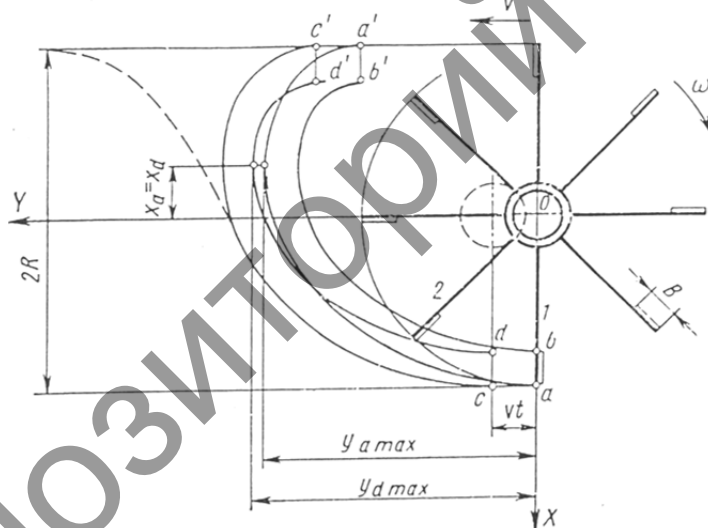


Рисунок 1 — Расчетная схема конических щеток

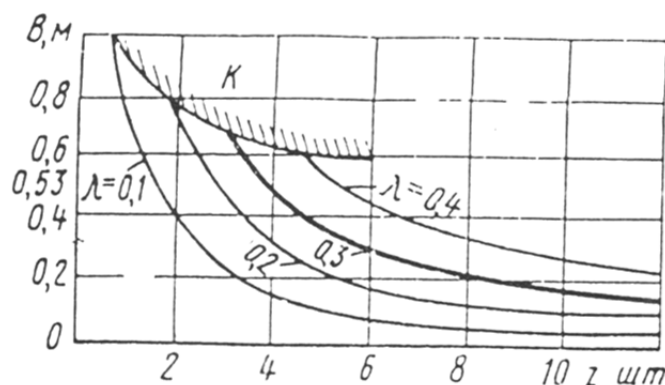


Рисунок 2 — Номограмма для расчета параметров конических щеток [5]

**Заключение.** При проектировании конических щеток в качестве рабочих органов машины для сбора колорадского жука расчеты их параметров и параметров их рабочих элементов необходимо выполнять по вышеприведенным формулам. Количество прямолинейных щеток, установленных на ротор (называемый «коническая щетка»), определяется по номограмме для расчета параметров конических щеток. В целях балансировки ротора количество щеток, устанавливаемых на ротор, должно быть четным, а их расположение — симметрично противоположащим, а перед установкой щеток производится их взвешивание.

#### Список цитируемых источников

1. Бурдейко, В. А. Перспективные рабочие органы машин для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко // Техника и технологии. Инновации и качество : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 18 дек. 2015 г., Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: А. В. Никишова (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.) (и др.). — Барановичи : РИО БарГУ, 2015. — С. 7—8.
2. Тележка для сбора колорадского жука [Электронный ресурс] : пат. U20070400 Респ. Беларусь, МПК А01М5/00 / В. К. Пестис, Э. В. Заяц, С. Н. Ладутько, П. П. Казакевич, П. В. Заяц ; заявитель и патентообладатель Гродн. гос. аграр. ун-т // База патентов Беларуси. — Режим доступа: <http://byopatents.com/>. — Дата доступа: 10.09.2019.
3. Устройство механического сбора вредных насекомых, их личинок или семян [Электронный ресурс] : пат. РФ 2390127 : МПК А01М5/04 / В. А. Парамошко // Нац. цифровой ресурс Рукопт. — Режим доступа: <http://rucont.ru/>. — Дата доступа: 10.09.2019.
4. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учеб. для вузов с.-х. машиностроения / Е. С. Босой [и др.] ; под ред. Е. С. Босого. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1997. — 568 с.
5. Шестопалов, К. К. Взаимодействие ворса со смётотом и расчёт параметров цилиндрической щётки : метод. указания / К. К. Шестопалов, С. В. Штефан ; Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). — М. : МАДИ, 2010. — 16 с.

УДК 631.91

В. А. Бурдейко, А. В. Исаев

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ПРОБЛЕМА БОРЬБЫ С КОРОЕДОМ В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ

**Введение.** Глобальное изменение климата негативно отразилось на состоянии лесов в Республике Беларусь, Российской Федерации, Украине и странах Европы. Отрицательное влияние природных факторов на состояние лесов привело к снижению биологической устойчивости сосновых насаждений и образованию в них очагов массового размножения стволовых вредителей, ускоряющих усыхание сосняков, и в Беларуси. Сосновые леса давно страдают от постепенного ослабления, которое вызывается корневой гнилью, но патологический процесс, возникший в последнее десятилетие, называемый «короедное усыхание сосны», в настоящее время вызывает особую озабоченность ученых и лесоводов. По масштабам и интенсивности развития короедное усыхание сосны превышает все известные патологии в лесах республики. Типичным его проявлением является внезапное образование в лесу групп усыхающих деревьев с ярко рыжей окраской хвои. Такие картины, включающие от 2...3 до 100...200 деревьев, могут появляться в любое время года. Часто усыхание происходит в очагах корневых гнилей, в заподозренных или пройденных рубкой древостоях, в стенах леса по периметру вырубок, но куртины могут образоваться и на здоровых насаждениях.

**Основная часть.** Учёные полагают, вершинный короед (*Ips acuminatus* Eichh.) и распространяемые им инфекции являются причинами гибели древостоев. По литературным данным, с 2003 по 2017 год этот феномен зарегистрирован в ряде европейских стран: Испании, Германии, Румынии, Словакии, Франции, Швейцарии, Италии, Польше, Финляндии, Украине, России. В Беларуси короедное усыхание сосны впервые было выявлено в Гомельском лесхозе в 2010 году. Площадь усыхающих сосновых древостоев ежегодно увеличивается, как и география, и в 2017 году эта проблема уже вышла за пределы Полесского региона и зафиксирована в ряде лесхозов центральной части республики.

Вершинный короед (рисунок 1) повреждает различные виды сосен (всех возрастов), елей, реже — пихту и лиственницу. Распространен вид в пределах своего ареала в насаждениях большинства хвойных пород, но массовым в условиях Беларуси является лишь в сосновых лесах. Жук коротко цилиндрический (2,2...3,9 мм), коричневый, блестящий, в редких торчащих волосках. Активная деятельность начинается в конце апреля — начале мая. Лет жуков происходит до середины лета, а зимуют они в местах развития в подстилке или кронах повреждаемых деревьев.

Повышение температуры воздуха и снижение уровня грунтовых вод на протяжении последних лет обусловило нарушение экологического равновесия и биологической устойчивости сосновых лесов, особенно в южных регионах страны. Общая площадь усыхающих хвойных насаждений, потребовавших проведения сплошных санитарных рубок, в 2017 году составила 29 319 га, в том числе в сосновых насаждениях — 25 299 га. Кроме сплошных санитарных рубок проведены санитарно-



Рисунок 1 —  
Вершинный короед

оздоровительные мероприятия в сосновых лесах (выборочные санитарные рубки и уборка захламленности) на площади 95 982 га. При этом было заготовлено 7 099 тыс. м<sup>3</sup> древесины. Проведение указанных организационных мер и санитарных рубок в максимально сжатые сроки с последующим сжиганием порубочных остатков и обработкой инсектицидами заготовленной древесины позволило не допустить потери качества заселенной вредителями древесины и лесохозяйственной продукции для дальнейшего использования, а также предотвратить увеличение численности вредителей, локализовать значительные по площади очаги короедов. Основной объем сосновых насаждений с нарушенной и утраченной биологической устойчивостью сконцентрирован в южных регионах страны (Брестская, Гомельская, Минская области).

Ввиду скрытого образа жизни и несистемного распространения очагов вершинного короеда на больших площадях использование пестицидов для массовых истребительных обработок в лесу считается нецелесообразным. В целях уничтожения вредителей под корой заселенных короедами лесоматериалов, а также профилактики повреждения древесины не заселенных короедами лесоматериалов приобретен биопрепарат, разрешенный к применению на территории Беларуси. Планируется также проведение опытной авиационной обработки сосновых насаждений аналогичным препаратом. В лесу очаги короедов могут возникать и затухать достаточно быстро, поскольку этот вредитель обладает высокой миграционной активностью. Особенно высока скорость образования короедов в период с апреля по сентябрь, когда происходит лет и размножение. Местами концентрации вредителя в это время становятся молодые посадки деревьев, а также порубочные остатки и лесоматериалы, полученные из них. Короед может также нападать на заготовленную древесину, полученную от живых деревьев, хранящуюся в лесу, и на порубочные остатки от живых сосен. Если на участке леса обнаружены деревья, заселенные вершинным короедом, их необходимо как можно быстрее вырубать, лесоматериалы, полученные из заселенной части ствола, окорить, обработать инсектицидами или переработать, а порубочные остатки переработать или сжечь. Лесоматериалы, заготовленные из незаселенных деревьев или частей ствола, необходимо вывезти с лесосеки в 20-дневный срок. Если предполагается их хранение в лесу, то они должны быть собраны в плотный штабель, а в дальнейшем защищены от биоповреждений.

Возможен экологически чистый вариант борьбы с вредителем — воздействие ультразвуком на участки, подверженные нападению насекомых. В настоящее время анализ поврежденности внутри ствола деревьев можно осуществлять ультразвуком. Увеличив частоту воздействия, можно также создать непригодные условия для жизнедеятельности короеда.

К сожалению, сейчас другого способа эффективной борьбы с вершинным короедом, кроме вырубки заселенных деревьев, сжигания порубочных остатков, вывозки или химической обработки заготовленной древесины, нет. Складывается парадоксальная ситуация, когда вырубки леса, сплошные и выборочные, являются не вредом, а благом для леса. Не стоит беспокоиться о том, что в результате рубок леса станет меньше. На всех сплошнолесосечных вырубках своевременно создаются новые леса. Для этого в Мозырском опытном лесхозе имеется все необходимое [1]. В Слободском лесном питомнике выращивается достаточное количество семян сосны и других древесных пород, в том числе и с закрытой корневой системой. Весной и осенью ежегодно на очищенных от порубочных остатков лесосеках высаживаются миллионы молодых деревьев. Кроме посадки семян в арсенале лесоводов имеются такие способы лесовосстановления, как посев леса семенами и содействие естественному его возобновлению на тех участках, где другие способы не приемлемы. Этот процесс весьма длительный, и после проведения лесовосстановительных мероприятий лесоводы еще долгие годы будут ухаживать за молодыми посадками, прежде чем они станут лесом.

**Заключение.** Против короедов издавна разрабатывались меры борьбы. Большинство из рекомендаций пригодны и ныне: удаление заселенных деревьев перед вылетом из них нового поколения; незамедлительное снятие коры древесины и возможно быстрый вывоз ее из леса; сжигание или утилизация снятой коры; выкладывание ловчих деревьев в конце зимы или ранней весной и «ошкуривание» их со сжиганием коры в июне, массовый отлов жуков в феромонные ловушки.

#### Список цитируемых источников

1. Мозырский опытный лесхоз [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mozles.by/новости/313-жук-короед> . — Дата доступа: 16.10.2019.

УДК 631.517

А. К. Гавриленя, В. Н. Майсюк

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ОБЗОР КУЛЬТИВАТОРОВ ДЛЯ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** Междурядная обработка является важнейшим приемом возделывания сельскохозяйственных культур. Она включает в себя следующие операции: рыхление междурядий, окучивание, уничтожение сорняков, внесение минеральных удобрений, как сыпучих, так и растворимых, и обработку защитных полос гербицидами.

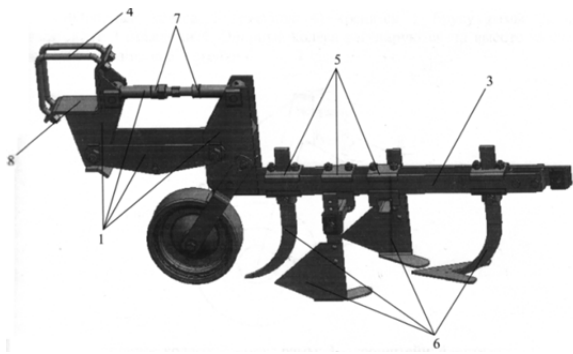


Рисунок 1 — Рабочая секция [1]

**Основная часть.** Культиваторы для междурядной обработки почвы можно подразделить следующим образом:

– по назначению: а) культиваторы-окучники КНО-2.8 (дисковый окучник ПООО «Техмаш», г. Лида); КОН-1.4/2.8 (ПООО «Техмаш», г. Лида); ОЧ-1.4/2.8 (ПООО «Техмаш», г. Лида); б) культиваторы-гребне/грядобразователи ОКГ-4 (ОАО «Гидросельмаш», г. Пинск); КГО-3.0 (ПО «Гомсельмаш», г. Гомель); КГО-1.5/3.0/3.6 (ПООО «Техмаш», г. Лида); в) культиватор-растениепитатель навесной высокостебельный КРН-5.6-01 (ПООО «Техмаш», г. Лида); КРНВ (Украина); культиватор-растениепитатель для ухода за посевами кукурузы КРК-6 (РУП НАН РБ по механизации сельского хозяйства); г) культиватор-опрыскиватель универсальный КОУ-4/6 (ПООО «Техмаш», г. Лида);

д) культиватор свекловичный УСМК-5.4/8.1 (ПООО «Техмаш», г. Лида). Культиваторы, упомянутые в пунктах а и б, используются при гребневой посадке;

– по применению рабочих органов: а) культиваторы с пассивными рабочими органами; б) культиваторы с активными рабочими органами КФ-1.4/1.5, КФ-2.8/3.0, КФ-4.2/4.5 (ПООО «Техмаш», г. Лида), АПУ (пропашный агрегат ПООО «Техмаш», г. Лида);

– по применению подкормочных устройств: а) культиваторы с подкормочными устройствами (как для внесения сыпучих, так и жидких минеральных удобрений); б) культиваторы без подкормочных устройств.

Таким образом, видно, что в Республике Беларусь основным производителем культиваторов для междурядной обработки сельскохозяйственных культур является ПООО «Техмаш». Предприятие выпускает почти всю линейку пропашных культиваторов. Они также занимаются выпуском культиваторов для сплошной обработки почвы с шириной от 4 до 24 метров и агрегатов комбинированных почвообрабатывающих.

Культиватор представляет собой навесную машину, состоящую из рамы или бруса, на который крепятся замок автосцепки, два несущих колеса, секции рабочих органов, подкормочное приспособление для внесения сыпучих минеральных удобрений, устройства для локального внесения пестицидов и жидких минеральных удобрений, и комплекта сменных рабочих органов. Также может комплектоваться набором анкерных стоек со стрелчатой лапой для сплошной обработки почвы.

Рабочая секция (рисунок 1) состоит из параллелограммного механизма 1, копирующего колеса 2, грядиля 3, стяжек 4, держателя крепления рабочих органов 5, рабочих органов 6, талрепа 7, кронштейна крепления 8.

Для выполнения технологических операций культиваторы комплектуются полным набором сменных рабочих органов (рисунок 2).

Стрелчатая лапа предназначена для более глубокого и интенсивного рыхления и подрезания сорняков.

Окучник предназначен для образования гребней по оси рядка, уничтожения сорняков на дне борозды и засыпания сорных растений в защитных зонах, а также рыхления стенки борозды и сторон гребня.

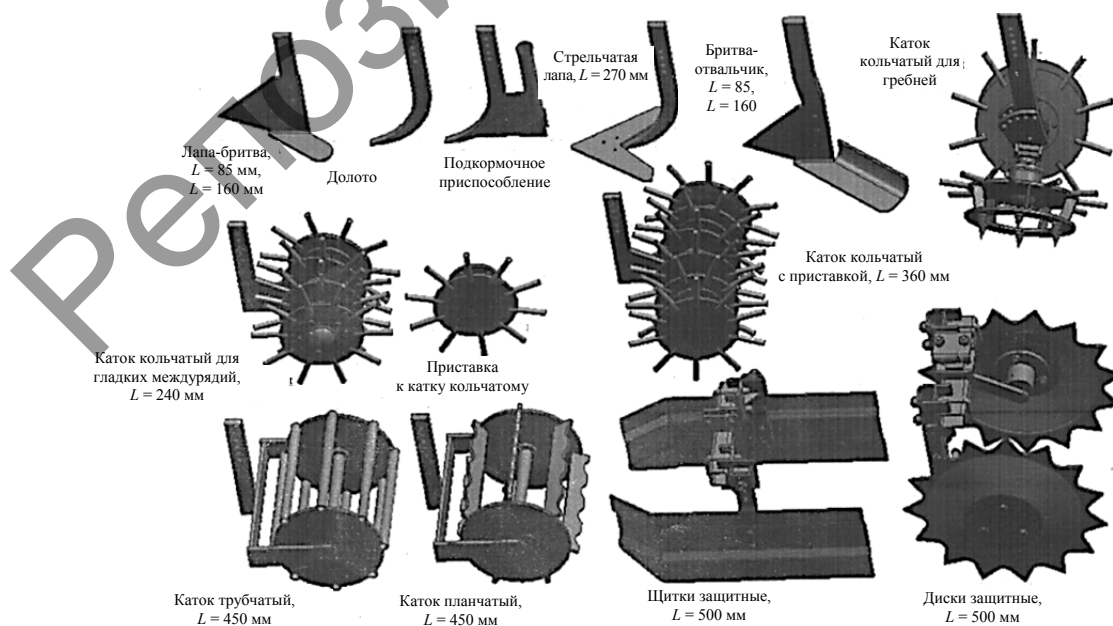


Рисунок 2 — Рабочие органы культиватора [1]

Лапа плоскорежущая односторонняя предназначена для срезания верхнего слоя почвы с гряды (при работе этого рабочего органа срезанные сорные растения остаются на поверхности почвы).

Бритва плоскорежущая односторонняя предназначена для срезания верхнего слоя почвы и смещения почвы к растениям или в междурядье.

Боронка ротационная предназначена для рыхления боковых сторон гряд с одновременным уничтожением сорняков.

Щиток предназначен для предохранения растений от засыпания.

Параллелограммный механизм навески секций рабочих органов и колеса обеспечивают копировку рельефа поля и поддерживают постоянную глубину обработки почвы. Стяжка (талреп) с правой и левой резьбой позволяет изменить угол вхождения рабочих органов в почву. Групповая регулировка глубины хода рабочих органов производится поворотом копирующего колеса с последующей фиксацией на необходимом отверстии. В настоящее время вместо параллелограммного механизма используется шарнирно-под-пружиненный грядиль. Например, культиватор ОКГ-4 (ОАО «Гидросельмаш», г. Пинск) (рисунок 3). Эта система более проста в изготовлении и менее металлоемка, но меньше выбор регулировок. В данной системе пружина поддерживает заданную глубину обработки почвы. Здесь нет таких регулировок, как угол вхождения рабочих органов в почву и групповой регулировки глубины хода рабочих органов (поворот копирующего колеса).

**Заключение.** Универсальность — основной принцип дальнейшего развития культиваторов для междурядной обработки. Во-первых, это связано с предназначением, т. е. культиватор должен выполнять одновременно несколько операций (рыхление почвы в междурядьях, уничтожение сорной растительности, внесение подкормочной дозы твердых или жидких минеральных удобрений, обработка защитных зон гербицидами); во-вторых, он должен быть приспособлен для междурядной обработки любых пропашных и овощных культур; в-третьих, он должен обеспечивать проведение междурядной обработкой овощных и пропашных культур как на ровной поверхности, так и в гребнях.

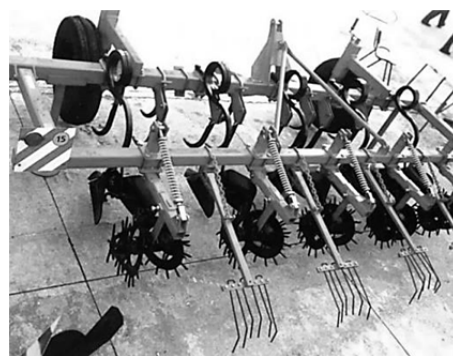


Рисунок 3 — Культиватор ОКГ-4 [2]

#### Список цитируемых источников

1. Культиватор-опрыскиватель универсальный КОУ [Электронный ресурс] // Сайт ПООО «Техмаш». — Режим доступа: <http://tehmash.by/productions/doc/218>. — Дата доступа: 04.10.2019.

2. Окучник-культиватор гребнеобразователь ОКГ-4,0 [Электронный ресурс] // Сайт ОАО «Гидросельмаш». — Режим доступа: [http://www.gidroselmash.by/catalogue/dt/env/r\\_id/eq/35/nex/id/eq/37](http://www.gidroselmash.by/catalogue/dt/env/r_id/eq/35/nex/id/eq/37). — Дата доступа: 04.10.2019.

УДК 636.082.453.5

В. Н. Гутман, И. М. Дыдышко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

**Введение.** В республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» проведены поисковые исследования по термической обработке концентрированных кормов при кормлении свиней в условиях угрозы эпизоотической обстановки африканской чумы свиней (далее — АЧС). В качестве рабочего процесса использовался перегретый пар и шнековый смеситель (кондиционер гранулятора). Измерения температурного режима проводились тепловизором.

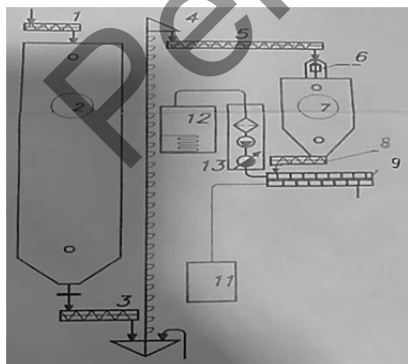


Рисунок 1 — Технологическая схема термообработки паром рассыпных концентров

**Основная часть.** В качестве технологического оборудования для исследования термической обработки концентрированных кормов использовался узел подготовки концентров для их гранулирования (кондиционер). Технологическая схема термообработки паром рассыпных концентров включала в себя следующее оборудование (рисунок 1): шнек подачи сухих концентров 1, бункер-накопитель 2, выгрузной шнек 3, нория 4, загрузной шнек 5, металлоуловитель 6, бункер-питатель 7 со шнековым дозатором 8, узел термообработки 9, узел подачи жидких добавок 11, парообразователь 12 и узел подачи пара 13.

Данное оборудование производило термическую обработку рассыпных концентрированных кормов до температур и экспозиции (времени)

нагрева, обеспечивающих возможность скармливания их свиньям в соответствии с ветеринарными правилами в условиях сложной эпизоотической обстановки по АЧС. При этом себестоимость термообработки в сравнении с полным циклом гранулирования концентратов уменьшается на 60 %, сохраняя при этом полную питательность входящих в состав концентратов веществ.

Перегретый пар с температурой 137,2 °С (рисунок 2) дозированно подавался в лопастной шнек (кондиционер) гранулятора (узел термообработки) в соотношении, обеспечивающим непрерывный нагрев концентратов до температуры и экспозиции, необходимой для обезвреживания вирусов АЧС.

Как видно из рисунка 2, в зоне обработки паром (узел термообработки) температура концентратов при необходимой экспозиции составляла 71,7...80,8 °С, что было достаточно для обезвреживания возбудителей АЧС.

Полученные термообработанные корма имеют достаточную сыпучесть и могут использоваться как в линиях автоматизированной раздачи сухих концентратов тросошайбовыми или цепочношайбовыми транспортерами с автоматическими объемными дозаторами, так и при приготовлении концентратов в кормосмесителях и раздаче их в жидком виде по трубам с использованием электропневмоклапанов для дозированной выдачи.

Зарубежные фирмы для термической обработки рассыпных концентрированных кормов весьма громоздкое оборудование (рисунок 3).

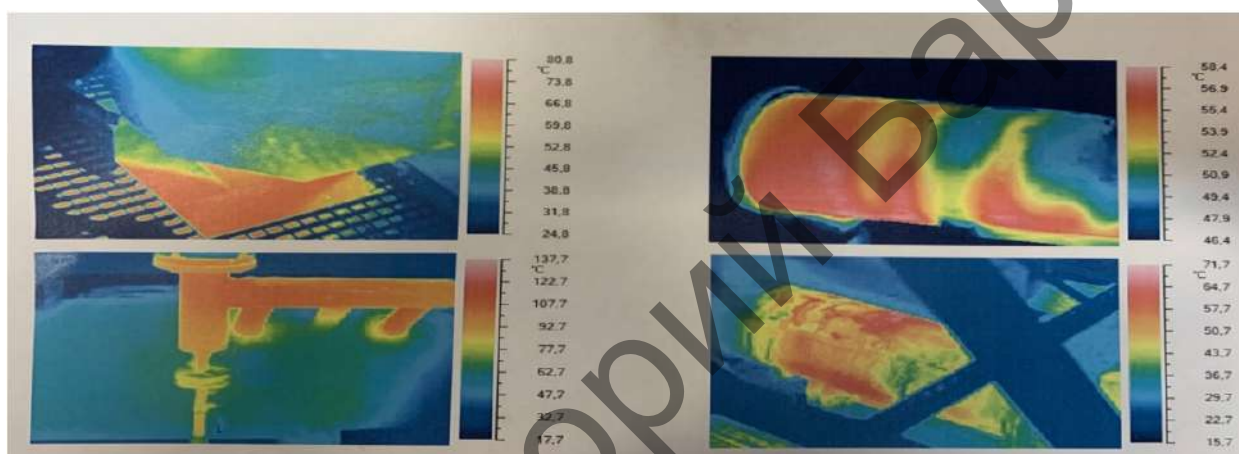


Рисунок 2 — Результаты движения теплового потока в рассыпных комбикормах в узле термообработки

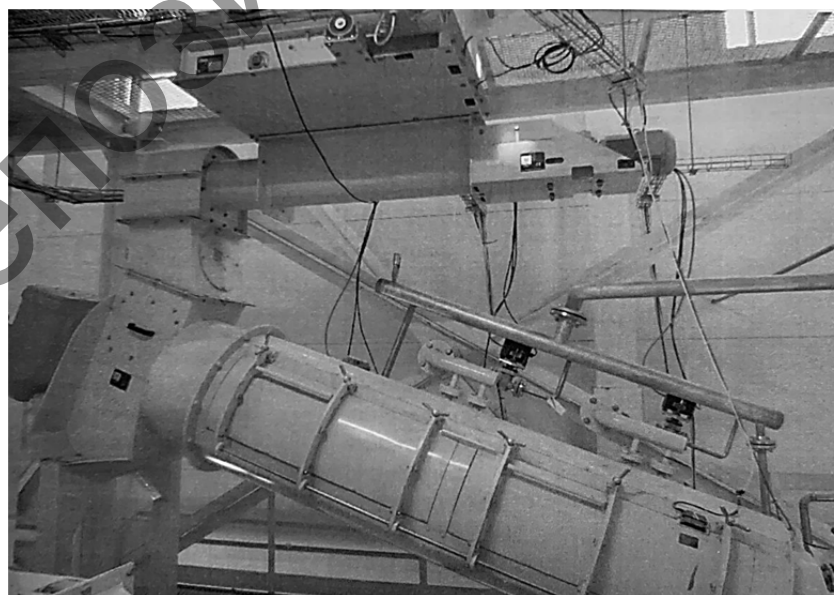


Рисунок 3 — Общий вид зарубежного оборудования для термической обработки рассыпных концентрированных кормов

Реализация термической обработки концентрированных кормов перегретым паром позволит сэкономить значительные финансовые ресурсы.

**Заключение.** Проведенные исследования показали перспективность использования термообработки концентрированных кормов перегретым паром с температурой 140...160 °С для обеззараживания их от возбудителей АЧС.

УДК 658.562.61

Т. В. Дейхина

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ В ПЛОДОВО-ЯГОДНОЙ ПРОДУКЦИИ ПОСЛЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ДЕФРОСТАЦИИ

**Введение.** Плоды и ягоды играют важную роль в питании человека как источники витаминов, микроэлементов, сложных углеводов. Учитывая их физиологическую роль, обусловленную многообразием незаменимых питательных веществ в составе, они относятся к продуктам, которые должны потребляться в течение круглого года.

Ягоды земляники садовой благодаря богатому содержанию биологически активных веществ и отличным вкусовым качествам широко употребляются в пищу, а также в профилактических и медицинских целях.

Короткий срок плодоношения земляники является существенным препятствием для использования всего урожая ягод в свежем виде. Поэтому необходимы рациональные способы их переработки. Одним из перспективных методов продления потребления ягод земляники является быстрая заморозка: она позволяет максимально сохранить органолептические качества и пищевую ценность сырья и организовать производство продукции в межсезонный период [1].

В связи со способностью растений накапливать в процессе роста и развития соли азотной кислоты — нитраты, не включенные в процесс синтеза аминокислот и белков и являющиеся токсикантами для человека, важным является изучение и применение различных методов снижения их содержания в растениеводческой продукции. Наряду с различными способами кулинарной обработки, хранение в замороженном виде плодов и ягод также приводит к уменьшению количества нитратов.

**Основная часть.** Ягоды земляники, наряду с прекрасными вкусовыми качествами, приятным ароматом, привлекательным внешним видом, обладают высокими пищевыми и диетическими свойствами. Однако короткий срок плодоношения земляники, пониженная транспортабельность и кратковременный срок хранения являются существенными препятствиями для использования всего урожая ягод в свежем виде. Поэтому в решении задачи обеспечения потребителей высококачественной продукцией садоводства, наряду с увеличением производства свежих фруктов, перспективной является заготовка замороженных плодов и ягод, что позволит продлить сезон потребления, а также производить доставку в любую точку страны при сохранении их пищевых качеств. В процессе низкотемпературного замораживания лучше сохраняются биологически активные вещества в отличие от традиционных способов заготовки продуктов с помощью тепловой обработки [2].

Перед употреблением или кулинарной обработкой замороженные ягоды подвергают дефростации — оттаиванию, или размораживанию. Десертные плоды и ягоды (персики, абрикосы, землянику и др.) размораживают на воздухе или используют токи высокой или сверхвысокой частоты. Размороженные плоды и овощи не подлежат повторному замораживанию и длительному хранению, поэтому они должны быть или употреблены, или подвергнуты кулинарной обработке. Способы размораживания растительных продуктов: а) медленный в воздухе при температуре 0...4 °С; б) быстрый в воздухе при 15...20 °С; в) в паровоздушной среде при 25...40 °С; г) в воде — орошение или погружение при 4...20 °С или в электрическое поле высокой частоты. При правильном размораживании почти восстанавливаются первоначальные пищевые достоинства продукта, однако биохимические реакции в тканях протекают в сторону гидролиза, происходит вытекание сока и потеря питательных веществ [3].

Активация хозяйственно-производственной деятельности человека в современных условиях, расширение масштабов применения химических веществ в сельскохозяйственной и пищевой промышленности нередко приводят к потере качества продуктов питания. Одними из опасных веществ являются нитраты, основным источником которых — растительные продукты. Нитраты являются элементом минерального питания растений, поставляя им азот для синтеза белков. Поэтому безоговорочное приравнивание нитратов к химическим загрязнителям неправомерно. Но, с другой стороны, повышенное содержание нитратов в их составе в основном является результатом раннего сбора урожая после применения азотных удобрений. При потреблении в повышенных количествах нитраты в пищеварительном тракте человека частично восстанавливаются до нитритов, которые при поступлении в кровь могут вызвать метгемоглобинемию. В результате уменьшается кислородная ем-

кость крови и развивается гипоксия. Кроме того, из нитритов в присутствии аминов могут образоваться *N*-нитрозамины, обладающие канцерогенной активностью [4]. Восстанавливают нитраты в нитриты различные микроорганизмы, заселяющие преимущественно кишечник. Для развития кишечной микрофлоры благоприятна слабощелочная и нейтральная среда. Поэтому наиболее чувствительны к нитратам люди с пониженной кислотностью желудка. При нитратном отравлении у людей наблюдаются нарушения деятельности желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем [5].

Всемирной организацией здравоохранения установлена допустимая суточная доза поступления нитратов для взрослого человека — 5 мг / кг, нитритов — 0,15 мг / кг. Согласно постановлению Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 21 ноября 2005 года № 183 «О внесении изменений и дополнений в Санитарные правила и нормы “Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов”», допустимый уровень содержания нитратов в ягодах не должен превышать 60 мг / кг.

Существуют различные способы снижения содержания нитратов в продукции растениеводства в зависимости от того, в каких растениях, в каких их частях, употребляемых в пищу, они содержатся. В работе анализировалось влияние замораживания на содержание нитратов в ягодах земляники садовой. Замораживание производилось при  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дефростация осуществлялась после трех месяцев хранения быстро в воздухе при  $15\text{...}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Содержание нитратов в ягодах земляники садовой определялось с помощью анализатора жидкости многопараметрического ЭКОТЕСТ-2000 ионометрическим методом. Метод основан на извлечении нитратов из анализируемого материала раствором алюмокалиевых квасцов. Пробы для анализа измельчались и гомогенизировались в присутствии их 1 %-го раствора. В полученной суспензии измерялась концентрация ионов  $\text{NO}_3^-$  с помощью ионоселективного электрода.

Полученные данные показали, что замораживание и дальнейшее хранение в течение трех месяцев ягод земляники садовой приводят к снижению содержания нитратов в них в среднем на 4,5 % (с 58,0 мг / кг в свежих ягодах до 55,4 % в ягодах после замораживания и дефростации).

**Заключение.** В работе показана эффективность снижения содержания нитратов в ягодах земляники садовой после замораживания и дефростации.

#### Список цитируемых источников

1. Германова, М. Г. Сорты земляники, пригодные для заморозки // М. Г. Германова, Т. Г. Причко // Актуальные проблемы садоводства России и пути их решения : материалы науч.-практ. конф., Орел 13—15 июля 2007 г. / ВНИИСПК им. Мичурина РАСХН ; редкол.: М. Н. Кузнецов [и др.]. — Орел : Изд-во ВНИИСПК, 2007. — С. 174—176.
2. Алмаши, Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов / Э. Алмаши, Л. Эрдели. — М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. — 408 с.
3. Магомедов, М. Г. Производство плодовоовощных консервов и продуктов здорового питания : учебник / М. Г. Магомедов. — СПб. : Лань, 2015. — 560 с. : ил.
4. Глунцов, Н. М. Применение удобрений в защищенном грунте / Н. М. Глунцов. — М. : Россельхозиздат, 1974. — 39 с.
5. Богатырев, Ю. Н. В помощь потребителю / Ю. Н. Богатырев. — Новосибирск : Новосиб. книж. изд-во, 1991. — 77 с.

УДК 636.085.52

Е. В. Копылова, С. Г. Даниленко, С. Б. Вербицкий

*Институт продовольственных ресурсов Национальной академии аграрных наук Украины, Киев, Украина*

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АДАПТИВНОЙ БИОКОНСЕРВАЦИИ КУКУРУЗНОГО СИЛОСА

**Введение.** Для развития сельского хозяйства стран постсоветского пространства зачастую характерны такие факторы, как острая нехватка средств и материальных ресурсов. В указанных условиях все сельскохозяйственное производство должно идти по пути рационального природопользования, ориентироваться на эффективное обеспечение своей адаптивности, устойчивости, ресурсосберегающей, средообразующей и природоохранной роли и базироваться на максимальном использовании научной информации, агроклиматических ресурсов, географических, биологических и экологических факторов [1]. В отношении кормопроизводства тенденциям адаптивного подхода, в частности, в полной мере соответствует использование биологических технологий консервирования силоса. Консервирование зеленых кормов путем силосования практикуют во всем мире, и решить указанную проблему можно разными способами, например, путем использования химических консервантов. Впрочем, несмотря на достаточную эффективность, они наносят вред животным, в организме

которых накапливаются химические органические кислоты, вызывающие ацидоз. Альтернативой является использование биологических бактериальных консервантов. Производимые бактериями органические кислоты разлагаются в желудочно-кишечном тракте до углеводов, поэтому не являются вредными для скота. Следует также отметить, что применение микробиологических заквасок обеспечивает значительное повышение энергетической и протеиновой питательности обработанной ими силосной массы [2]. Согласно работе [3], молочная кислота оказывает положительный эффект при приготовлении силоса, поскольку позволяет контролировать ферментацию, верно подобранный препарат позволяет уменьшить потери сухих веществ с 15 до 12...13 %. Основные преимущества молочнокислого брожения состоят в том, что молочная кислота является ценным предшественником питательных веществ в обменных процессах у животных. Как средство консервирования, она подавляет другие процессы разложения в силосной массе, в частности, расщепление белковых соединений. Только в результате молочнокислого брожения происходит быстрое снижение pH, что нейтрализует деятельность всех других микроорганизмов (за исключением дрожжей), при этом клетчатка, крахмал, протеины и витамины разложению не подвергаются. Именно поэтому в состав заквасок для силосования вводят культуры молочнокислых бактерий [4]. Наиболее распространенная культура, используемая сегодня для силосования, — *Lactobacillus buchneri*. Если добавить препарат на основе *Lactobacillus buchneri* в дозировке  $5 \times 10^5$  КОЕ на 1 г свежей зеленой массы, аэробная стабильность становится более выраженной. Продукт эффективен при силосовании кукурузы, люцерны и мелкозерных злаков [5]. Впрочем, использование *L. buchneri* не является безальтернативным вариантом, например, описанные в работе [6] эксперименты показали, что силос с *Lactococcus lactis* не уступал продукту с *Lactobacillus buchneri* по основным физико-химическим и технологическим показателям. Особенно перспективным с точки зрения питательной ценности для организма животных, а также технологичности был и остается кукурузный силос [7], являющийся предметом исследований, результаты которых представлены в этом материале.

**Основная часть.** Благодаря многолетней плодотворной работе в области биотехнологии и предметному изучению микроорганизмов, используемых в пищевой промышленности и кормопроизводстве, ученым и специалистам Института продовольственных ресурсов НААН удалось разработать новые штаммы и препараты различного назначения. К числу силосных микробиологических заквасок относится препарат «Сінсил-ТІММ», созданный на основе высокоактивных штаммов молочнокислых и пропионовокислых бактерий *L. plantarum*, *L. brevis*, *Lactobacillus acidophilus*, *L. rhamnosus*, *L. paracasei ssp. paracasei*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii* и *Streptococcus thermophilus*. Используемые в составе закваски «Сінсил-ТІММ» микроорганизмы представляют нормальную эпифитную микробиоту, к их числу относятся и штаммы *Lactobacillus plantarum*, обеспечивающие гомоферментативное брожение, среди продуктов которого не менее 90 % составляет молочная кислота. В результате pH снижается до 4,0, при этом подавляется рост не способных развиваться в кислой среде бактерий. Используемые штаммы *Lactobacillus plantarum* характеризуются осмотолерантностью, что позволяет эффективно силосовать подвяленные травы.

Следует заметить, что для входящих в состав закваски пропионовокислых бактерий источником углеродного питания является молочная кислота, поэтому удается избежать перекисания силоса. К тому же образующиеся пропионовая и уксусная кислоты способствуют обогащению силоса витаминами В<sub>12</sub> и В<sub>2</sub>, а также обеспечивают бактерицидный эффект. Температура заложённой силосной массы не должна превышать 37 °С, поскольку в противном случае уменьшается содержание белка, в процессе распада которого происходит образование амидов и нитритов, почти полностью разрушается каротин, значительно снижается содержание питательных веществ. Включение в состав закваски культуры *L. brevis* способствует достижению надлежащей аэробной стабильности. Поскольку в микробиоте присутствуют гидролитические ферменты, становится возможным эффективное ферментативное расщепление клетчатки. Часть образованных продуктов распада используют для своей жизнедеятельности микроорганизмы, другая же часть сохраняется в корме, и организм расходует меньше энергии на его переваривание. Указанное способствует повышению энергетической и протеиновой питательной ценности готового силоса при его скармливании.

Преимущества использования силосной закваски «Сінсил-ТІММ» в разрезе показателей качества силоса из кукурузы, убедительно доказывают результаты исследований (таблица 1). Эксперимент проводили, одновременно закладывая силос с закваской и без ее применения (контроль).

Выполненный органолептический анализ приготовленного силоса показал, что для контрольных образцов запах был приятным — квашеных овощей, цвет — оливковым, желто-зеленый, структура силоса сохранена полностью, аналогична структуре исходного материала, без признаков ослизнения.

Т а б л и ц а 1 — Показатели качества силоса на основе кукурузы, полученные при применении закваски «Сінсил-ТІММ», по сравнению с силосом без закваски

Показатель	Корм. един.	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Зола, %	Жир, г	Клетчатка, г	Содержание кислот, %			pH
							уксусная	масляная	молочная	
Контроль	0,26	33,4	8,2	4,1	6	60	17,4	0	62,4	4,4
Опыт	0,3	28,2	7,9	3,9	7	56	11,4	0	65,6	4,0

В опытных образцах запах также был приятным — квашеных овощей, цвет — светло-оливковым, желто-зеленым, структура силоса сохранена полностью, аналогична структуре исходного материала, без признаков ослизнения. Выход силоса в контрольных и опытных образцах был в диапазоне от 94,7 до 95,6 %. Активная кислотность (рН) в опытных образцах составляла 4,0, в контроле — 4,4. Согласно ДСТУ 4782:2007 «Силос из зеленых растений. Технические условия» [8], по последнему показателю опытные образцы относились к первому классу — рН от 3,8 до 4,3.

**Заключение.** Молочная кислота является необходимым субстратом для микробиоты преджелудков жвачных животных, отличным источником доступной энергии для синтеза микробного белка и летучих жирных кислот, эффективным профилактическим средством против ацидоза рубца. Удельный вес молочной кислоты относительно общего количества органических кислот в опытных вариантах составлял 65,6 %, в контроле — 62,4 % (норма — не менее 50,0 %). Молочная кислота, накапливаемая в силосной массе, способствует быстрому снижению рН среды до уровня 4,0 (указанное не является признаком того, что происходит закисление кормового продукта с ухудшением органолептических характеристик). Накопление в силосе значительного количества уксусной кислоты связано с большими потерями сахара. Доля уксусной кислоты в опытных вариантах почти на 35 % превышала показатель в контроле. Масляная кислота во всех образцах отсутствовала. При скармливании силоса, консервированного с применением препарата «Сінсил-ПІММ», было подтверждено, что животные хорошо потребляют этот корм. Приготовление силоса с указанным препаратом при надлежащем соблюдении всех технологических операций позволяет получить готовый силос уже через три недели после закладки партии.

Закваска «Сінсил-ПІММ» активно подавляет рост гнилостных бактерий за счет доминирования полезных микроорганизмов в отношении интенсивности развития, быстро снижает показатель рН среды до уровня, способствующего надежному хранению силоса, она обеспечивает минимальный срок ферментации зеленой массы в течение 29 дней, тормозит аэробное брожение, при этом разогрев зеленой массы не превышает 44 °С.

#### Список цитируемых источников

1. Косолапов, В. Кормопроизводство — локомотив сельского хозяйства / В. Косолапов, И. Трофимов // Аграр. обозрение. — 2016. — № 3. — С. 46—50.
2. Закваска, що поліпшує силос / К. В. Копилова [та ін.] // Журн. про корів. — 2019. — № 1. — С. 26—27.
3. Bagg, J. Silage Inoculants [Electronic resource] / J. Bagg // Field Crop News. — 30 May 2013. Access mode: <https://fieldcropnews.com/2013/05/silage-inoculants>. — Date of access: 11.11.2019.
4. Копылова, Е. В. Биоконсерванты для силоса / Е. В. Копылова, С. Г. Даниленко, С. Б. Вербицкий // Животноводство России. — 2016. — № 7. — С. 59—60.
5. Fermentation and aerobic stability of corn silage inoculated with *Lactobacillus buchneri* / F. C. Basso [et al.] // R. Bras. Zootec. — 2012. — V. 41, № 7. — P. 1789—1794.
6. Gallo, A. Effect of inoculation with *Lactobacillus buchneri* LB1819 and *Lactococcus lactis* O224 on fermentation and mycotoxin production in maize silage compacted at different densities / A. Gallo // Animal feed science and technology. — 2018. — V. 246. — P. 36—45.
7. Bereterbide, L. Efecto de la inoculación con *Lactobacillus buchneri* en la calidad nutritiva y la estabilidad aeróbica en ensilajes de maíz cosechado en tres estados de madurez / L. Bereterbide // Ingeniería en Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias, UCA. — 2015. — P. 39.
8. Силос зеленых растений. Технические условия ДСТУ 4782-2007. — Чинний від 01.01.2009. — Киев : Держспоживстандарт України, 2005. — 28 с.

УДК 57.017.32:58.035.4:634.752

Д. С. Мороз, С. Е. Медведик, А. Д. Королько, М. Ю. Шпак

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА НА ФОРМИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ *FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*

**Введение.** В настоящее время все большую популярность приобретают ремонтантные сорта и гибриды ягодных культур, которые позволяют получать урожай вне сезона [1; 2]. Однако такие сорта земляники обладают низкой усобирающей способностью, и для получения высококачественного посадочного материала в короткие сроки чаще всего используется метод клонального микроразмножения [3; 4]. Ранее нами было показано, что для адаптации полученных таким образом растений-регенерантов земляники садовой целесообразно использовать светодиодные облучатели [5; 6]. Однако имеются данные о последствии светодиодного освещения на процессы адаптации растений, в том числе последующий морфогенез растений [7]. Поскольку от скорости закладки цветоносов, количества соцветий, цветков и завязи, а также темпов их развития зависят сроки наступления плодоношения и урожайность, то целью данной работы было изучение последствие светодиодных облучателей на формирование генеративных органов растений-регенерантов земляники садовой в условиях открытого грунта.

**Основная часть.** Объектом исследований были выбраны растения-регенеранты земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. ремонтантного гибрида Мерлан. После пересадки с агаризованной среды по Мурасиге-Скуга половинного состава в торфяной грунт *ex vitro* в горшки объемом 0,5 л растения выращивали в условиях 70 %-ной влажности воздуха, температуре +20...25°C, светового режима 16 / 8 часов. Условия освещения были следующими: контроль — люминесцентные лампы белого света *Cool Daylight* (765 нм) марки OSRAM с мощностью напряжения 36 Вт; вариант 1: светодиодные осветители TL-PROM FITO 159 RS, плотность потока фотонов — 250 мкмоль / м<sup>2</sup>с, пропорции спектра: 730 нм — 13 %, 660 нм — 17 %, 450 нм — 70 %; вариант 2: светодиодные осветители TL-PROM FITO 150 VR, плотность потока фотонов — 250 мкмоль / м<sup>2</sup>с, пропорции спектра: 730 нм — 13 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 50 %; вариант 3: светодиодные осветители TL-PROM FITO 135 UN, плотность потока фотонов — 250 мкмоль / м<sup>2</sup>с, пропорции спектра: 730 нм — 58 %, 660 нм — 37 %, 450 нм — 29 %. Через месяц культивирования в лабораторных условиях растения в горшках выставлялись под естественное освещение на две недели. После этого осуществлялась высадка растений в открытый грунт. Для предотвращения дальнейшего развития сорняков участок укрывался агроспанбондом. Схема посадки растений 25 × 25 см. Полив осуществлялся водой по мере необходимости.

У растений помимо основных морфометрических параметров учитывались также особенности формирования репродуктивных органов: количество соцветий, бутонов, цветков, завязи и плодов. Фиксировалось также время наступления основных фаз: появление бутонов, начало цветения, начало формирования завязи, начало плодоношения. Результаты представлены ниже.

В таблице 1 представлены данные, когда первые растения вступали в соответствующую фазу. Растения контрольного варианта отставали от тех, которые проходили адаптацию под светодиодным освещением. Из представленных данных видно, что растения второго варианта начали цвести раньше на четыре дня, а плодоносить на семь дней раньше контрольного варианта.

В таблице 2 представлены морфометрические данные, которые также подтверждают последствие светодиодного освещения не только на скорость прохождения этапов онтогенеза, но и на количественные показатели морфогенеза.

Как видно из представленных данных, контрольные растения заложили меньше репродуктивных органов, а количество завязи в августе было в 2...3 раза меньше, чем в вариантах после светодиодного освещения. Можно отметить следующие общие тенденции. Количество соцветий во всех вариантах увеличивается, однако количество бутонов растёт, а затем падает. Что касается количества завязи, то для контрольного варианта можно отметить их увеличение в последнем месяце, тогда как для вариантов, проходивших адаптацию под светодиодным освещением, можно отметить приблизительно одинаковое количество завязи как за август, так и за сентябрь. При этом стоит отметить, что варианты 2 и 3 несколько превосходят по данным показателям растения, которые адаптировались к условиям *ex vitro* под синим светом.

Т а б л и ц а 1 — Последствие света искусственных диодов различного спектрального состава света на динамику прохождения репродуктивного процесса растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. в условиях естественного освещения в открытом грунте

Вариант	Появление бутонов	Цветение	Формирование завязи	Созревание плодов
Контроль	20.07	27.07	01.08	23.08
Вариант 1	18.07	25.07	28.07	19.08
Вариант 2	16.07	23.07	25.07	16.08
Вариант 3	18.07	25.07	28.07	19.08

Т а б л и ц а 2 — Последствие света искусственных диодов различного спектрального состава света на формирование репродуктивных органов растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. в условиях естественного освещения в открытом грунте

Вариант	Дата	Количество соцветий на растение, шт.	Количество бутонов на растение, шт.	Количество цветков на растение, шт.	Количество завязи на растение, шт.
Контроль	20.07	1,0 ± 0,00	2,2 ± 0,29	—	—
	21.08	2,1 ± 0,36	5,7 ± 1,11	1,7 ± 0,35	4,6 ± 0,89
	21.09	3,4 ± 0,41	2,9 ± 0,80	1,6 ± 0,55	9,3 ± 1,68
Вариант 1	20.07	1,0 ± 0,00	3,1 ± 0,29	—	—
	21.08	2,9 ± 0,42	6,8 ± 0,84	2,8 ± 0,42	10,5 ± 1,77
	21.09	4,2 ± 0,63	3,0 ± 0,67	1,5 ± 0,48	8,7 ± 1,56
Вариант 2	20.07	1,0 ± 0,00	3,4 ± 0,20	1,0 ± 0,00	—
	21.08	3,4 ± 0,35	7,7 ± 0,81	2,5 ± 0,27	12,6 ± 1,95
	21.09	4,2 ± 0,31	4,7 ± 0,41	1,7 ± 0,73	13,8 ± 1,71
Вариант 3	20.07	1,0 ± 0,00	3,4 ± 0,19	1,0 ± 0,00	—
	21.08	3,3 ± 0,29	10,9 ± 1,31	2,3 ± 0,30	8,4 ± 1,33
	21.09	4,2 ± 0,19	6,3 ± 0,51	1,5 ± 0,26	8,8 ± 0,99

**Заключение.** Полученные результаты показывают, что последствие освещения сказывается не только на процессах адаптации и укоренении, но и оказывает существенное воздействие на процессы морфогенеза генеративных органов. Нами выявлено положительное последствие светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным: растения опытных вариантов раньше вступали в такие фазы онтогенеза, как бутонизация, цветение, образование завязи и плодоношение по сравнению с контрольным. Кроме того, несмотря на положительное действие синего света на процессы укоренения растений-регенерантов [5; 6], большая доля красного света в спектре освещения на этапе адаптации *ex vitro* оказывает положительный эффект на процессы образования генеративных органов.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Установление особенностей адаптации меристемных растений земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. к нестерильным условиям при использовании ресурсосберегающих светодиодных облучателей» при поддержке БРФФИ (договор № Б18М-147 от 30.05.2018).

#### Список цитируемых источников

1. *Faedi, W.* Strawberry breeding and varieties: situation and perspectives / W. Faedi, F. Mourgues, C. Rosati // *Acta Horti*. — 2002. — Vol. 56. — P. 51—59
2. *Говорова, Г. Ф.* Земляника и клубника : монография / Г. Ф. Говорова, Д. Н. Говоров. — М. : Проспект, 2016. — 320 с.
3. *Линник, Т. А.* Повышение эффективности способов размножения сортов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.), характеризующийся низкой усобирающей способностью : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05 / Т. А. Линник // ФГБНУ ВНИИО. — М., 2014. — 141 л.
4. *Никонович, Т. В.* Биотехнология в растениеводстве : курс лекций / Т. В. Никонович, А. Н. Иванистов, В. В. Французёнок. — Горки : БГСХА, 2017. — 84 с.
5. *Мороз, Д. С.* Влияние света светодиодных осветителей различного спектрального состава на адаптацию растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × Ananassa* Duch. к нестерильным условиям / Д. С. Мороз, М. Ю. Шпак, Е. А. Петровская // Перспективы развития науки в современном мире, 7 марта 2019 г., г. Уфа. — Уфа : Дендра, 2019. — С. 101—107.
6. Особенности морфометрических показателей растений-регенерантов земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. при выращивании в нестерильных условиях со светодиодным освещением / Д. С. Мороз [и др.] // Содружество наук-2019, 18 мая 2019 г., Барановичи. — Барановичи : БарГУ, 2019. — Ч. 1. — С. 159—161.
7. After-effect of light-emitting diodes lighting on tomato growth and yield in greenhouses / A. Brazaityte [et al.] // *Sodininkyste ir Darzininkyste*. — 2009. — Vol. 28, № 1. — P. 115—126.

УДК 634.737:581.522.4

С. Л. Приходько<sup>1</sup>, В. П. Дедков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», Калининград, Российская Федерация

## СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕЖКОСТИ ПЛОДОВ *VACCINIUM COVILLEANUM* BUT. ET PL. ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В ЮЖНОЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** Одним из основных показателей целесообразности интродукции новых сортов голубики является не только высокая урожайность культуры, ее стабильность, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, но и лежкость — способность плодов в течение достаточно длительного времени сохранять свои товарные качества, не подвергаясь различным заболеваниям и не теряя массы [1].

Лежкость плодов определяется максимальным сроком их хранения, при котором общие потери (естественная убыль и брак) не превышают 10 % [2].

Целью исследований являлось определение лежкости плодов северной высокорослой голубики разных сроков созревания урожая и традиционного для Беларуси представителя семейства Вересковые — голубики топяной.

Исследования проводились на базе КФХ «Синяя птица» Ганцевичского района Брестской области. Почва под культурой — песчаная, подстилаемая рыхлым, разнозернистым песком с рН (KCl) 3,8. Схема посадки растений — 2,0 × 1,0 м.

Объектами исследований являлись плоды шести сортов северной высокорослой голубики (раннего срока созревания (*Bluetta*, *Spartan*); среднего срока созревания (*Bluecrop*, *Toro*); позднего срока созревания (*Elizabeth*, *Elliotte*)) и голубики топяной.

Съем плодов проводили вручную в день закладки их на хранение. Образцы отбирали только из внешне здоровых плодов. Ягоды хранили в бытовом холодильнике при температуре +3...5 °С. На хранение заложили по 100 г ягод каждого сорта. Проверку качественного состояния во время хранения проводили каждые 10 дней. Учеты проводили путем взвешивания с последующей выбраковкой нестандартных плодов — пораженных болезнями и с физиологическими расстройствами.

**Основная часть.** Лежкость ягод северной высокорослой голубики, в зависимости от сорта, составляла от 10 до 30 дней (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 — Динамика выхода товарной продукции ягод голубики разных сортов

Сорт	Закладка опыта		10-е сутки		20-е сутки		30-е сутки	
	Выход ягод, г	Лежкость, %	Выход ягод, г	Лежкость, %	Выход ягод, г	Лежкость, %	Выход ягод, г	Лежкость, %
<i>Bluetta</i>	112	100	54	48,2	19	17,0	17	15,1
<i>Spartan</i>	112	100	110	98,2	91	81,3	86	72,5
<i>Bluecrop</i>	112	100	107	95,5	101	90,2	96	80,5
<i>Toro</i>	112	100	109	97,3	81	72,3	78	64,6
<i>Elizabeth</i>	112	100	107	95,5	93	83,0	88	74,1
<i>Elliotte</i>	112	100	108	96,4	105	93,8	100	83,7
Топьяная	112	100	91	81,3	57	50,9	50	45,4

Самыми лежкими сортами были *Elliotte* и *Bluecrop*. Срок хранения ягод этих сортов составил 30 дней и выход товарной продукции 93,8 и 90,2 % соответственно.

Хорошей лежкостью отличались плоды сортов *Spartan*, *Toro* и *Elizabeth*. Они хранились 20 дней, выход товарной продукции составил 98,2, 97,3 и 95,5 % соответственно.

Самым коротким сроком хранения плодов характеризовались сорт северной высокорослой голубики *Bluetta* и традиционный представитель семейства вересковых, повсеместно произрастающий на территории Республики Беларусь — голубика топяная, лежкость которых составила менее 10 дней, выход товарной продукции — 48,2 и 81,3 % соответственно.

Анализ литературных данных, касающихся лежкости ягод голубики, к сожалению, не позволил в полной мере оценить достоверность полученных нами данных, так как мы не нашли точных сведений обо всех исследуемых нами сортах, однако содержащаяся в литературе информация подтверждает полученные нами результаты.

Лежкость плодов сортов *Bluecrop*, *Toro* и *Spartan* отмечается как высокая. Плоды не теряют товарного вида в среднем течение 42, 32 и 30 дней соответственно [3]. Диапазон варьирования у сорта *Bluecrop* составляет 42...45, *Toro* — 30...37, *Spartan* — 25...35 суток. По сведениям Н. Б. Павловского [4], средняя лежкость плодов сорта *Bluecrop* — 23 дня (от 12 до 35 суток).

Плоды сорта *Elizabeth* характеризуются как хорошо хранящиеся. Сохраняемость ягод составляет 22 дня [4].

Сорт *Bluetta* описывается как культивар, обладающий низкой лежкостью. Срок хранения плодов отмечается в пределах от 8, 10 до 24 дней при среднем значении 17 суток [4].

**Заключение.** Установлено, что товарные свойства ягод северной высокорослой голубики и голубики топяной в процессе хранения при температуре +3-5 °С сохраняются в зависимости от сорта от 10 до 30 дней. Сорта *Elliotte* и *Bluecrop*, характеризуются как высоко лежкие, *Spartan*, *Toro*, *Elizabeth* — культивары обладающие хорошей сохраняемостью плодов, сорт *Bluetta* и голубика топяная — представители с коротким сроком хранения.

#### Список цитируемых источников

1. Павловский, Н. Б. Влияние сортовой спецификации голубики на лежкость плодов в процессе хранения / Н. Б. Павловский, Ф. С. Пятница, А. Г. Павловская // Теоретические и прикладные аспекты интродукции растений как перспективного направления развития науки и народного хозяйства : материалы Междунар. науч. конф., посвященной 75-летию со дня образования ЦБС НАН Беларуси / НАН Беларуси, ЦБС. — Минск : Эдит ВВ, 2007. — Т. 1. — С. 363—365.
2. Проведение исследований по хранению плодов, ягод, винограда : метод. указания / Е. П. Франчук [и др.]. — М. : ВАСХНИЛ, 1983. — 76 с.
3. Дрозд, О. В. Сохраняемость плодов разных сортов голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.), интродуцированных в Беларуси / О. В. Дрозд // Опыт и перспективы возделывания ягодных растений семейства Брусничные на территории Беларуси и сопредельных стран : материалы Междунар. науч.-практ. семинара, г. Минск, 18—19 июля 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад. — Минск : Медисонт, 2017. — С. 39—49.
4. Павловский, Н. Б. Оценка сохраняемости плодов голубики высокорослой разных сортов, интродуцированных в Беларуси / Н. Б. Павловский // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы : материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 17 авг. 2012 г. / ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»; редкол.: В. В. Титок [и др.]. — Минск, 2012. — С. 40—45.

*Примечание.* Ответственность за подбор и точность приведённых фактов, цитат, статистических данных, личных имён и другой информации несут авторы опубликованных материалов.

*Научное издание*

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ:  
ИННОВАЦИИ И КАЧЕСТВО

Материалы VI Международной  
научно-практической конференции

(Барановичи, 20 декабря 2019 года)

*На русском, белорусском языках*

Ответственный за выпуск А. Ю. Сидоренко  
Технический редактор Л. Н. Щербук  
Компьютерная верстка С. М. Глушак  
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 07.07.2020. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Отпечатано на копировально-множительной технике.  
Усл. печ. л. 19,30. Уч.-изд. л. 14,60. Тираж 9 экз. Заказ 289.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/424 от 09.09.2016.  
Ул. Войкова, 21, 225404, г. Барановичи. Тел. 8 (0163) 64 34 77, e-mail: rig@barsu.by.