

В рамках проведения Фестиваля науки в Тамбовской области

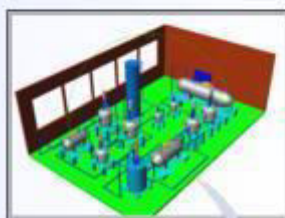
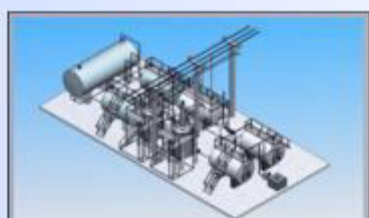


# ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Выпуск 10

## VIRTUAL SIMULATION, PROTOTYPING AND INDUSTRIAL DESIGN

Issue 10



Тамбов

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

В рамках проведения Фестиваля науки в Тамбовской области



Всероссийский  
Фестиваль  
науки

# ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Материалы X Международной научно-практической конференции

г. Тамбов, 21–22 октября 2024 г.

Выпуск 10

# VIRTUAL SIMULATION, PROTOTYPING AND INDUSTRIAL DESIGN

Issue 10

*Научное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2024

УДК 658.512.2  
ББК Ж18я43  
В52

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор М. Н. Краснянский (общая редакция);  
д-р техн. наук, профессор В. А. Немтинов;  
д-р. техн. наук, профессор В. Г. Мокрозуб;  
д-р техн. наук, профессор С. В. Карпушкин;  
канд. техн. наук С. В. Карпов

**В52** **Виртуальное** моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс] : материалы X Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ».

ISBN 978-5-8265-1836-6.

Вып. 10. – 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 24,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2835-8.

Опубликованы материалы пленарных и секционных докладов Международной научно-практической конференции, которая посвящена проблемам научно-технического и социально-экономического развития регионов. Целью конференции является обсуждение и публикация научных достижений ученых, а также определение возможных путей решения проблем разработки методов и алгоритмов создания и применения виртуальных моделей и прототипов объектов различного назначения и сложности.

В настоящее время виртуальное моделирование и прототипирование технических систем широко используется при решении задач промышленного дизайна, проектирования, модернизации, перепрофилирования производств различных отраслей промышленности. Еще одна популярная сфера применения виртуального моделирования и прототипирования – создание моделей культурно-исторических объектов в целях сохранения первоначального облика памятников архитектуры, в том числе утраченных, мемориальных и культурных сооружений.

Материалы конференции могут быть полезны преподавателям вузов и средних учебных заведений, научным работникам, руководителям и специалистам предприятий, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

Все научные работы, представленные на конференции, прошли двойное рецензирование программным комитетом и редакционной коллегией.

УДК 658.512.2  
ББК Ж18я43

*Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.*

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.*

*Незаконное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-1836-6 (общ.)  
ISBN 978-5-8265-2835-8 (вып. 10)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

**Приходько Вячеслав Михайлович** – сопредседатель программного комитета, советник ректора ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН.

**Краснянский Михаил Николаевич** – сопредседатель программного комитета, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ), д-р техн. наук, проф., профессор РАН.

**Онысько Сергей Романович** – декан машиностроительного факультета Брестского государственного технического университета, Республика Беларусь, канд. техн. наук.

**Муромцев Дмитрий Юрьевич** – проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Сотник Леонид Леонидович** – декан инженерного факультета Барановичского государственного университета, Республика Беларусь, канд. техн. наук.

**Мищенко Сергей Владимирович** – советник при ректорате ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Позднеев Борис Михайлович** – председатель правления Ассоциации «Цифровые инновации в машиностроении», заведующий кафедрой «Информационные системы» ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», д-р техн. наук, проф.

**Монастырев Павел Владиславович** – директор Института архитектуры, строительства и транспорта ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Громов Юрий Юрьевич** – директор Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Тютюнник Вячеслав Михайлович** – профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», генеральный директор Международного Информационного Нобелевского Центра, д-р техн. наук, проф.

**Аверченков Владимир Иванович** – профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Сердюк Анатолий Иванович** – директор Аэрокосмического института ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», д-р техн. наук, проф.



## **ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Мокрозуб Владимир Григорьевич** – сопредседатель, зав.кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (КИСМ) ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Немтинов Владимир Алексеевич** – сопредседатель, профессор кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

**Обухов Артем Дмитриевич** – доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» (САПР) ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук.

**Карпов Сергей Владимирович** – доцент кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. техн. наук.

**Глебов Алексей Олегович** – доцент кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. техн. наук.

**Родина Антонина Александровна** – старший преподаватель кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Трюфилькин Сергей Валентинович** – инженер кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

### **Секретарь конференции:**

**Румянцева Елена Евгеньевна** – старший лаборант кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Пленарные доклады</b> .....	10
<i>Онысько С.Р., Шешко Н.Н., Хеук М.В., Синюк В.К.</i> От цифровой модели к реальному производству (на примере разработки машины по изготовлению жгутов автотранспортного назначения) .....	11
<i>Калько А.И.</i> Формирование признаков на основе данных динамических человеческих подписей. ....	16
<i>Каракулина Е.О.</i> Математическое моделирование процессов теплообмена в многослойных конструкциях с сотовым наполнителем .....	22
<i>Соловьев Д.С.</i> Анализ влияния выбора метода нормализации критериев на результат принятия решений .....	28
<i>Морозов В.В.</i> Модели и алгоритмы для системы виртуальной реконструкции культурно-исторических объектов .....	32
<i>Карпушкин С.В., Мартьянов Е.И.</i> Методика оптимизации параметров механических перемешивающих устройств емкостных аппаратов .....	39
<i>Правин П.К.</i> Модель Грея Маркова для прогнозирования состояний автономного самоспасателя .....	47
<b>Секция Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование технических систем</b> .....	50
<i>Карпушкин С.В., Мартьянов Е.И.</i> Системный подход к проектированию технологического оборудования многоассортиментных химических производств .....	51
<i>Каиштанов В.В., Немтинов В.А.</i> Анализ возможности повышения устойчивости систем БПЛА, применяемых в составе «роя» при применении их в среде преднамеренных радиопомех. ....	59
<i>Пойманова О.В., Карпов С.В.</i> Применение 3D-сканирования для контроля режущего инструмента для станков с ЧПУ .....	65
<i>Скоморохова А. И., Глебов А. О.</i> Моделирование процесса вулканизации резиновой пробки .....	68
<i>Обухов А.Д., Волков А.А., Круглов В.С.</i> Структурная модель системы опорно - двигательной реабилитации с биологической обратной связью .....	70
<i>Протасов А.С., Протасова Ю.В., Немтинов В.А.</i> Принципы транзакционности при взаимодействии участников регионального рынка квот парниковых газов .....	74
<i>Синдеева Е.В., Витренко В.А.</i> Анализ конструкции шпиндельного узла станка СФ68 и исследование путей повышения качества механообработки .....	77
<i>Долженко Ю.С.</i> Многопараметрический синтез шпинделей на газостатических подшипниках .....	84
<i>Егоров С.Я., Адам Зиад Хамдан Мансур</i> Разработка принципиальной схемы планирования и управления останочными ремонтами .....	92
<i>Селиванова З. М., Скоморохов К. В.</i> Математическая модель построения реконфигурируемой структуры интеллектуальной информационно-измерительной системы .	95

<i>Глазкова И.А., Ивановский М.А.</i> К вопросу квалиметрии когнитивных функций операторов полиэргатических систем с использованием среды стратегического техно-театра .....	100
<i>Дегтярев Е.А., Лысых С.Д., Попов О.Н.</i> Моделирование микроклимата в отапливаемом помещении от различных систем отопления .....	109
<i>Майоров Н. И., Карнов С. В., Дедов Д. Л.</i> Применение роботизированных устройств для реабилитации после инсульта .....	114
<i>Минаев Д.А., Попов О.Н.</i> Численное моделирование вихревого эффекта в вихревой трубе А.П. Меркулова .....	117
<i>Чернов П.В., Медведев И.П., Казьмин С.К., Чепрасов В.В.</i> Особенности построения антенных решёток для систем спутниковой связи .....	121
<i>Шкодяк К. Е., Помблас Р. А., Пиотровский Д. Л.</i> Автоматизация производства кваса с разработкой системы управления бродильно-купажным аппаратом .....	125
<i>Лавринов Д.С.</i> Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование систем управления ТОиР .....	135
<i>Тришаков А.А., Белоусов О.А., Паришкова М.М.</i> Способы формирования пространственных сигналов в сетях мобильной связи 5 поколения при реализации технологии MU-MIMO и Beamforming с использованием высокоэффективных антенных систем. ....	141
<i>Карих Р.Д., Белоусов О.А., Зуева Е.А.</i> Особенности применения сверхширокополосных антенных решеток в системах радиосвязи новых поколений .....	144
<i>Мартынов М.С., Немтинов В.А.</i> Совершенствование технологического процесса изготовления узла гидравлического привода .....	147
<i>Вехтева Н. А., Побединский Д. А., Меркурьев Я. В.</i> Преобразование трехмерного цифрового чертежа перед формированием набора команд для FDM печати .....	150
<i>Бондаренко Н.В., Соколов М.В.</i> функциональная система расчета припуска для механической обработки деталей с использованием языка программирования Python... ..	154
<i>Губарева К. В.</i> Численное моделирование температурного состояния пористой среды с упорядоченной пространственной макроструктурой.....	158
<i>Фидаров В.Х.</i> Экспериментальное исследование электромагнитных быстродействующих муфт .....	162
<i>Мокрозуб В.Г., Скворцова А.А.</i> Информационная модель кристаллизатора с перемешивающим устройством .....	169
<i>Альсауди А.А.М.</i> Автоматизированное определение типа кожухотрубчатого теплообменника .....	173
<b>Секция Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование социально значимых объектов.....</b>	<b>176</b>
<i>Шах А. В., Абдыров А. Т.</i> создание и визуализация жилого блока студенческого общежития в SketchUp .....	177
<i>Шах А. В., Веракса Э.А.</i> Разработка приложения для виртуального посещения лаборатории информационных и роботизированных систем Барановичского государственного университета .....	185

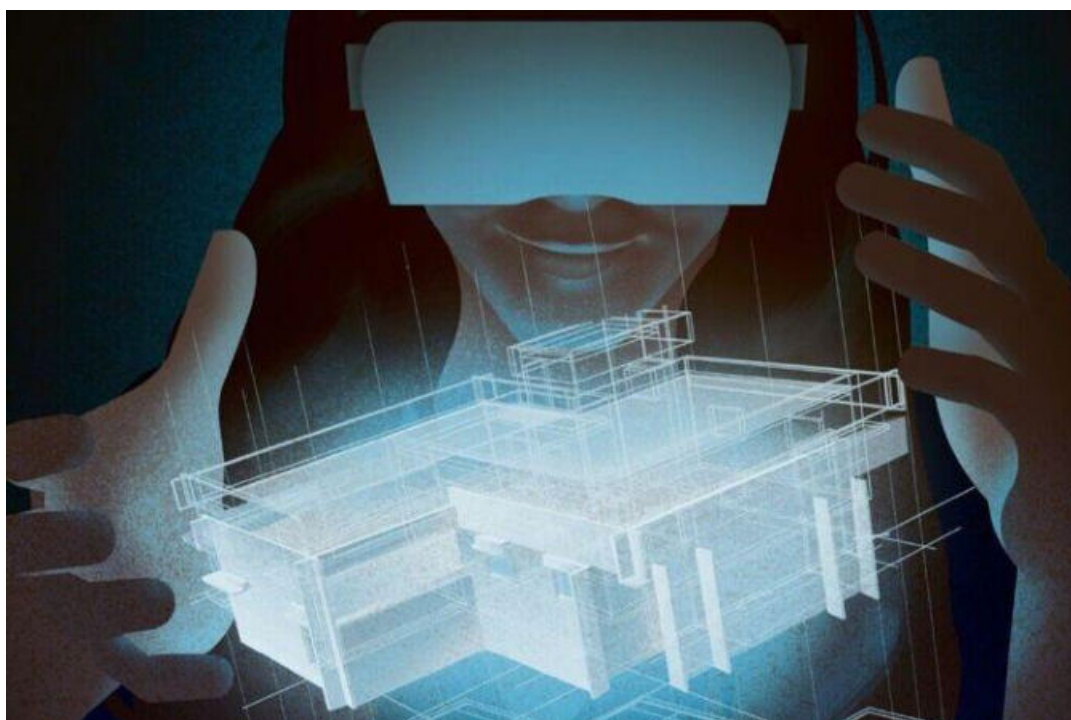
<i>Шипилова А.Д., Дмитриев Н. А., Филатов А. С.</i> О создании виртуального тура по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы .....	192
<i>Рачкова С.А.</i> Оценка условий школьного образования в сельских районах по удаленности от идеальной точки .....	195
<i>Лаврик Т.М., Жирякова И.Г.</i> Системный подход к закупке сырья химическим предприятием .....	199
<b>Секция Проектирование и применение компьютерных имитационных моделей, виртуальных тренажеров и систем машинного зрения</b> .....	202
<i>Волков А.А., Меркурьев Я.В.Х.</i> Расчет метрического положения человека в пространстве на основе компьютерного зрения .....	203
<i>Обухов А.Д., Побединский Д.А., Меркурьев Я.В.Х.</i> Отслеживание положения тела пользователя на всенаправленной дорожке .....	207
<i>Обухов А.Д., Круглов В.С.</i> Критерии оптимизации виртуальных тренажеров с биологической обратной связью .....	211
<i>Суркова Е.О., Карпушкин С.В., Архипов А.Е.</i> Система распознавания модели тела человека на основе компьютерного зрения и машинного обучения .....	215
<i>Дедов Д.Л., Лопатко А.С.</i> Прогнозирование действий человека в условиях неопределенности с использованием нейросетевых технологий .....	219
<i>Никитников Ю.В., Круглов В.С., Лопатко А.С.</i> Разработка VR тренажёра для начальной профессиональной подготовки лаборантов нефтяной отрасли .....	223
<i>Теселкин Д. В., Вехтева Н. А., Свешников А. Ю.</i> Распознавание человека по цифровой тени движений тела на основе нейросетевых технологий .....	227
<i>Шильцын М.А., Теселкин Д. В.</i> Применение медицинских виртуальных тренажеров в офтальмологии для лечения косоглазия .....	231
<i>Шапович Е.Г.</i> Реализация модели классификации эмоций по речевому сигналу .....	235
<i>Полкунов К. А. , Чернышов Н.Г., Магомедов Н.И., Полушкин М.Ю.</i> Оптимизация нейронных сетей для встраиваемых систем на примере квадрокоптеров .....	242
<i>Николюкин М. С., Обухов А. Д.</i> Разработка имитационной среды с использованием игрового движка Unity для генерации синтетических данных на промышленных объектах .....	245
<i>Николюкин М. С., Недосын Н. С., Архипов А. Е.</i> Применение компьютерного зрения для мониторинга и анализа процессов на промышленных объектах .....	249
<b>Секция Промышленный дизайн</b> .....	252
<i>Шубин Я.С., Глебов. А.О.</i> Применение управляющих программ-шаблонов для станков с ЧПУ.....	253
<i>Мокрозуб В.Г., Полянский А.В.</i> Автоматизация выбора типа кристаллизатора .....	256
<i>Матрохин М.А.</i> Совершенствование конструкции многофункциональной гальванической установки на примере деталей насыпью .....	260
<i>Коновалов Д. Н., Лазарев С. И., Коновалов Д. Д., Малин П. М.</i> Технологическое оформление производства минерального удобрения с применением мембранных	

методов разделения.....	264
<i>Лаврин А.И.</i> Технология 3D печати в изготовлении газоанализаторов .....	268
<i>Капустин С.С., Немтинов В.А., Торбин Д.А.</i> Разработка технологических процессов и организация серийного производства массовых изделий для автомобилей нижней ценовой категории из порошка путем спекания .....	271
<i>Мороз В. В., Баулина Л. В.</i> Подходы к разработке промышленного дизайна реактора автоматизирующего технологический процесс получения водорода под высоким давлением .....	275
<b>Секция Современные средства обработки информации.....</b>	<b>279</b>
<i>Рябов В.В., Немтинов В.А.</i> Анализ сезонности и тренда активности акторов виртуальной социальной сети с помощью средств прогнозирования временных рядов .....	280
<i>Мокрозуб В.Г., Климкин И.В., Носков А.Д.</i> Структура базы типоразмеров выпарных аппаратов .....	287
<i>Захаров А.Р., Немтинов В.А.</i> Автоматизация формирования графика поступления и планирования денежных средств от контрагента на предприятии химического профиля .....	291
<i>Обухов А.Д., Рыбачок М.В., Побединский Д.А.</i> Использование машинного обучения для классификации мышечной нагрузки .....	298
<i>Abas Wisam Mahdi Abas, Ahmed Nafea Ayesah, Egorov S. Ya.</i> Implementing scalable data mining solutions for real-time big data processing in cloud ecosystems .....	302
<i>Шаталова И. А., Маслов П. Ф., Дивин А.Г.</i> Применение машинного обучения для анализа данных при гиперспектральном контроле яблок .....	305
<i>Николюкин М. С., Обухов А. Д., Свешников А. Ю.</i> Интеграция мультимодальных больших языковых моделей для оптимизации первой и второй линий поддержки на промышленных объектах .....	308
<i>Санников С.А.</i> Представление информационной модели гальванической линии в реляционной базе данных.....	312
<i>Мокрозуб В.Г., Дьков Г.А., Носков А.Д.</i> База приспособлений для изготовления технологического оборудования.....	316
<b>Секция Инженерная педагогика, моделирование процессов обучения и управления в образовании .....</b>	<b>319</b>
<i>Шипилова В. Г., Протасова Ю. В., Немтинов В. А.</i> Определение количественной оценки образовательного потенциала человека с помощью теории иерархических многоуровневых систем .....	320
<b>Секция Математическое моделирование молекулярных систем.....</b>	<b>326</b>
<i>Ростова Д.П., Кровякова Е.И., Дегтярев А.А., Коростылев А.А., Яковлева А.Н.</i> Взаимодействие серной и изоциановой кислот .....	327
<i>Кровякова Е. И., Ахтукова М. В., Швец М. Е., Ростова Д.П., Тришина А. В., Яковлева А. Н.</i> Исследование сорбции тетраэтиламмоний хлорида на поверхности фталоцианина меди .....	330

<i>Яковлева А.Н., Ахтукова М.В., Коростылев А.А., Кровякова Е.И., Ростова Д.П., Швец М.Е.</i> Математическое моделирование реакции разложения мочевины на аммиак и изоциановую кислоту .....	333
<b>Секция Биотехнические системы и технологии .....</b>	<b>337</b>
<i>Любавина М.А., Фролова Т.А.</i> Система сигнализации критических режимов неонатального инкубатора .....	338
<i>Моргунов Н. Р., Сеченева Е. В., Евстигнеева Е.П.</i> Математическое моделирование изменений диаметра митрального клапана с возрастом .....	340
<i>Сеченева Е. В., Моргунов Н. Р., Евстигнеева Е.П.</i> Исследование экспоненциального характера изменения диаметра в процессе роста и развития организма .....	343
<i>Кузнецова А.В.</i> Проблема определения численных характеристик аритмии .....	346
<i>Фролова Т.А., Евстигнеева Е.П., Сеченева Е. В., Моргунов Н. Р.</i> Конструирование приложения для молодых матерей.....	349
<i>Попов И.А., Фролова Т.А.</i> Биохимический анализатор как класс информационной модели изделия медицинской техники .....	352
<i>Родионов С.В.</i> Разработка сайта интернет-магазина по продаже маммографического оборудования.....	355
<i>Солодков И.Д., Митин К. А.</i> Анализ мочи с помощью современного алгоритма машинного зрения.....	358
<i>Али Абделлатиф Мохамедлахди Абделлатиф, Фролова Т.А.</i> Разработка метода построения трёхмерного изображения на основе срезов (томограмм) при ультразвуковом исследовании .....	361
<i>Филатов Н. О., Мордасова А.-М. С.</i> Разработка и исследование метода повышения качества цифровых рентгеновских изображений на основе операций математической морфологии растровых изображений .....	364



# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ



УДК 338.364

**Онисько С.Р., Шешко Н.Н., Хеук М.В., Синюк В.К.**  
Брестский государственный технический университет,  
Республика Беларусь, г. Брест  
e-mail: onysko\_sergey@mail.ru

**ОТ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ К РЕАЛЬНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ  
(НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ МАШИНЫ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ЖГУТОВ  
АВТОТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ)**

**Onysko S.R., Sheshko N.N., Kheuk M.V., Sinyuk V.K.**  
Brest State Technical University, The Republic of Belarus, Brest  
e-mail: onysko\_sergey@mail.ru

**FROM A DIGITAL MODEL TO REAL PRODUCTION  
(USING THE EXAMPLE OF THE DEVELOPMENT OF A MACHINE FOR THE  
MANUFACTURE OF HARNESES FOR MOTOR TRANSPORT PURPOSES)**

*Аннотация.* В статье рассмотрено создание программно-аппаратного комплекса автоматизации изготовления жгутов проводов для автотракторного электрооборудования. На примерах показаны этапы проектирования моделей, создание «цифрового двойника» и его реализация в реальный объект производства.

*Ключевые слова:* «цифровой двойник», модель, программно-аппаратный комплекс, виртуальный объект, рабочий узел.

*Abstract.* The article considers the creation of a hardware and software complex for automating the manufacture of wiring harnesses for automotive electrical equipment. The examples show the stages of model design, the creation of a «digital double» and its implementation into a real production facility.

*Keywords:* "digital twin", model, hardware and software complex, virtual object, work node.

В последние десятилетия наблюдается переход к высокотехнологичному и эффективному производству. В современной промышленности широкое применение находит концепция так называемых «цифровых двойников», которая выступает одним из ключевых элементов цифровой трансформации. Их применение способствует повышению эффективности производственных процессов, оптимизации

эксплуатационных характеристик оборудования и сокращению времени вывода продукции на рынок [1].

«Цифровой двойник» в промышленности – это виртуальная модель физического объекта или процесса, созданная с целью детального анализа, оптимизации и управления производственными операциями, основывающаяся на сборе и внедрении необходимых данных из различных источников: датчики, системы контроля, системы машинного зрения и т.д [2].

Эффективное использование виртуального моделирования в условиях производства может быть показано на примере разработанного оборудования учреждением образования «Брестский государственный технический университет» для одного из предприятий промышленного сектора экономики Республики Беларусь (ОАО «Кобринский завод агропромышленного машиностроения»).

Предприятие является производителем кабельно-проводниковой продукции, жгутов проводов для автотракторного электрооборудования, медицинских и технических газов. Процесс изготовления конечного продукта занимает значительный промежуток времени, включая монотонную ручную работу. Исходя из этого поступила задача по автоматизации опрессовки провода с установкой на него защитного элемента.

Заказчиком были представлены провода различных типоразмеров, защитные элементы, используемое на предприятии оборудование и необходимые технические характеристики для выполнения технологического процесса.

Первым этапом выполнения проекта стало создание цифрового участка цеха предприятия, где предполагалось размещение оборудования (рисунок 1).

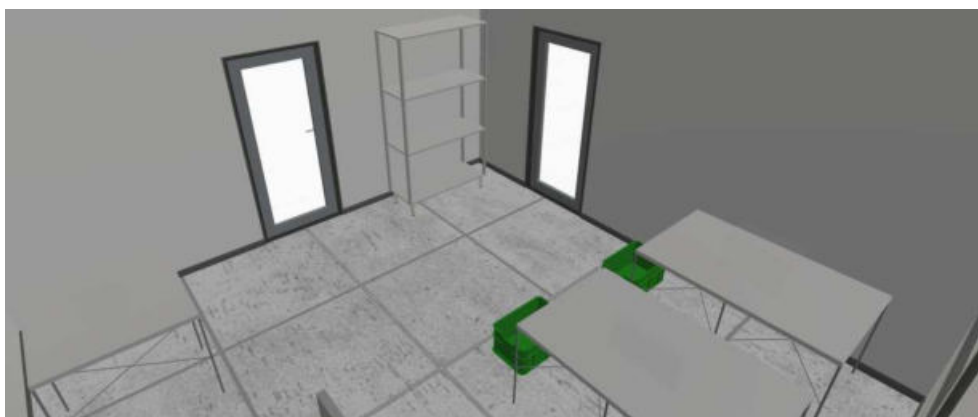


Рис. 1. Фрагмент цифрового участка цеха, выполненного в среде *Visual Components*

Вторым этапом стал анализ существующего рынка готового оборудования, который показал, что выполнение полного цикла изготовления изделия является материально затратным и предполагает использование дорогостоящего специализированного оборудования, не в полной мере реализующего выполнение заявленных технических характеристик.

В качестве альтернативы было предложено несколько концепций решения поставленной задачи, учитывающих особенности технологического процесса изготовления оборудования и специфику выполнения технологических операций.

Первоначальное решение представляло собой проектирование подвижной платформы, позволяющей сократить межоперационное и транспортировочное время, однако ввиду специфичности применяемых материалов и узлов данное техническое решение оказалось не жизнеспособным.

Учитывая предыдущий опыт, была разработана концепция линейного расположения уже используемого оборудования на предприятии с согласованием работы каждого узла по отдельности. Значительным недостатком данной схемы являлось сложность согласования работы различного оборудования (механическое управление) и отсутствие возможности использования его на других операциях, в следствии чего было принято решение разработки отдельной автономной системы, позволяющей исключить все недостатки и охватить всю номенклатуру выпускаемой аналогичной продукции предприятия. Этапы моделирования выполнены при помощи *КОМПАС-3D* и *Visual Components* и показаны на рисунке 2.

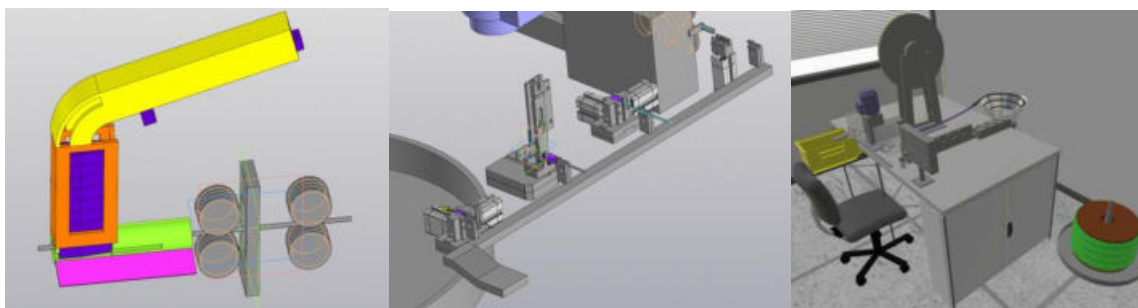


Рис. 2. Становление и развитие цифрового проекта

Размер элементов готовой продукции в значительной степени повлиял на габариты рабочей области и характеристики применяемых узлов. Согласно «цифровому двойнику» был подготовлен комплект конструкторской документации для изготовления деталей на предприятиях Республики Беларусь. Готовое решение оснащено всеми необходимыми узлами для обеспечения широкой номенклатуры продукции и выпуску изделий порядка 200-250 тыс. единиц в месяц.

Заводской тип выпуска продукции подразумевал использование группового типа производства изделий с транспортированием пакетов заготовок на рабочие места. Подача провода с бухты прерывается после отрезки и требует дополнительной ориентации на каждой последующей операции. Ввиду использования в большей степени ручного труда для нестандартных операций, наблюдалось увеличение времени одного цикла (5,4 с.). В ходе реализации задачи проводился анализ и учет времени работы каждого узла агрегата (рисунок 3), что позволило сократить рабочий цикл до 2,5 с.

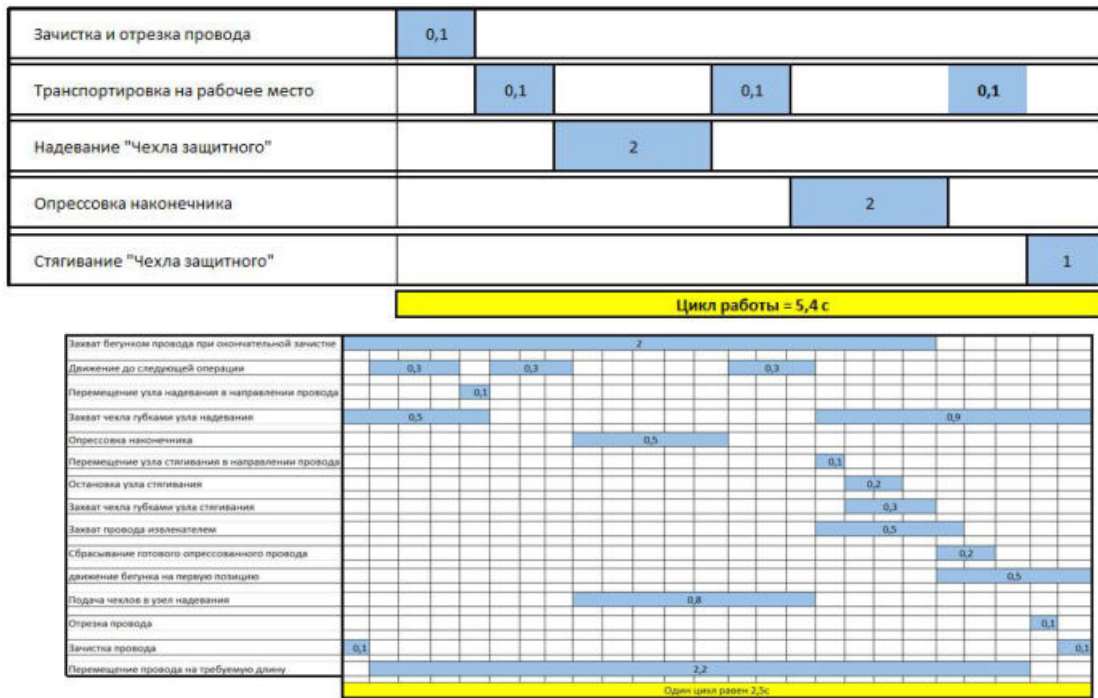


Рис. 3. Циклограммы работы оборудования: а) базовый; б) итоговый.

После учета всех необходимых требований была выполнена виртуальная модель предполагаемого оборудования, которая представлена на рисунке 4, которая представляет собой независимый программно-аппаратный комплекс, управляемый одним оператором.

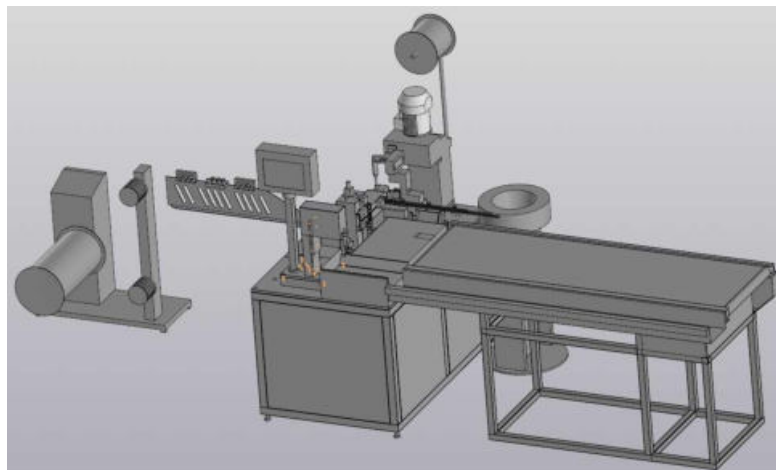


Рис. 4. Виртуальная модель программно-аппаратного комплекса

По имеющейся цифровой модели был изготовлен реальный объект, который используется на предприятии ОАО «Кобринский завод агропромышленного машиностроения» рисунок 5.



Рис. 5. Опытный образец программно-аппаратного комплекса по изготовлению жгутов автотранспортного назначения

Выполненные в ходе проекта работы по виртуальному проектированию позволяют заключить, что использование «цифрового двойника» упрощает расчеты вариантов принятия верного решения по изготовлению конечного продукта и исключает материальные и трудовые затраты на изготовление реального объекта производства.

#### Список использованных источников

1. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. Ч. 2. Ключевые технологии цифровых двойников. Типы моделирования физического объекта // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 11. – С. 3–10.

2. Madni, A.M.; Sievers, M. Model Based Systems Engineering: Motivation, Current Status, and Research Opportunities. Syst. Eng. 2018, 21, 1.



УДК 004.9.04.2

**Калько А. И.**

Барановичский государственный университет,  
Республика Беларусь, г. Барановичи  
e-mail: lexa170594@mail.ru

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ПОДПИСЕЙ**

**Kalko A. I.**

Baranovichy State University, Republic of Belarus, Baranovichy  
e-mail: lexa170594@mail.ru

## **FORMATION OF FEATURES BASED ON DYNAMIC HUMAN SIGNATURE DATA**

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются методы формирования признаков на основе данных динамических человеческих подписей, акцентируя внимание на их уникальных характеристиках, которые могут существенно улучшить процессы биометрической аутентификации. Динамические подписи фиксируют не только конечные результаты, но и параметры, такие как скорость, ускорение и изменения давления, что позволяет создать уникальный профиль подписанта. В статье также предлагаются новые параметры, включая изменение угла наклона пера и кривизну траектории, которые обогащают анализ и улучшают точность верификации.

Предложенные методы могут значительно повысить надежность систем биометрической аутентификации, учитывая индивидуальные стилистические особенности каждого подписанта. Внедрение этих дополнительных признаков открывает новые горизонты для разработки более эффективных алгоритмов обработки данных, что особенно важно в условиях растущей потребности в безопасности и защите личной информации. Результаты исследования могут стать основой для будущих достижений в области биометрической аутентификации и повышения безопасности цифровых документов.

*Ключевые слова:* Динамические подписи, биометрическая аутентификация, формирование признаков, анализ данных, скорость и ускорение.

*Abstract.* This article explores methods for feature formation based on dynamic human signature data, emphasizing their unique characteristics that can significantly enhance biometric authentication processes. Dynamic signatures capture not only the final results but also parameters such as speed, acceleration, and pressure changes, enabling the creation of a unique signer profile. The article also introduces new parameters, including the change in the angle of the pen and the curvature of the trajectory, which enrich the analysis and improve verification accuracy.

The proposed methods can greatly increase the reliability of biometric authentication systems by taking into account the individual stylistic features of each signer. The integration of these additional features opens new horizons for developing more effective data processing algorithms, which is especially important given the growing need for security and personal information protection. The findings of this research may serve as a foundation for future advancements in biometric authentication and the enhancement of digital document security.

*Keywords:* Dynamic signatures, biometric authentication, feature formation, data analysis, speed and acceleration.

Подпись — это не только элемент личной идентификации, но и важный юридический инструмент, который удостоверяет подлинность документов. С развитием технологий и увеличением использования электронных подписей, внимание исследователей все больше обращается к различным методам анализа и верификации подписей. В частности, динамические подписи, создаваемые на электронных устройствах, приобретают все большее значение в контексте биометрической аутентификации.

Динамическая подпись представляет собой процесс, в котором фиксируются не только конечные результаты, но и динамика выполнения самого подписания. Это включает в себя такие параметры, как скорость, ускорение, изменение давления на стилус и другие характеристики, которые могут быть использованы для создания уникального профиля подписанта [1]. В отличие от статических подписей, где важен лишь конечный визуальный результат, динамические подписи предоставляют гораздо больше информации о процессе исполнения, что существенно повышает уровень безопасности и защищенности от подделок.

Несмотря на визуальное сходство между динамическими и статическими подписями, существующие методы анализа не всегда способны корректно интерпретировать данные динамических подписей. Это связано с тем, что информация о динамике исполнения в статическом представлении теряется. При этом динамические признаки значительно увеличивают число степеней свободы, что может усложнить задачу верификации, особенно при ограниченном количестве образцов подлинных подписей. Это также ставит перед исследователями новые вызовы, такие как необходимость разработки эффективных алгоритмов для обработки и анализа больших объемов данных, а также поиска оптимальных способов представления динамических признаков.

В данной работе рассматриваются методы формирования признаков на основе данных динамических подписей, акцентируя внимание на их вычислении и анализе. Основные характеристики, которые будут исследоваться, включают горизонтальную и вертикальную скорость, изменение давления, а также различные производные этих величин. Все они могут быть использованы для создания профиля подписанта и его дальнейшей верификации.

Значительная часть исследований сосредоточена на сравнении динамических признаков между парами подписей, что позволяет улучшить качество верификации и

минимизировать вероятность ошибок. Важно отметить, что применение современных математических методов и алгоритмов для обработки полученных данных открывает новые горизонты для разработки более надежных систем аутентификации [2].

В данной статье рассматриваются методы формирования признаков на основе данных динамических человеческих подписей, что играет ключевую роль в обеспечении надежной биометрической аутентификации. Основное внимание уделяется анализу динамических параметров, таких как скорость и ускорение по осям X и Y, а также изменение давления на поверхность устройства. Эти параметры уже зарекомендовали себя как важные характеристики, позволяющие эффективно различать индивидуальные подписи.

Однако для повышения точности верификации подписей и более глубокого понимания особенностей процесса подписания, необходимо учитывать дополнительные параметры, которые могут существенно обогатить анализ. В этой статье предлагаются два новых признака, направленных на более детальную обработку данных о подписи.

Учет пространственных вариаций и угловых характеристик.

Первый признак — изменение угла наклона пера. Этот параметр можно вычислить с помощью следующей формулы:

$$\theta_i = \arctan \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right)$$

Скорость изменения угла вычисляется как:

$$\Delta\theta_i = \theta_{i+1} - \theta_i$$

Эти метрики позволяют учитывать особенности траектории при подписании, особенно в случаях, когда элементы подписываемого документа имеют криволинейные структуры. Более точное определение угловых характеристик может помочь в улучшении идентификации подписанта, выявляя уникальные стилистические особенности каждого исполнителя.

Кривизну траектории можно оценить через изменение угла:

$$\kappa = \frac{|\Delta\theta|}{\Delta s}$$

где  $\Delta s$  — длина пути между двумя соседними точками. Это позволит более точно охарактеризовать индивидуальные особенности движений пера и обогатить модель анализа.

Анализ динамики давления с учетом скорости и ускорения.

Второй признак связан с динамикой давления, что также играет важную роль в уникальности подписи. Предлагаю использовать нормализованное давление, вычисляемое по формуле:

$$P_{\text{norm}} = \frac{P_i}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}$$

где  $P_i$  — давление на планшет, а  $V_x$  и  $V_y$  — скорости движения пера по осям X и Y. Нормализация давления с учетом скорости позволяет учитывать взаимосвязь между этими двумя параметрами, что является уникальной характеристикой подписи каждого человека.

Кроме того, предлагаю рассмотреть вектор изменения давления:

$$\mathbf{P}_{\text{change}} = (P_{i+1} - P_i, v_x, v_y)$$

Этот вектор позволяет глубже анализировать закономерности в изменении давления в зависимости от движения пера, что может помочь выявить специфические особенности стиля подписи.

В работе были использованы избранные признаки, описанные в статьях [3-4], а также добавлены 2 признака, включающие данные о давлении. Признаки указаны в таблице 1.

Таблица 1. Динамические признаки подписи

№	функция	формула
1	Горизонтальная скорость, dx	$dx_i = x_{i+1} - x_i$
2	Вертикальная скорость, dy	$dy_i = y_{i+1} - y_i$
3	Абсолютная скорость, dxy	$dxy_i = \sqrt{dx_i^2 + dy_i^2}$
4	Скорость изменения давления, dp	$dp_i = p_{i+1} - p_i$
5	Горизонтальное ускорение, ddx	$ddx_i = dx_{i+1} - dx_i$
6	Вертикальное ускорение, ddy	$ddy_i = dy_{i+1} - dy_i$
7	Абсолютное ускорение, ddxу	$ddxy_i = dxy_{i+1} - dxy_i$
8	Ускорение изменения давления, ddp	$ddp_i = dp_{i+1} - dp_i$
9	Центростремительное ускорение, ac	$ac_i = ((x_{i+3} - x_{i+2})(y_{i+3} + y_{i+4} - 2y_{i+2}) - (y_{i+3} - y_{i+2})(x_{i+3} + x_{i+4} - 2x_{i+2})) / 8$
10	Рывок по вертикали (3-я производная), dddy	$dddy_i = ddy_{i+1} - ddy_i$
11	Абсолютный рывок (3-я производная), dddxy	$dddxy_i = ddx_{i+1} - ddx_i$
12	Векторное произведение, s	$s_i = x_i y_{i+2} - y_i x_{i+2}$
13	v	$v_i = \sin(ang_i) dxy_i dxy_{i+1}$
14	d2	$d2_i = x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i$
15	Угол между соседними точками, ang	$ang_i = \arctan(x_{i+1}, y_{i+1}) - \arctan(x_i, y_i)$
16	Косинус угла между двумя точками, cosXY	$\cos XY = \frac{dx_i}{\sqrt{dx_i^2 + dy_i^2}}$

17	Скорость изменения угла, $dang$	$dang_i = ang_{i+1} - ang_i$
18	Площадь треугольника из 3 последовательных точек подписи, $area$	$area_i = ((x_i - x_{i+2})(y_{i+1} - y_{i+2}) - (x_{i+1} - x_{i+2})(y_i - y_{i+2}))/2$
19	Изменение угла наклона пера	$\theta_i = \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right)$
20	Нормализованное давление	$P_{norm} = \frac{P_i}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}$

Таким образом, внедрение этих дополнительных признаков в анализ динамических подписей может значительно повысить точность и надежность систем биометрической аутентификации, обеспечивая более глубокое понимание и интерпретацию индивидуальных характеристик подписанта.

В данной статье были рассмотрены методы формирования признаков на основе данных динамических человеческих подписей, с акцентом на их уникальные характеристики, которые могут существенно улучшить процессы биометрической аутентификации. Основное внимание уделялось ключевым динамическим параметрам, таким как скорости, ускорения и изменения давления, а также внедрению дополнительных признаков, которые позволяют более глубоко анализировать процесс подписания.

Предложенные параметры — изменение угла наклона пера и кривизна траектории, а также анализ динамики давления с учетом скорости и ускорения — открывают новые горизонты для повышения точности верификации подписей. Эти характеристики позволяют учитывать индивидуальные стилистические особенности каждого подписанта и выявлять закономерности, которые могут быть недоступны при использовании традиционных методов.

Внедрение дополнительных признаков в модели анализа динамических подписей предоставляет возможность создать более надежные и устойчивые системы аутентификации, которые способны эффективно противостоять попыткам подделки. Это особенно актуально в современных условиях, когда вопросы безопасности и защиты личной информации становятся все более важными.

Дальнейшие исследования в этой области могут сосредоточиться на разработке алгоритмов, способных интегрировать предложенные характеристики в существующие системы верификации, а также на оценке их эффективности в практических приложениях. Таким образом, результаты данной работы могут стать основой для будущих достижений в сфере биометрической аутентификации и повышения безопасности цифровых документов.

Список использованных источников

1. Starovoitov V.V. Verification of the person's dynamic signature on a limited number of samples. Informatics. 2024;21(2):94-106
2. Калько, А. И. Идентификация людей по рукописному тексту с использованием нейросетевых технологий: анализ методов и математическое обоснование / А. И. Калько // Функциональные уравнения и математическое моделирование динамических систем : Материалы Всероссийской открытой конференции, Воронеж, 25 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. ГФ. Морозова, 2023. – С. 68-78.
3. Xia X., et al. Discriminative feature selection for on-line signature verification, Pattern Recognition, 2018, vol.74, pp.422-433.
4. Martinez-Diaz M., et al. Mobile signature verification: Feature robustness and performance comparison, IET Biometrics 2014, Vol.3, No.4, pp. 267-277.



УДК 536.4:517.958

**Каракулина Е. О.**

Оренбургский государственный педагогический университет, Россия, г. Оренбург  
e-mail: elok2004@yandex.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

**Karakulina E. O.**

Orenburg State Pedagogical University, Russia, Orenburg  
e-mail: elok2004@yandex.ru

### **MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN MULTILAYER STRUCTURES WITH HONEYCOMB FILLER**

*Аннотация.* В работе приведены разработанные математические модели тепло и массообменных процессов, протекающих в многослойных композитных конструкциях с сотовым наполнителем при их изготовлении методом автоклавного формования. Сформулированы постановки задач нестационарной теплопроводности для многослойной бесконечной пластины с различными теплофизическими характеристиками слоев и действием источников тепла внутри пластины. Представлены результаты численного расчета распределения температур для девятислойной композитной конструкции с сотовым наполнителем на этапе предварительного разогрева.

*Ключевые слова:* многослойная композитная конструкция, сотовый наполнитель, задача теплообмена, полимеризация, метод конечных разностей, автоклавное формование, температурный режим, моделирование.

*Abstract.* The paper presents the developed mathematical models of heat and mass transfer processes occurring in multilayer composite structures with honeycomb filler during their manufacture by autoclave molding. The problem statements of nonstationary thermal conductivity for a multilayer infinite plate with different thermophysical characteristics of layers and the action of heat sources inside the plate are formulated. The results of numerical calculation of the temperature distribution for a nine-layer composite structure with a honeycomb filler at the preheating stage are presented.

*Keywords:* multilayer composite structure, honeycomb filler, heat transfer problem, polymerization, finite difference method, autoclave molding, temperature regime, modeling.

#### **Введение**

Многослойные конструкции с сотовым наполнителем применяются в таких отраслях промышленности как транспортное машиностроение, строительство,

судостроение, авиация и многих других. Одним из методов изготовления таких конструкций является автоклавное формование, при котором важнейшими технологическими параметрами выступают температура и давление. Согласно технологии производства композитных конструкций, температурный режим можно разделить на три этапа: предварительный разогрев, стабилизация температуры и остывание композита [1]. Некоторые автоклавные установки снабжены системой автоматизации, которая позволяет осуществлять контроль, регулирование и регистрацию основных параметров (температуры и давления) в камере, однако не дает возможность оценить реальное распределение температуры внутри конструкции. Экспериментально было показано, что нагрев воздуха в установке происходит быстрее, чем нагрев изделия [2], а на этапе стабилизации температуры происходит выделение тепла полимеризации. В связи с этим происходит нарушение температурного режима формования, что приводит к возникновению разного рода производственных дефектов, снижающих качество изготавливаемых конструкций.

**Целью** исследования является совершенствование математических моделей, аналитических и численных методов решения краевых задач теплообмена для повышения качества композитных конструкций с сотовым наполнителем.

#### Постановка задач

Рассмотрим многослойную композитную конструкцию с сотовым наполнителем. Крайние слои данной конструкции составлены из слоев стеклоткани, средний слой из сотового материала, характеризующегося низкой теплопроводностью. Так как длина и ширина конструкции велики по сравнению с ее толщиной, то анализ теплообмена проведем для плоской бесконечной пластины, которая представляет собой совокупность  $n$  пластин с различными теплофизическими характеристиками (рис. 1).

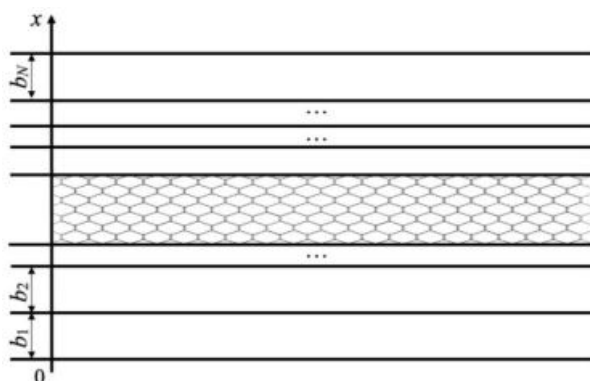


Рис. 1. Бесконечная  $n$ -слойная пластина

**На первом этапе** под действием тепла с одновременным повышением давления происходит нагревание конструкции от температуры среды до температуры полимеризации. Это вызывает гелеобразование связующего, которое сопровождается выделением тепла.

**Постановка задачи.** Требуется найти распределение температуры в любой момент времени по толщине пластины, состоящей из совокупности  $n$  пластин с различными

теплофизическими характеристиками. Внутри пластины действуют источники тепла. Начальное распределение температуры каждого слоя задается некоторой функцией. Пластина нагревается с обеих сторон несимметрично. Между граничными поверхностями слоев имеется идеальный тепловой контакт.

Математическая модель поставленной задачи описывается системой уравнений теплопроводности:

$$\frac{\partial U_i(x_i, \tau)}{\partial \tau} = a_i^2 \frac{\partial^2 U_i(x_i, \tau)}{\partial x_i^2} + w_i(x_i, \tau), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad 0 \leq x_i \leq b_i, \quad \tau > 0, \quad (1)$$

с начальными условиями  $U_i(x_i, 0) = f_i(x_i)$ ,

неоднородные граничные условия

$$\lambda_1 \frac{\partial U_1(0, \tau)}{\partial x_1} - \alpha_1 (U_1(0, \tau) - U_{C1}) = 0, \quad \lambda_N \frac{\partial U_N(b_N, \tau)}{\partial x_N} + \alpha_N (U_N(b_N, \tau) - U_{CN}) = 0,$$

и граничные условиями 4-го рода на поверхностях контакта слоев

$$U_j(b_j, \tau) = U_{j+1}(0, \tau); \quad \lambda_j \frac{\partial U_j(b_j, \tau)}{\partial x_j} = \lambda_{j+1} \frac{\partial U_{j+1}(0, \tau)}{\partial x_{j+1}}, \quad j = 1, 2, \dots, N-1,$$

где  $U_i(x_i, \tau)$  – температура  $i$ -го слоя тела в момент времени  $\tau$ ,  $a_i^2 = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i}$  –

коэффициент температуропроводности слоев;  $c_i$  – удельная теплоемкость,  $\rho_i$  –

плотность материала слоев,  $w_i(x_i, \tau) = \frac{q_i(x_i, \tau)}{c_i \rho_i}$ ,  $q_i(x_i, \tau)$  – функция внутренних

источников тепла,  $\lambda_i$  – теплопроводность слоев,  $\alpha_1, \alpha_N$  – коэффициенты конвективной теплоотдачи от внешних поверхностей в окружающую среду,  $U_{C1}, U_{CN}$  – температуры окружающей среды,  $b_i$  – координаты границ  $i$ -ой области [3].

**На втором этапе** образуется фронт полимеризации, который продвигается внутрь конструкции снизу и сверху изделия. При полимеризации связующий материал преобразуется в полимер, что приводит к выделению тепла, а также массообменным процессам.

**Постановка задачи.** Требуется найти распределение температуры в любой момент времени по толщине пластины, состоящей из совокупности  $n$  пластин с различными теплофизическими характеристиками. Внутри пластины действуют источники тепла. Начальное распределение температуры каждого слоя задается некоторой функцией. Пластина нагревается с обеих сторон одинаково. Между граничными поверхностями слоев имеется идеальный тепловой контакт.

Система дифференциальных уравнений тепломассообмена имеет вид:

$$\frac{\partial U_i(x_i, \tau)}{\partial \tau} = a_i^2 \frac{\partial^2 U_i(x_i, \tau)}{\partial x_i^2} + \sigma \frac{c_{mi}}{c_{gi}} \cdot \frac{d_i}{1-d_i} \frac{\partial m_i(x_i, \tau)}{\partial \tau} + w_i(x_i, \tau), \quad (2)$$

$$\frac{\partial m_i(x_i, \tau)}{\partial \tau} = a_{mi}^2 (1 - d_i) \frac{\partial^2 m_i(x_i, \tau)}{\partial x_i^2}, \quad \tau > 0, 0 \leq x_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

с начальными условиями  $m_i(x_i, 0) = g_i(x_i)$ , граничными условиями

$$\lambda_{m1} \frac{\partial m_1(0, \tau)}{\partial x_1} - \alpha_{m1} [m_1(0, \tau) - m_{C1}] = 0, \quad \lambda_{mN} \frac{\partial m_N(b_N, \tau)}{\partial x_N} + \alpha_{mN} [m_N(b_N, \tau) - m_{CN}] = 0$$

и граничными условиями сопряжения

$$m_j(b_j, \tau) = m_{j+1}(0, \tau), \quad \lambda_{mj} \frac{\partial m_j(b_j, \tau)}{\partial x_j} = \lambda_{m(j+1)} \frac{\partial m_{j+1}(0, \tau)}{\partial x_{j+1}},$$

где  $m_i$  – масса связующего в  $i$ -ом слое,  $\sigma$  – удельная теплота фазового перехода,  $c_{mi}$  – удельная массоемкость,  $c_{gi}$  – удельная теплоемкость,  $d_i$  – доля полимера в  $i$ -ом слое,  $a_{mi}$  – массопроводность  $i$ -го слоя.

На **третьем этапе** происходит остывание изделия до температуры окружающей среды. Конструкцию при этом можно рассматривать как трехслойное тело, с отличающимися теплофизическими свойствами крайних слоев от среднего.

**Постановка задачи.** Требуется найти распределение температуры в любой момент времени по толщине двухслойной пластины. Теплофизические свойства соприкасающихся пластин различны. Начальное распределение температуры каждого слоя распределено равномерно. Между граничными поверхностями пластины и окружающей средой происходит теплообмен, причем  $U_0 > U_c$ .

Система дифференциальных уравнений для двух пластин имеет вид:

$$\frac{\partial U_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l_1, \tau > 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial U_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad l_1 < x < l_1 + l_2 = l, \tau > 0, \quad (5)$$

с начальными условиями  $U_1(x, 0) = U_2(x, 0) = U_0 = \text{const}$ , граничными условиями

$$\lambda_1 \frac{\partial U_1(0, \tau)}{\partial x} - \alpha [U_1(0, \tau) - U_c] = 0, \quad \lambda_2 \frac{\partial U_2(l_1, \tau)}{\partial x} + \alpha [U_2(l_1, \tau) - U_c] = 0,$$

и условиями сопряжения  $U_1(l_1, \tau) = U_2(l_1, \tau)$ ,  $\lambda_1 \frac{\partial U_1(l_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial U_2(l_1, \tau)}{\partial x}$ ,

где  $U_0$  – температура изделия до начала остывания;  $U_c$  – температура окружающей среды;  $l_1$  – толщина 1-ой пластины;  $l_2$  – толщина 2-ой пластины;  $\alpha$  – теплофизический коэффициент интенсивности теплообмена между изделием и окружающей средой.

Краевые задачи теплообмена каждого этапа были решены аналитическими и численными методами. Аналитические решения первых двух задач были получены методом конечных интегральных преобразований и представлены в работе [4]. Решение задачи на третьем этапе получено операционный методом.

Численный расчет распределения температур внутри пластины был осуществлен методом конечных разностей на равномерной сетке. После аппроксимации частных производных конечными разностями

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{U_i^{n+1} - U_i^n}{\Delta \tau}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{U_{i+1}^{n+1} - 2U_i^{n+1} + U_{i-1}^{n+1}}{h^2} \quad [5],$$

используя неявную схему, дифференциальные уравнения (1) – (5) и их граничные условия были преобразованы в системы линейных алгебраических уравнений и решены методом прогонки. Соотношения для прогоночных коэффициентов были найдены с учетом характеристики среды каждого слоя и граничных условий, соответствующих температурному режиму [6].

Численный метод реализовывался в среде программирования Borland Delphi 7.0. Разработанная программа позволяет:

- визуализировать геометрическую модель рассматриваемого материала;
  - решать поставленную задачу при различных краевых условиях для материалов с различными теплофизическими свойствами;
  - представлять полученные результаты в виде графической интерпретации.
- Интерфейс программы представлен на рисунке 2.

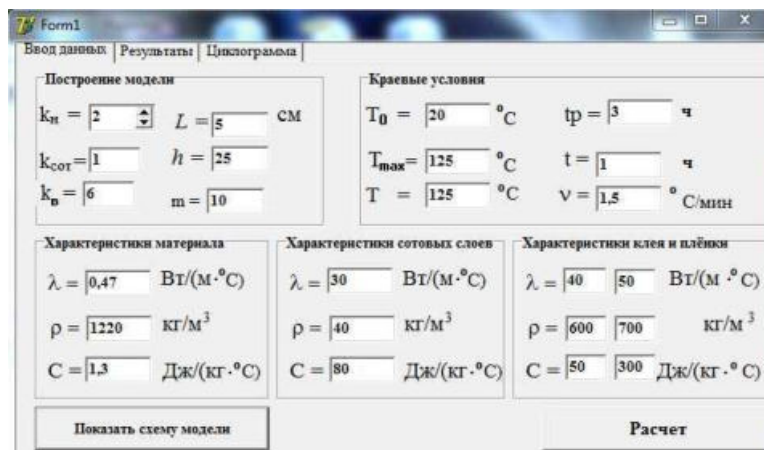


Рис.2. Интерфейс программы

### Практическое применение

В качестве примера приведем результаты численного расчета распределения температур в девятислойной композитной конструкции с сотовым наполнителем на этапе предварительного разогрева. Учитывая требования технологического процесса изготовления данной конструкции, нагрев образца производился со скоростью 1,5° С/мин до температуры полимеризации (125±5)° С.

На рисунке 3 показаны расчетные распределения температуры по толщине образца в различные моменты времени на этапе предварительного разогрева. Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что возрастание температуры по толщине образца протекает неравномерно. Разница температуры на границе образца и в точке соединения стеклоткани с сотовым слоем более 5° С, что является нарушением

технологических требований изготовления многослойных конструкций. Нагревание сотого слоя изделия происходит намного медленнее слоев стеклоткани, что в дальнейшем приведет к замедлению движения фронта полимеризации.

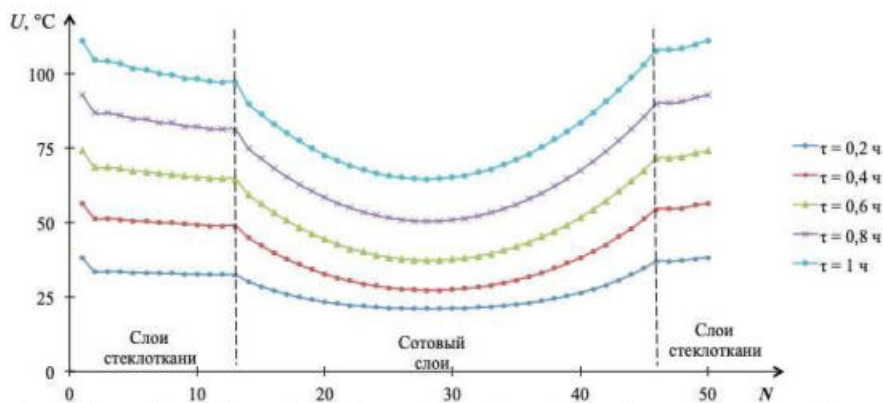


Рис.3. Распределение температуры по толщине образца на этапе предварительного разогрева

Полученные данные о распределении температуры внутри изготавливаемой конструкции, дают возможность произвести корректировку температурного режима нагревания, что позволяет увеличить долю качественных изделий и сократить энергетические затраты.

#### Список использованных источников

1. Akimov, A.I. Mathematical Models of Heat Exchange in Multilayer Constructions with Various Thermalphysic Characteristics in Industrial / A.I. Akimov, E.O. Karakulina, I.A. Akimov, V.V. Tugov // International Review on Modeling and Simulations. – 2018. – Vol. 11, Iss 2, pp. 59-66.
2. Бажеряну, В.В. Уменьшение энергозатрат автоклавного оборудования путем изменения технологии изготовления деталей из полимерных композиционных материалов / В.В. Бажеряну, И.И. Волкова // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011. – № 45.
3. Туголуков, Е.Н. Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований: учеб. пособие / Е.Н. Туголуков. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 116 с.
4. Каракулина, Е. О. Математическое моделирование процесса теплообмена в многослойной композитной конструкции на этапе предварительного разогрева / Е.О. Каракулина, В.В. Тугов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2023. – №. 1 (217). – С. 17-22.
5. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1977. – 656 с.
6. Каракулина, Е. О. Численный расчет теплообмена в многослойной композитной конструкции с сотовым наполнителем при автоклавном формовании на этапе нагрева / Е.О. Каракулина, В.В. Тугов // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 4. – С. 29-43.



УДК 519.816

**Соловьев Д.С.**

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Россия, г. Тамбов  
e-mail: solovjevdenis@mail.ru

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫБОРА МЕТОДА НОРМАЛИЗАЦИИ КРИТЕРИЕВ НА РЕЗУЛЬТАТ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Solovjev D.S.**

Derzhavin Tambov State University, Russia, Tambov  
e-mail: solovjevdenis@mail.ru

## **INFLUENCE ANALYSIS OF CHOICE FOR CRITERIA NORMALIZATION METHOD ON THE RESULT OF DECISION-MAKING**

*Аннотация.* Работа посвящена анализу влияния выбора метода нормализации критериев на результат принятия решений. В качестве задачи принятия решений рассматривается определение лучшей альтернативы среди вариантов оснастки гальванического процесса. Проанализировано влияние выбора метода нормализации на выбор лучшей альтернативы и продемонстрировано, что разные методы могут привести к различным решениям.

*Ключевые слова:* выбор, метод нормализации, критерий, альтернатива, матрица решений, человеческий фактор.

*Abstract.* The article is devoted to the influence analysis of the choice of criteria normalization method on the result of decision-making. The decision-making problem is considered to determine the best alternative among the options for equipping the galvanic process. The choice influence of normalization method on the choice of the best alternative is analyzed and it is demonstrated that different methods can lead to different decisions.

*Keywords:* choice, normalization method, criterion, alternative, decision matrix, human factor.

Принятие решений представляет собой одну из ключевых задач для лица, принимающего решение (ЛПР), результаты которой определяют функционирование большинства сложных систем. Реализация процесса принятия решений требует наличия матрицы решений, которая включает альтернативы (варианты решения рассматриваемой задачи), оцененные по ряду частных критериев эффективности. В свою очередь, результат процесса принятия решений, в частности выбор лучшей альтернативы, существенно зависит от выбранного метода принятия решений. Для использования метода принятия решений необходимо выполнить нормализацию матрицы решений и сформировать коэффициенты значимости частных критериев.

Выбор методов нормализации и формирования коэффициентов значимости, а также метода принятия решений подвержены влиянию человеческого фактора, связанного с квалификацией ЛПР. Влияние человеческого фактора на выбор методов нормализации, формирования коэффициентов значимости частных критериев и принятия решений рассматривается в работах [1-3]. Целью работы является анализ влияния выбора метода нормализации критериев на результат принятия решений.

Анализ влияния выбора метода нормализации рассмотрим на примере принятия решений для определения лучшей альтернативы среди вариантов оснастки гальванического процесса, среди которых: ванна с:  $A_1$  – анодами, работающими различное время;  $A_2$  – анодами, работающими в циклическом режиме;  $A_3$  – отключаемыми при реверсировании тока анодами;  $A_4$  – защитными катодами;  $A_5$  – токонепроводящими экранами;  $A_6$  – биполярными электродами;  $A_7$  – фигурными анодами. Эффективность реализации гальванического процесса при использовании альтернатив  $A_1$ - $A_7$  оценивается по следующим критериям:  $K_1$  – равномерность распределения толщины гальванического покрытия на поверхности детали;  $K_2$  – производительность гальванической ванны, г/ч;  $K_3$  – электроэнергия, затрачиваемая на нанесение гальванического покрытия, Вт·ч;  $K_4$  – стоимость реализации гальванического процесса, руб. Содержимое матрицы решений приводится в таблице 1.

Таблица 1. Матрица решений

Альтернативы	Критерии			
	$K_1$	$K_2$ , г/ч	$K_3$ , Вт·ч	$K_4$ , руб
$A_1$	0,869	63	134511,1	137857,23
$A_2$	0,866	59	225978,6	149393,4
$A_3$	0,851	86	197731,3	129781,91
$A_4$	0,863	50	308030,4	130358,72
$A_5$	0,863	50	232704,2	111324,04
$A_6$	0,778	50	203111,7	57680,85
$A_7$	0,831	94	180244,9	164967,23

В качестве метода принятия решений использовалась максимизация аддитивной свертки вида:

$$J = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \bar{K}_i, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент значимости  $i$ -го частного критерия;  $\bar{K}_i$  – нормализованное значение  $i$ -го частного критерия.

Для весовых коэффициентов значимости критериев  $\alpha_1$ - $\alpha_4$  использовались всевозможные комбинации значения от 0 до 1 с шагом 0,025.

Выбор метода нормализации критериев  $\bar{K}_1$ - $\bar{K}_4$  осуществлялся среди: 1) min-max Вейтendorфа; 2) max; 3) линейного суммирования; 4) векторного Ван Делфта и Нейкампа; 5) логарифмического; 6) линейного min-max; 7) нелинейного min-max; 8) улучшенной точности; 9) Ютлера и Кёрта.

На рис. 1 показана нормализованная матрица решений по данным методам.

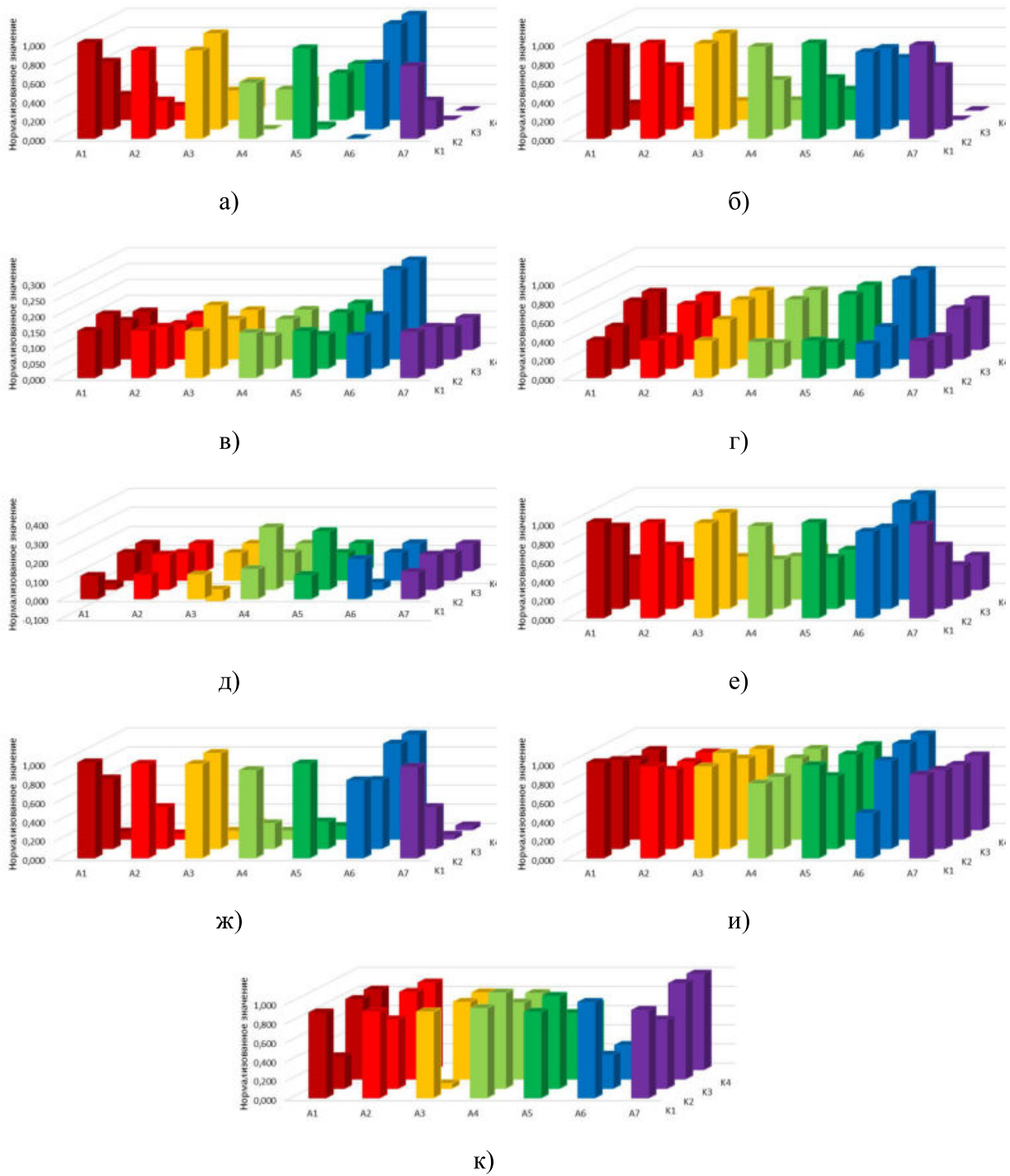


Рис. 1. Нормализованная матрица решений по методу: а) min-max Вейтендорфа; б) max; в) линейного суммирования; г) векторному Ван Делфта и Нейкампа; д) логарифмическому; е) линейного min-max; ж) нелинейного min-max; и) улучшенной точности; к) Юттлера и Кёрта

Мода и встречаемость лучших альтернатив для методов нормализации 1-9, выбранных по аддитивной свертке (2), для рассматриваемой матрицы решений приводится на рис. 2.

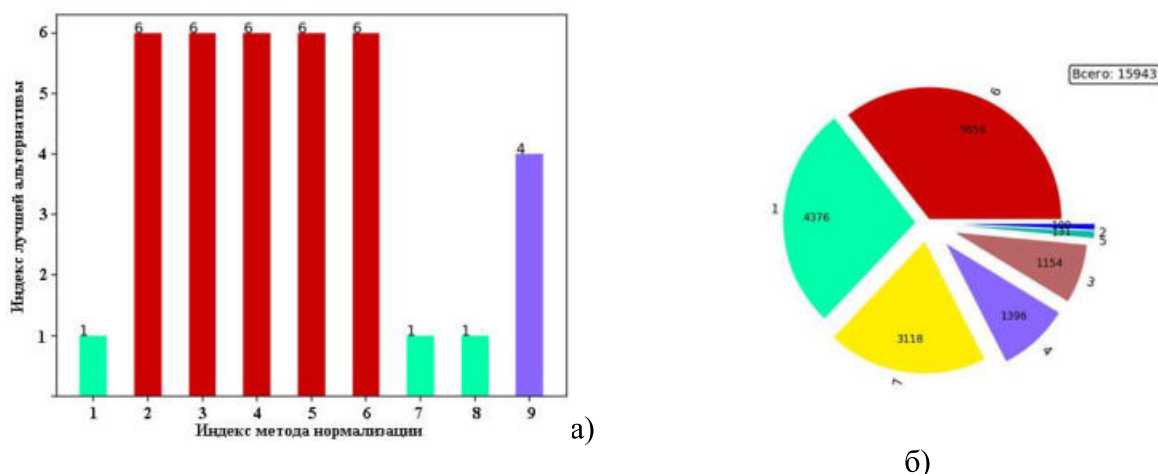


Рис. 2. Мода (а) и встречаемость (б) лучших альтернатив для методов нормализации, выбранных по аддитивной свертке, для матрицы решений

Методы нормализации обеспечивали выбор лучшей альтернативы в следующем соотношении случаев: 1) 0,053; 2) 0,112; 3) 0,146; 4) 0,107; 5) 0,312; 6) 0,117; 7) 0,104; 8) 0,029; 9) 0,020. Следовательно, целесообразно использовать метод логарифмической нормализации для рассматриваемой матрицы решений при аддитивном критерии выбора. Таким образом, случайный выбор 4 из 9 методов нормализации в процессе принятия решений может привести к выявлению альтернатив, которые существенно отличаются от других вариантов. Данный результат обусловлен тем, что различные методы нормализации акцентируют внимание на различных аспектах данных, что, в свою очередь, влияет на конечные результаты анализа. Это может привести к отличающейся интерпретации значимости отдельных критериев и, как следствие, к выбору альтернатив, которые не были бы выбраны при использовании других методов.

Из выполненного исследования следует, что произвольный выбор метода нормализации может исказить представление о данных в матрице решений и влиять на оценку альтернатив, что подчеркивает важность системного подхода к выбору методов нормализации в процессе принятия решений.

#### Список использованных источников

1. Соловьев, Д. С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах / Д. С. Соловьев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – № 1. – С. 161–168.

2. Соловьев, Д. С. Метод расчета коэффициентов компетентности участников группового принятия решений для выбора наилучшей альтернативы при мультивариантности результата / Д. С. Соловьев // Информатика и автоматизация. – 2024. – Т. 23. – № 1. – С. 169–193.

3. Соловьев, Д. С. Формализация задачи и разработка алгоритма выбора метода нормализации данных для принятия решений / Д. С. Соловьев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 17–27.

УДК 004.021

**Морозов В.В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: tmb-morozov@yandex.ru

## **МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Morozov V. V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: tmb-morozov@yandex.ru

## **MODELS AND ALGORITHMS FOR THE SYSTEM OF VIRTUAL RECONSTRUCTION OF CULTURAL AND HISTORICAL OBJECTS**

*Аннотация.* В статье представлены модели и алгоритмы для системы виртуальной реконструкции культурно-исторических объектов, связанных с жизнью и деятельностью семей Чичериных и Асеевых на различных этапах их освоения. Далее описывается создание виртуального исторического пространства с использованием различных программных сред: SketchUp, Twinmotion, Bigscreen, 3D Vista Virtual Tour Pro и др. С помощью программных сред SketchUp, Twinmotion и разработанного модуля анализа данных проектируется цифровой прототип объектов культурно-исторического наследия, обеспечивающий иммерсивную архитектурную 3D-визуализацию. Далее создаётся виртуальный тур в среде 3DVista Virtual Tour Pro.

*Ключевые слова:* цифровой прототип, виртуальная реконструкция, иммерсивная среда, twinmowion

*Abstract.* The article presents models and algorithms for a system of virtual reconstruction of cultural and historical objects related to the life and activities of the Chicherin and Aseev families at various stages of their development. Further, the creation of a virtual historical space is described using various software environments: SketchUp, Twinmotion, Bigscreen, 3D Vista Virtual Tour Pro, etc. Using the SketchUp, Twinmotion software environments and the developed data analysis module, a digital prototype of cultural and historical heritage objects is designed, providing immersive architectural 3D visualization. Then, a virtual tour is created in the 3DVista Virtual Tour Pro environment.

*Keywords:* digital prototype, virtual reconstruction, immersive environment, twinmotion.

В настоящее время все активнее при проведении исследований по повышению эффективности гражданско-патриотического воспитания молодежи (12-37 лет)

используют информационные технологии. Одним из источников получения знаний при этом являются объекты культурно-исторического наследия. При их изучении становятся действенными естественнонаучные методы, которые хорошо себя зарекомендовали в технике и инженерных науках. Гражданско-патриотическое воспитание «рожденных у компьютера» молодых людей требует активного использования информационных технологий, в первую очередь сетевых ресурсов для погружения в виртуальную среду исторически значимых мест.

Анализ литературных источников, описывающих технологии создания тематических виртуальных (VR) пространств в виде виртуальных музеев с использованием известных математических методов и моделей показал, что в них основное внимание уделяется вопросам визуализации элементов музеев без погружения посетителей в это VR-пространство. Доступным в настоящее время виртуальным музеям присущи недостатки: визуализация экспонатов музея в отдельных временных исторических периодах, отсутствие виртуальной коммуникационной среды для посетителей музея и возможности перехода из одного временного периода в другой и обратно и др. В связи с этим, в статье предлагается разработать информационное виртуальное тематическое пространство исторически значимых территорий (ИЗТ) муниципальных образований на различных этапах их освоения, обеспечивающее коммуникативную среду для общения целевой аудитории и повышение эффективности гражданско-патриотического воспитания молодежи.

Основная цель данной работы, представленной в статье, повысить достоверность данных и качество визуализации объектов культурно-исторического наследия до уровня не менее 4 баллов по методу Нориаки Кано в координатах «Важность – Удовлетворенность», направленное на гражданско-патриотическое воспитание молодежи через изучение ценностных ориентаций и патриотических качеств предыдущих поколений людей (нравственное чувство к региону, малой родине, сочувствие, потребность защищать своих ближних, других людей), связанных с ИЗТ и памятными местами муниципальных образований.

Чтобы сузить фокус исследования и упростить его моделирование, введём следующие допущения: замкнутое виртуальное пространство ИЗТ ограничено сферой, выбор которой обусловлен использованием базового программного обеспечения Unreal Engine, Twinmotion, которые являются наиболее эффективными для создания виртуальных миров; в качестве системы координат используется декартова система, нулевая точка которой находится в центре сферы [1].

Теперь задача сводится к тому, чтобы определить такое множество элементов виртуального пространства ИЗТ  $P^*_{virt} \subseteq P_{virt}$ , для которого оценки системы его визуализации достигают экстремальных значений, а именно: оценка качества визуализации элементов пространства  $R_p$  по методу профессора Н. Кано в координатах «Важность – Удовлетворенность», которая по своему среднему значению должна составлять не менее 4 баллов, а эффективность созданного на базе  $P_{virt}$  образовательного контента  $R_э$ , направленного на изучение ценностных ориентаций и гражданско-патриотических качеств предшествующих поколений людей (нравственное чувство к региону, малой родине, сочувствие, потребность защищать своих ближних, других людей) – не менее 25 % [2]:

$$P^*_{virt} = \operatorname{argmax}_{P_{virt}} \{R_P(P_{virt}), R_{\mathcal{E}}(P_{virt})\}, \quad (1)$$

при выполнении следующих ограничений:

– оценка качества визуализации виртуального пространства  $R_P \in \{R_{PV}, R_{PU}\}$  по методу Н. Кано:

$$\begin{aligned} \{R_{PV}, R_{PU}\} &\geq 4; \\ R_{PV} &= (\sum_{i=1}^h r_{V_i})/h, R_{PU} = (\sum_{i=1}^h r_{U_i})/h, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $h$  – количество характеристик для оценки качества VR-пространства;

– оценка эффективности гражданско-патриотического воспитания молодежи с помощью созданного на базе  $P_{virt}$  образовательного контента:

$$\begin{aligned} R_{\mathcal{E}} &\geq 25 \%, \\ R_{\mathcal{E}} &= \frac{(\sum_{n=1}^N b_{2n} - \sum_{n=1}^N b_{1n})/N}{K} * 100 \%, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $N$  – количество пользователей, прошедших квест,  $b_{1n}$  – балл, полученный  $n$ -ым пользователем за квест до погружения в виртуальную среду;  $b_{2n}$  – балл, полученный  $n$ -м пользователем за прохождение квеста после погружения в виртуальную среду;  $K$  – максимальное количество баллов за прохождение квеста.

Технология создания VR-пространства, состоит из ряда этапов: анализ информации об реконструируемых объектах и формирование структурной схемы данных (A1); формализация моделей VR-пространства и осуществление количественной оценки свойств объектов (A2); разработка ИЛМ по структуре объектов и их визуализации (A3); осуществление разработки 3D-моделей VR-пространства (A4); создание множества сферических панорам в VR-пространстве и формирование тематических виртуальных экскурсий на их основе (A5); оценка качества VR-пространства и знаний пользователей после погружения в него (A6). Для формализации технологии использованы функциональные диаграммы в нотации IDEF0 (рис. 1) [3].

На этапе (A1) предложено формализованное описание модели VR-пространства, включающее совокупность знаний об ИЗТ (отдельном историческом объекте), представленной в виде графовой структуры фреймов.

На этапе A2 для проведения информационного анализа изменения значений характеристик, присущих объектам ИЗТ и по которым можно судить о динамике ее освоения, рассмотрим следующую модель оценки отдельной ее свойств [4]. Она позволит получить усредненную информацию о ее количественном значении, отнесенном к указанному временному периоду освоения ИЗТ.

Информация о реконструируемых объектах, данных, часто носит некачественный или неточный характер. Для количественной оценки в работе использован математический аппарат экспертных систем. Для отображения информации о значениях свойств ИЗТ были использованы Л- и П-функции на основании рекомендаций экспертов.

Данные функции просты и эффективны в вычислительном отношении, что делает их подходящими для исторических данных, которые могут иметь расплывчатые или

перекрывающиеся категории. Для устранения нечеткости окончательного результата использован метод дефазификации – метод центра максимума, так как этот метод особенно полезен в приложениях, где требуется быстрый и простой способ принятия решений на основе нечеткого вывода[5]. На следующем этапе А3 разрабатываем ИЛМ экспертной системы для поддержки принятия решений по выбору структуры объектов и их визуализации на примере поста стражи Караул 17 век, на месте которого впоследствии построено село Караул и усадьба семьи Чичериных.

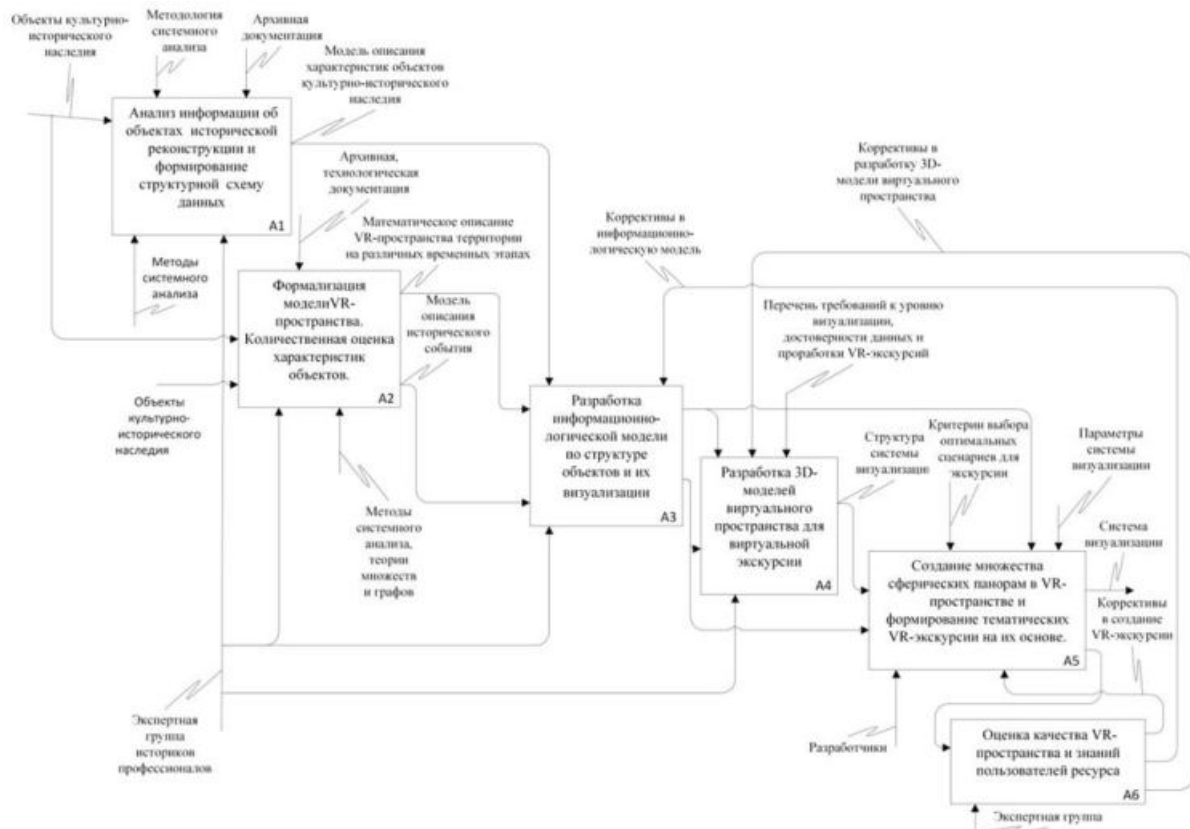


Рис. 1. Функциональная диаграмма технологии создания виртуального пространства и тематических экскурсий по нему в нотации стандарта IDEF0

Обработка информации производится с помощью системы продукционных правил, на базе которых назначаются переменные по структуре элементов из информационной базы. Применение системы продукционных правил обусловлено их использованием для представления знаний в интеллектуальных системах. Схема построения правил: «если» (условие выполняется), «то» (выполнить действие) «и» вероятность = (величина достоверности исполнения правила). На основе этой модели создан модуль анализа исторических данных. В настоящее время предложено более 300 правил с соответствующими им 3D-моделями [6].

Для определения вероятности  $j$ -го правила  $Vd_j$  используем соотношение:

$$Vd_j = \sum_{i=1}^{L_j} k_{ji} v_{d_{ji}}, j=1, M_j, \quad (4)$$



где  $vd_{ji}$  – для  $j$ -го значение вероятности достоверности заданного  $i$ -м экспертом;  $k_{ji}$  – коэффициенты весомости предоставляемых  $i$ -ым экспертом оценок  $vd_{ji}$ , задаваемые ЛПР или руководителем команды экспертов на основе опыта работы с экспертами (с учетом образования, квалификации и компетентности каждого из них); Множество  $L_j$  – количество экспертов участвующих в оценке достоверности реализации  $j$ -го правила.

После создания ИЛМ осуществляем разработку 3D-модели VR-пространства для виртуальной экскурсии.

При создании цифровой модели моделируем территории с использованием ИЛМ, формируем прототип окружающей территории с естественной экосистемой в среде программного продукта Twinmotion. Далее на следующем этапе А4 с помощью Twinmotion, созданного на этапе А3 модуля экспертной системы и формируем итоговое VR-пространство территории.

На этапе А5 разработанной технологии получаем множество сферических панорам в VR-пространстве и формируем тематические виртуальные экскурсии на их основе. Для ориентированного просмотра объектов и событий исторической реконструкции, создан виртуальный тур (VR-тур) с функциями проведения удаленных экскурсий по памятным местам. Для этого предложена математическая модель экскурсовода по объектам реконструируемого пространства с помощью графов [7].

Используя полученные выше результаты, создаем интерактивный VR-тур с помощью инструментов программной среды 3DVista Virtual Tour. В данной программе также реализованы средства разработки системы электронного обучения (E-learning) в VR-турах, функция создания виртуальных квестов, дающая возможность улучшить полученные знания, а также модуль интеграции с системой управления образованием, в частности: LMS Moodle.

Для реализации функции виртуальной экскурсии и создания коммуникативной среды применяется технология Live Guide Tours, реализованная в 3DVista и дающая возможность устраивать видеоконференции в самом VR-туре в режиме настоящего времени.

Оценка качества созданного VR-пространства объектов культурно-исторического наследия осуществляется на этапе А6 технологии с помощью метода Нориаки Кано в координатах «Важность – Удовлетворенность».

Для проверки знаний, полученных после VR-тура, разработан образовательный квест, в котором пользователю предлагается найти скрытые места VR-пространства и ответить на тематические вопросы по экскурсии. Проверка знаний пользователей после полного погружения в него реализуется с использованием t-критерия Стьюдента для парных выборок [8].

При этом использована технология создания образовательного квеста в программе 3DVista и Bigscreen. В случае, когда оценка качества созданного VR-пространства не превышает 4 баллов, а повышение уровня знаний пользователей после полного погружения в него не превышает 25 %, следует вернуться в соответствующий для корректировки этап технологии А3 – А5, характеристики которого предусматривают увеличение или уменьшение количества элементов VR-пространства, улучшение качества текстур и т.д.

Виртуальное пространство объектов культурного наследия и тематических

экскурсий по нему представлены отдельными составляющими  $P_{virt}$  для ИЗТ Тамбова, связанных с жизнедеятельностью семей Чичериных и Асеевых.

Для оценки качества проведения виртуальной экскурсии был проведен опрос студентов. Обработка данных проведена по методу Кано в координатах «Важность – Удовлетворенность». Всего было проанкетировано 75 человек. После проведения анкетирования, полученные средние значения результатов проиллюстрированы на графике, по которому определено, что основные характеристики полностью удовлетворяют запросам респондентов. Средняя оценка качества оказалась 4,1 балла.

Результаты анализа проверки знаний пользователей показали: средний балл на 27,2 % стал выше по сравнению с традиционной формой получения знаний; величина коэффициента Пирсона = 0,77, которая входит в диапазон [0,65-0,8], что означает сильную тесноту связи данных; значение  $p$  (вероятность получения таких же или более высоких результатов, чем наблюдаемое  $t$ ) для двустороннего  $t$ -критерия  $p = 4E-11$ , что меньше, чем альфа = 0,05.

Все это свидетельствует об эффективности разработанного образовательного ресурса и является еще одним подтверждением целесообразности использования иммерсивной коммуникативной образовательной среды для повышения эффективности гражданско-патриотического воспитания молодежи.

В результате выполненных исследований решена актуальная научно-практическая задача создания виртуального пространства ИЗТ на примере исторической реконструкции родовых усадеб Г.В. Чичерина и М.В. Асеева, обеспечивающего создание среды для коммуникативного общения и эффективного гражданско-патриотического воспитания молодежи.

#### Список использованных источников

1. Морозов, В.В. Формирование тематических виртуальных экскурсий по объектам культурного наследия на основе теории графов / В. В. Морозов, В.А. Немтинов, Ю.В. Протасова // Информационные технологии. – 2024. – Т. 30, № 5. – С. 365-373. – DOI 10.17587/it.30.365-373.

2. Немтинов, В.А. О подходе создания информационной базы знаний о памятных знаках, памятниках и мемориалах на Тамбовской земле / В.А. Немтинов, А.А. Горелов, В.В. Морозов [и др.] // Информационное общество. 2013. № 3. С. 58.

3. Прототип виртуальной модели учебно-материальных ресурсов университета химико-технологического профиля : Монография / В. А. Немтинов, С. В. Карпушкин, В. Г. Мокрозуб [и др.]. – Тамбов : Индивидуальный предприниматель Суворова Любовь Владимировна Издательский Дом «Тираж», 2012. – 436 с. – ISBN 978-5-89016-844-3. – EDN TSRXKH.

4. Немтинов, В.А. Комплексное использование различных программных сред для повышения уровня визуализации и восприятия информации / В. А. Немтинов, А.А. Родина, В.В. Морозов [и др.] // Научная визуализация. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 1-10. – DOI 10.26583/sv.15.2.01.

5. Информационное пространство при управлении химическим предприятием / В. А. Немтинов, А. М. Манаенков, В. В. Морозов, К. В. Немтинов // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 9. – С. 6-13. – EDN MVUQKF.

6. Краснянский, М. Н. Перспективы применения систем цифровых двойников и интеллектуализации расчетов на прочность химического оборудования / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, А. С. Тимонин // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2023. – № 5. – С. 7-12. – DOI 10.36535/0548-0027-2023-05-2. – EDN UHIKOY.

7. Nemtinov, V. Support of Design Decision-Making Process Using Virtual Modeling Technology / V. Nemtinov, V. Morozov [et al.] // Digital and Information Technologies in Economics and Management : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Digital and Information Technologies in Economics and Management" (DITEM2021), Moscow, 23–25 ноября 2021 года. – Moscow: Springer International Publishing, 2022. – P. 70-77. – DOI 10.1007/978-3-030-97730-6\_7.

8. Немтинов, В.А. Визуализация цифровой трансформации промышленного производства в образовательный процесс / В.А. Немтинов, А.Б. Борисенко, В.В. Морозов [и др.] // Научная визуализация. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 47-62. – DOI 10.26583/sv.14.3.04.

УДК 519.873

**Карпушкин С.В.<sup>1</sup>, Мартьянов Е.И.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: karp@mail.tstu.ru

<sup>2</sup>e-mail: martyanovjeka@yandex.ru

## **МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЕМКОСТНЫХ АППАРАТОВ**

**Karpushkin S.V.<sup>1</sup>, Martyanov E.I.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: karp@mail.tstu.ru

<sup>2</sup>e-mail: martyanovjeka@yandex.ru

## **METHOD FOR OPTIMIZING PARAMETERS OF MECHANICAL MIXING DEVICES IN CAPASITIVE APPARATUSES**

*Аннотация.* Предложена методика определения комбинации параметров конструкции и режима функционирования механического перемешивающего устройства (МПУ), включающая:

- постановку задачи минимизации дисперсии суммарной длины вектора скорости перемешиваемой среды в вертикальном емкостном аппарате;
- математическую модель процесса механического перемешивания, разработанную на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса в цилиндрической системе координат, замкнутых к-ε моделью турбулентности;
- алгоритм решения задачи с применением технологии вычислительного эксперимента.

Представлены результаты исследований влияния параметров МПУ на эффективность перемешивания и результаты практического применения предложенной методики, подтвердившие ее эффективность..

*Ключевые слова:* вертикальные емкостные аппараты, механическое перемешивание, уравнения Навье-Стокса, модель турбулентности, многофакторный вычислительный эксперимент.

*Abstract.* A method for determining the combination of design and operating mode's parameters of a mechanical mixing device (MMD), which include:

- problem statement for minimizes the dispersion of the velocity vector's total length in the mixed medium inside vertical capacitive apparatus;
- a mathematical model of the mechanical mixing process, which developed based on the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations in a cylindrical coordinate system, closed by the k-ε turbulence model;
- algorithm for solving a problem using computational experiment technology.

The results of the studies' results of the influence MMD parameters on the mixing efficiency and the results of the proposed methodology's practical, which confirmed its effectiveness.

*Keywords:* vertical capacitive devices, mechanical mixing, Navier-Stokes equations, turbulence model, multi-factor computational experiment.

Одним из наиболее распространённых технологических процессов является процесс перемешивания гомогенных или гетерогенных сред в вертикальных емкостных аппаратах с механическими перемешивающими устройствами (МПУ). Основой современных инженерных методик расчета МПУ являются результаты исследований в области моделирования процессов механического перемешивания (ПМП), проведенных авторами [1]. Разработанная ими инженерная методика [2] рекомендована к применению НИИХИММАШ.

Подходы к оценке эффективности МПУ, основанные на использовании инженерных методик [2-5], не обеспечивают достаточной степени адекватности представлений о гидродинамической обстановке в вертикальных емкостных аппаратах, их результаты не всегда обеспечивают прогнозируемую эффективность при промышленной реализации. Применение подходов, основанных на анализе полей скоростей и давлений в аппарате [6], требует экспериментальной проверки адекватности модели циркуляции жидкости в объеме перемешивания. Практически во всех публикациях, посвященных оценке эффективности МПУ, предлагается использовать количественные критерии эффективности, в конечном счете сводящиеся к максимизации производительности или минимизации энергозатрат. Качественные характеристики в виде ограничений анализируются только в [3].

Для математического моделирования ПМП в большинстве публикаций [7-9] предлагается использовать уравнения Навье-Стокса, замыкаемые различными моделями турбулентности. Наиболее приемлемой с точки зрения точности и ресурсоемкости является RNG (Re-Normalization Group)  $k$ - $\varepsilon$  модель [7-10]. В ряде работ [11-13] ставятся и решаются задачи определения одного конкретного параметра, представлены результаты однократного просчета фиксированной конструкции аппарата и МПУ, оценки влияния изменений частоты вращения мешалки, ее диаметра и высоты установки относительно дна резервуара на потребление энергии, затрачиваемой на перемешивание, однако задача оптимизации параметров конструкции и режима функционирования МПУ не рассматривается. В большинстве работ [7, 11, 12] для компьютерного моделирования ПМП используются модули вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics – CFD) различных версий пакета программ ANSYS Fluent.

Таким образом, в настоящее время актуальны исследования влияния параметров конструкций (геометрии и высоты установки мешалки над днищем аппарата) и режима функционирования МПУ (частоты вращения мешалки) на эффективность ПМП, оптимизация конструкций и режима работы МПУ с применением систем конечно-элементного анализа.

Общими параметрами большинства конструкций мешалок являются диаметр  $D_m$ , высота лопасти  $H_m$  и высота расположения над днищем аппарата  $h_{hm}$  (рис. 1). К числу дополнительных параметров относятся, например, угол наклона лопастей трехлопастной мешалки, число лопастей и диаметр диска турбинной открытой мешалки. Единственным параметром режима функционирования МПУ является частота вращения вала мешалки  $n$ .

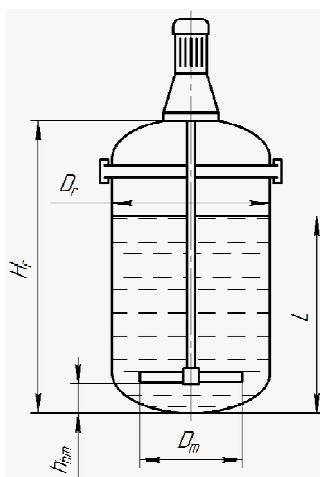


Рис. 1. Основные размеры вертикального аппарата с МПУ

Документ [2] рекомендует интервалы допустимых значений параметров конструкций и режима функционирования МПУ, соответствующих фиксированным значениям  $D_m$ , внутреннего диаметра  $D_r$  аппарата и его внутренней высоты  $H_r$  (рис. 1). Целью проведенных нами исследований является, в том числе, проверка корректности этих рекомендаций.

Принято решение об использовании для компьютерного моделирования ПМП программы Open FOAM [14] ввиду того, что ее кросс-компилированная версия Blue CFD, предназначенная для работы под управлением операционных систем Windows, является свободно распространяемым инструментарием вычислительной гидродинамики для операций с полями. Она полностью удовлетворяет требованиям к точности результатов моделирования и набору инструментов, необходимых для проведения расчетов. Кроме того, это программа с открытым исходным кодом, что позволяет адаптировать ее параметры и инструментарий к требованиям рассматриваемого класса задач посредством написания дополнений к коду или интеграции ее части в другие программные оболочки.

Для математического описания ПМП в вертикальном аппарате с МПУ использованы осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса в цилиндрической системе координат при допущении о симметричности поля скоростей перемешиваемой среды относительно оси вращения мешалки, т.е. постоянства осредненного значения составляющей вектора скорости  $\bar{u}_\varphi$  ( $\varphi$  – полярный угол) во всем объеме аппарата [15]. Это обусловлено ослаблением тангенциальных потоков жидкости при установившемся режиме перемешивания за счет существенного усиления радиальных и аксиальных потоков.

Моделируется определение осредненных значений составляющих вектора скорости  $\bar{u}_l$  и  $\bar{u}_r$  (по высоте  $l$  и радиусу  $r$  аппарата), соответствующих комбинации фиксированных значений  $n$ ,  $D_m$ ,  $H_m$  и  $h_{fm}$  для установившегося (квазистационарного) течения гомогенной жидкости в аппарате с МПУ при постоянной температуре.

В качестве расчетной характеристики эффективности перемешивания (критерия оптимальности параметров конструкции и режима функционирования МПУ) предлагается использовать минимум дисперсии суммарной длины вектора скорости

перемешиваемой среды, характеризующей степень равномерности поля скоростей в объеме аппарата:

$$K_{SVS} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z (\bar{u}_i - \bar{u}_{cp})^2, \quad (1)$$

где  $\bar{u}_i = \sqrt{\bar{u}_{li}^2 + \bar{u}_{ri}^2}$  – суммарная длина вектора скорости, м/с;

$\bar{u}_{cp} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z \sqrt{\bar{u}_{li}^2 + \bar{u}_{ri}^2}$  – среднее значение суммарной длины вектора скорости, м/с;

$\bar{u}_{li}, \bar{u}_{ri}$  – осредненные по Рейнольдсу значения составляющих вектора скорости для  $i$ -го узла конечно-элементной расчетной модели, м/с;  $l \in [0; L]$  – текущее значение уровня жидкости в аппарате, м;  $L \approx 0.08V/R^2 + 0.417 \cdot R \leq H_p/1.2$  – высота уровня жидкости в аппарате, м;  $V$  – объем перемешиваемой жидкости, м<sup>3</sup>;  $R$  – внутренний радиус аппарата, м;  $r \in [0; R]$  – текущее значение радиуса аппарата, м;  $z$  – общее число узлов конечно-элементной расчетной модели

Очевидно, что минимальное значение критерия (1), равное 0, соответствует  $n = 0$ , а максимальной интенсивности перемешивания соответствует максимально допустимое значение  $n$ , поэтому необходимо дополнить критерий ограничением

$$n = \min\{n_{max}, n_p\}, \quad (2)$$

где  $n_{max}$  определяется конструктивными (для конкретной мешалки) и технологическими (свойствами конкретной среды) ограничениями, а значение  $n_p$  определяется из ограничения на значение мощности  $P_{дв}$ , затрачиваемой на перемешивание:

$$P_{дв} \leq 1.1 \cdot P_{дв. доп.}, \quad (3)$$

где  $P_{дв. доп.}$  – допустимое значение мощности, при котором на каждый м<sup>3</sup> объема аппарата приходится 1 кВт мощности двигателя МПУ (из практического опыта эксплуатации вертикальных емкостных аппаратов);

$$P_{дв} = \begin{cases} (762.3D_m + 847H_m)\rho n_p v^2 - \text{двухлопастная мешалка} \\ (0.0003D_m^2 + 0.0008H_m L_m) N \rho n_p^{2.57} D_m^{2.14} v^{0.43} - \text{турбинная мешалка} \\ (0.0004D_m^2 + 0.0006H_m^2 \cos \alpha) \rho n_p^{2.43} D_m^{1.84} v^{0.57} - \text{трехлопастная мешалка} \end{cases};$$

$n_p$  – расчетное значение частоты вращения мешалки, с<sup>-1</sup>;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $L_m$  – ширина лопасти мешалки, м;  $N$  – количество лопастей мешалки;  $\alpha = [0^\circ; 90^\circ]$  – угол наклона лопасти мешалки к горизонтали, град.

Наиболее ресурсоемким этапом решения задачи минимизации критерия (1)-(3) в комбинации с соотношениями математической модели [15] является расчет поля скоростей в объеме перемешиваемой среды при фиксированных значениях  $n$ ,  $D_m$ ,  $H_m$  и  $h_{hm}$ . При проверке адекватности математической модели единичный расчет поля скоростей в лабораторном аппарате занимал около трех часов на компьютере с характеристиками: процессор: IntelPentium 2020M (2.4 ГГц), оперативная память: 8 ГБ DDR3 (800 МГц), видеокарта: NVIDIA GeForce GT 720M 2 ГБ (DDR3), жесткий диск: WD Blue 500 ГБ (5400 об/мин).

Очевидно, что расчет поля скоростей даже в сравнительно небольшом промышленном аппарате на том же компьютере потребует существенно больших затрат времени даже при использовании более грубой сетки конечных элементов. Следовательно, алгоритм решения задачи должен предусматривать минимально

возможное количество расчетов поля скоростей в объеме перемешиваемой среды исследуемого аппарата. На наш взгляд, наиболее приемлемым решением для выполнения этого требования является использование технологии планирования многофакторного вычислительного эксперимента [16]. В качестве плана эксперимента использован ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП), формирующий полином регрессии третьей степени [16]. Фиксированные уровни факторов  $D_m$ ,  $H_m$  и  $h_{hm}$  приняты в соответствии с рекомендациями [2].

Расчеты проводились для аппарата высотой  $H_r = 0.45$  м и диаметром  $D_r = 0.4$  м с эллиптическим днищем и крышкой, на которой установлен привод мешалки, заполненного  $0,04$  м<sup>3</sup> артезианской воды температурой  $20$  °С; плотностью  $1027$  кг/м<sup>3</sup>, кинематической вязкостью  $1,006 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с при средних рекомендуемых значениях  $n$  для двухлопастной (50 1/мин), турбинной открытой (250 1/мин) и трехлопастной мешалки с наклонными лопастями (500 1/мин) с учетом ограничения (3).

Результаты этих расчетов (табл. 1) позволили уточнить рекомендации действующего нормативного документа [2] по значениям конструкционных параметров упомянутых мешалок:

- для двухлопастной мешалки только значение  $D_m$  входит в рекомендуемый диапазон, значение  $h_{hm}$  близко к минимальному рекомендуемому, а значение  $H_m$  превышает рекомендуемое более, чем в 1,5 раза;
- для турбинной открытой и трехлопастной мешалок в рекомендуемые диапазоны входят найденные значения  $D_m$  и  $h_{hm}$ , а значение  $H_m$  превышает минимальное рекомендуемое более, чем в 2 раза.

Таким образом, высота лопастей наиболее распространенных механических мешалок, соответствующая минимуму дисперсии суммарной длины вектора скорости перемешиваемой среды, существенно превышает рекомендуемые значения.

Таблица 1. Результаты оптимизации основных параметров мешалок

Тип мешалки	Частота вращения мешалки, об/мин	Отн. ошибка полинома регрессии, %	Основные параметры, [рекомендации РД 26-01-90-85]		
			Диаметр мешалки, м	Высота лопасти, м	Высота установки, м
Двухлопастная	50	1	0,192 [0,16;0,267]	0,032 [0,019]	0,072 [0,077;0,192]
Турбинная открытая	250	0,36	0,085 [0,067;0,133]	0,042 [0,017]	0,075 [0,034;0,085]
Трехлопастная	500	0,37	0,085 [0,067;0,133]	0,042 [0,017]	0,075 [0,034;0,085]

При найденных значениях основных параметров определены значения дополнительных параметров турбинной открытой и трехлопастной мешалок (рис. 2):

- увеличение числа лопастей турбинной мешалки свыше  $N = 6$  не оказывает существенного влияния на равномерность поля скоростей (рис. 4а);
- оптимальное значение отношения диаметра диска турбинной мешалки к диаметру мешалки  $D_d/D_m = 0.6$  (рис. 4б);
- оптимальный угол наклона лопастей трехлопастной мешалки к горизонтали  $20^\circ$  (рис. 4в).



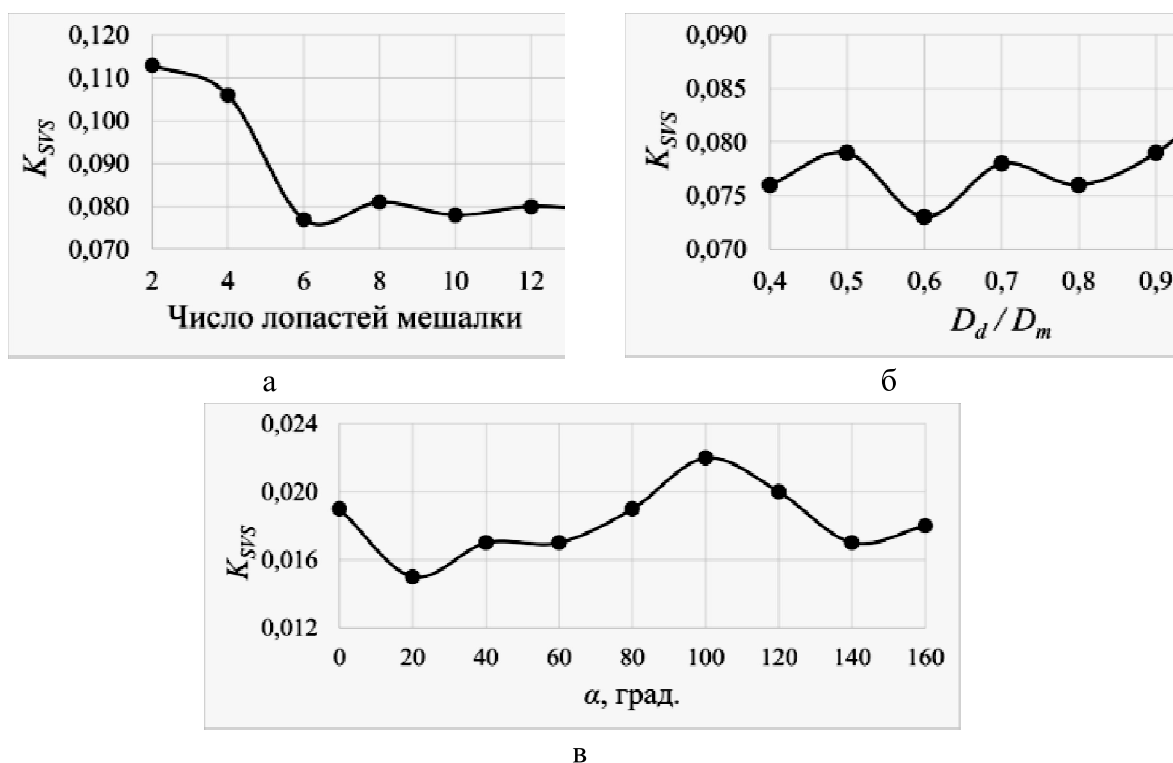


Рис. 2. Значения дополнительных параметров турбинной открытой (а, б) и трехлопастной (в) мешалок

Найденные значения параметров конструкций рассмотренных МПУ (табл. 1 и рис. 2), были проверены экспериментально путем сравнения вычисленных и измеренных значений затрат мощности на перемешивание. Рассогласование этих значений не превысило 3 %.

С применением программы расчета параметров конструкции и режима функционирования МПУ, разработанной согласно предложенной методике, проведены работы по расчету и подбору эффективного МПУ для промышленного аппарата поз. 180 установленного в цехе №15 АО «Пигмент», г. Тамбов и входящего в химико-технологическую систему производства фталоцианина меди. Проведены расчеты по подбору конструктивных параметров и режима функционирования для установленного МПУ, оснащенного якорной мешалкой. Исходной компоновке аппарата соответствует  $K_{SYS} = 5.46$ , компоновке, полученной в результате применения предлагаемой методики  $K_{SYS} = 1.34$ .

Оптимальная высота установки мешалки составила  $h_{hm} = 0.05D_m$ , оптимальная высота лопасти мешалки оказалась больше на 20 %, чем рекомендуемая [2] для якорных мешалок эмалированных аппаратов ( $H_m/D_m = 0.7$ ). Помимо этого, из-за особенности протекания химического процесса и образования отложений в нижней части аппарата диаметр мешалки был увеличен до значений  $D_m/D_r = 0.95$  (рекомендация [2] для якорной мешалки  $D_m/D_r = 0.7 \div 0.9$ ). Ширину лопасти мешалки потребовалось увеличить до значений  $L_m/D_m = 0.15$  при рекомендации [2] для якорной мешалки  $L_m/D_m = 0.1$ .

После проведения пусконаладочных работ и опытной эксплуатации была подтверждена эффективность предложенной компоновки, которая позволила сократить

продолжительность стадии с 20 до 18 ч. (увеличение мощности производства с 1188 до 1320 т/год). Помимо этого, потребляемая при перемешивании мощность привода МПУ уменьшилась на 16 %.

Таким образом, предложена методика решения задачи оптимизации параметров конструкции и режима функционирования МПУ, позволяющая определять такое сочетание параметров, при которых степень неравномерности поля скоростей в объеме аппарата достигает минимума, а затраты мощности на перемешивание превышают допустимые не более, чем на 10 %.

Результаты исследований влияния параметров конструкции и режима функционирования МПУ на эффективность перемешивания позволили уточнить рекомендации [2].

Комплекс программ оптимизации параметров конструкции и режима функционирования МПУ, реализующий предложенную методику, прошел успешную апробацию и внедрен в проектно-конструкторском отделе АО «Пигмент», г. Тамбов.

#### Список использованных источников

1. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах // Л.: Химия, 1984, 336 с.
2. Руководящий нормативный документ РД 26-01-90-85: Механические перемешивающие устройства, метод расчета; Введ. с 01.01.1986. // Л.: РТП ЛенНИИхиммаша, 1985, 257 с.
3. Карпушкин С.В., Краснянский М.Н., Борисенко А.Б. Методика расчета и выбора механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов // Химическая промышленность сегодня, 2011, 12, 48-55.
4. Доманский И.В., Мильченко А.И., Некрасов В.А., Воробьев-Десятовский Н.В. Производительность осевых мешалок в смесителях с отражательными перегородками // Теоретические основы химической технологии, 2020, 54, 1, 97-104.
5. Морданов С.В., Сыромятников С.Н., Хомяков А.П. Методика определения полезной мощности привода механического перемешивающего устройства // Информационная школа молодого ученого: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ЦНБ УрО РАН, 2011, 254-264.
6. Минибаева Л.Р., Мухаметзянова А.Г., Клинов А.В. Численное моделирование гидродинамической структуры потока в аппаратах с перемешивающими устройствами // Вестник Казанского технологического университета, 2008, 6, 191-198.
7. Войтович Р., Липин А.А., Талага Я. О возможности использования различных моделей турбулентности для расчета гидродинамических и энергетических характеристик аппаратов с турбинными мешалками // Теоретические основы химической технологии, 2014, 48, 4, 386-402.
8. Минибаева Л.Р., Мухаметзянова А.Г., Клинов А.В. Модели турбулентности для адекватного описания поля скорости в аппаратах с перемешивающими устройствами // Вестник Казанского технологического университета, 2010, 9, 469-477.
9. Mohiuddin A.K.M., Adeyemi N.A. Alternative mixing strategy for bi-odiesel production: mixed flow impeller characterization // Alternative energy. IIUMPress, Kuala Lumpur, 2011, pp. 188-196. <http://irep.iium.edu.my/id/eprint/20084>.

10. Коркодинов Я.А. Обзор семейства k-ε моделей для моделирования турбулентности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2013, 2, 5-16.
11. Минибаева Л.Р., Мухаметзянова А.Г., Клинов А.В. О влиянии конструкции перемешивающего устройства на характеристики потока в аппаратах с многоярусными мешалками // Вестник Казанского технологического университета, 2010, 11, 201-210.
12. Ochieng A., Onyango M. CFD simulation of the hydrodynamics and mixing time in a stirred tank // Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 2010, 16, 4, pp. 379-386. DOI: 10.2298/CICEQ100211040O.
13. Yang F.L., Zhou S.J. Free Surface Turbulent Flow in an Unbaffled Stirred Tank: Detached Eddy Simulation and VOF Study // Chemical and Bio-chemical Engineering Quarterly, 2015, 29, 3, pp. 395-403. DOI: 10.15255/CABEQ.2014.2056/
14. Open FOAM – открытая интегрируемая платформа для численного моделирования задач механики сплошных сред [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fsweb.info/caecad/openfoam.html>. (Дата обращения: 10.03.2024).
15. Мартьянов Е.И., Карпушкин С.В. Математическая модель процесса механического перемешивания в вертикальном емкостном аппарате // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IX Международной научно-практической конференции. Тамбов: Таимбовский государственный технический университет, 2023, 9, 46-52.
16. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие // М.: ИД Юрайт, 2012, 399 с.

УДК 681.5

**Правин П.К.**

AGG TOO биологических наук и решений в области безопасности,

Мумбаи, Индия

e-mail: Praveen.singh.rajput21@gmail.com

## **МОДЕЛЬ ГРЕЯ МАРКОВА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ АВТОНОМНОГО САМОСПАСАТЕЛЯ**

**Praveen P.K**

AGG Lifesciences and Safety Solutions LLP, Mumbai, India

e-mail: Praveen.singh.rajput21@gmail.com

## **GRAU MARKOV MODEL FOR PREDICTING THE STATES OF FN AUTONOMOUS SELF-RESCUER**

*Аннотация.* Приведена модель Грея Маркова для прогнозирования отказов автономного самоспасателя. Отказы носят динамический характер. Для повышения точности модель корректируется. Представлен критерий разделения состояний. Проверена точность модели.

*Ключевые слова:* математическая модель, модель Грея Маркова, прогнозирование, отказ, состояние системы.

*Abstract.* The Gray Markov model for predicting failures of an autonomous self-rescuer is presented. Failures are dynamic in nature. The model is adjusted to improve accuracy. The criterion of separation of states is presented. The accuracy of the model has been verified.

*Keywords:* mathematical model, Gray Markov model, forecasting, failure, system state.

### **Introduction**

Self-Contained Self-Rescuers (SCSR) are devices used by miners to evacuate themselves in the event of an emergency in a mine. Compliance with norms and standards is a key factor in ensuring the safety of miners. According to the adopted norms, strict selection and quality testing of SCSRs is carried out.

Before a batch of SCSR is put into service, samples at the rate of three percent (3%) subject to a minimum of 12 units, for every batch of supply shall be drawn at random for the testing by a joint sampling team comprising of representatives from manufacturer/supplier and user at the user's site.

Fifty percent (50%) of the above sample (subject to minimum of six units) shall be sent to approved/accredited laboratory for the full bench test as per IS 15803-2008 and the rest of the sample units shall be subjected to practical performance test as per IS 15803-2008 for the rated duration and the user's comfort at the nearest rescue station..

Quantity of the units in one batch is the total nos. of SCSRs produced by the manufacturer in one batch of production without any interference in production or without in change in the raw materials and process and procedure.

The batch of supply for which all the test results of the samples (100%) are found satisfactory shall only be put into service. In case of unsatisfactory test result even of single sample, either at the laboratory or in the practical performance test, the entire batch of supply shall not be accepted for use.

### **Selection of Mathematical Model**

Human errors that contribute to SCSR failures are categorized as follows: errors in daily visual inspections (e.g., failing to detect visible signs of damage or defects); errors in quarterly leak tightness tests (e.g., improperly performed leak tests); errors during annual lab testing (e.g., inaccurate results in laboratory performance tests); errors in donning the SCSR properly (e.g., incorrect donning, failure to activate the unit in time); errors in assessing technical failures (e.g., failure to identify malfunctioning parts, ignoring warning indicators).

These errors cumulatively contribute to system failures, and each category can impact the reliability of SCSR units over time.

We have selected Grey Markov Model [1] to forecast or assess the errors due to following reasons: error is not regular, it is randomly scattered, information on raw data is limited.

Taking into account the randomness of the data, the failure in the time series can be expressed as a sequence generated with a close average value.

According to the Grey cloud forecasting method, the forecasting model can be expressed by a first-order differential equation. In order to increase the accuracy of forecasting and bring it as close as possible to the real situation, the model is adjusted.

The data for failure statistics due to lack of maintenance could be larger, and since human behavior is extremely uncertain, therefore, regularity may be weak in nature or not very strong. In order to increase the accuracy of forecasting and bring it as close as possible to the real situation, the model is adjusted to increase accuracy.

The modified principle and algorithm are as follows. When the sequence of these residues is first obtained, the following predicted value and the actual value are obtained. If, for the first time, the correction to the balances failed to ensure the accuracy of the required forecast, then the second correction to the balances must be performed and so on until the required accuracy requirements are met.

The curve that we get from the forecast will essentially be an exponential curve, and the result of the prediction will be a smooth curve. The Markov model is adopted to predict state trends by transmitting probability, which it can adapt to the randomness and variability of the state.

### **State Divided Criterion for the Prediction of Failures**

Failures in the operation of self-rescuers due to lack of maintenance can change annually and represent a dynamic non-stationary random process. Therefore, the accuracy indicators

corresponding to the forecast should also be variable and random, since the boundaries and values of various annual conditions may vary. Therefore, it is necessary to obtain a criterion for adaptive separation of states, and this criterion should correspond to the main time trend of failures of self-rescuers due to lack of maintenance.

When we say that the state is divided, the number of different intervals can be reasonably divided according to the actual situation. If our initial data is smaller, then the interval division should be smaller in order to increase the number of transfers between different groups, and thus the transfer law should be more objectively reflected between groups.

Conversely, if there is more input data, the interval division should be smaller in order to extract more information from a large amount of data to improve prediction accuracy. It is advisable to adapt the cluster classification method to determine the class number and classification intervals due to the smaller amount of data and the uncertain failure status of self-rescuers due to lack of maintenance as a result of human error.

The state transition probability matrix reflects all statistical patterns of state transition and control of the future state of the system can be predicted by examining the matrix. In the actual analysis of the process, only the probability matrix of going one step is usually considered.

The future state of the system will be determined by examining the matrix of probabilities of state transition, and the interval of change of the first approximation of the relative predicted value at future time points will also be determined.

To verify the accuracy of the proposed model, equipment tests are required to determine the error between the predicted value and the actual value. A relative error is used to estimate the accuracy of the model. The relative error compares the actual and predicted values at a certain point in time. The overall accuracy of the model can be determined by the average relative error.

### **Analysis Results**

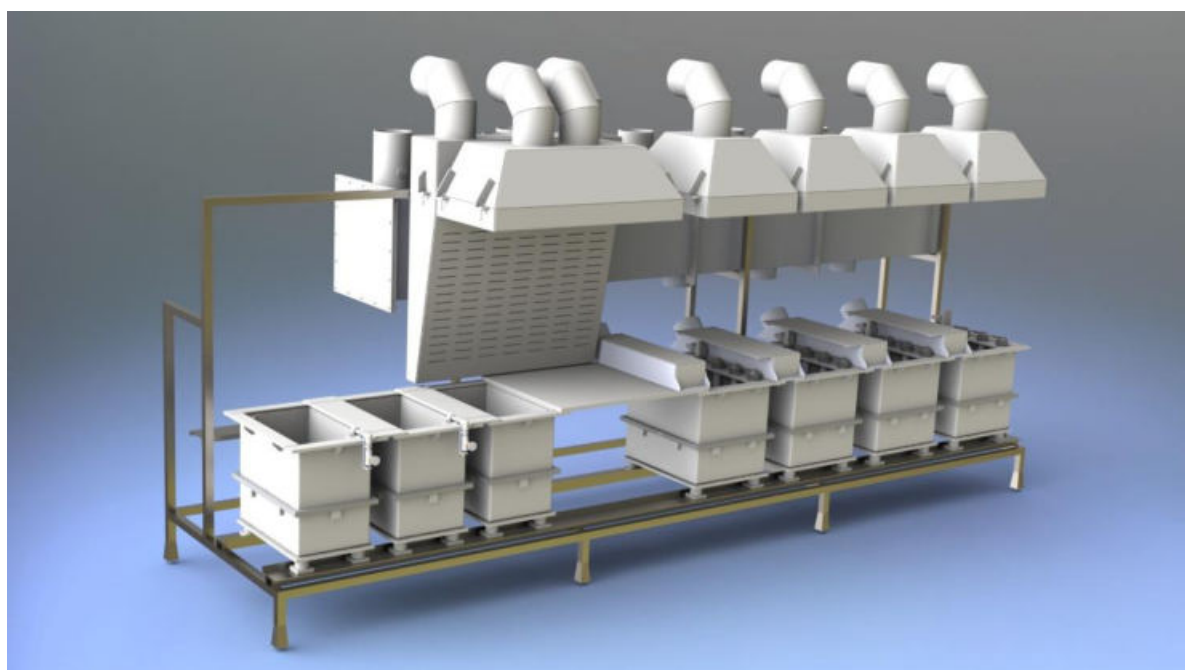
The results of the analysis based on the forecasting model show that if there is negligence in the maintenance of equipment due to human error, this will lead to equipment failures. The Gray Accuracy Index suggests that it can predict near-accurate hardware failure results for specified conditions.

### **References**

1. Xiang-cheng JIANG, Sen-fa CHEN, Application of Weighted Markov SCGM(1,1)<sub>c</sub> Model to Predict Drought Crop Area, Systems Engineering - Theory & Practice, Volume 29, Issue 9, 2009, Pages 179-185, ISSN 1874-8651, [https://doi.org/10.1016/S1874-8651\(10\)60072-5](https://doi.org/10.1016/S1874-8651(10)60072-5).

**Секция**

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**



УДК 66.013:001.8

**Карпушкин С.В.<sup>1</sup>, Мартьянов Е.И.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: karp@mail.tstu.ru

<sup>2</sup>e-mail: martyanovjeka@yandex.ru

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Karpushkin S.V.<sup>1</sup>, Martyanov E.I.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: karp@mail.tstu.ru

<sup>2</sup>e-mail: martyanovjeka@yandex.ru

## **SYSTEMATIC APPROACH TO DESIGNING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR MULTI-PRODUCT CHEMICAL PLANT**

*Аннотация.* Представлены принципы, которыми рекомендовано руководствоваться при автоматизированном проектировании технологического оборудования многоассортиментных химических производств: декомпозиции общей задачи проектирования на ряд взаимосвязанных подзадач, моделирования проектных решений с ориентацией на формирования полей определяемых параметров, оптимальности проектных решений и проектируемости. Принципы проиллюстрированы на примере задачи определения аппаратного оформления химико-технологической системы проектируемого многоассортиментного химического производства.

*Ключевые слова:* многоассортиментное химическое производство, технологическое оборудование, автоматизированное проектирование.

*Abstract.* The principles recommended for use in automated design of process equipment for multi-product chemical plant are presented: decomposition of the general design task into a number of interrelated subtasks, modeling of design solutions with an orientation toward formation the fields of determined parameters, optimality of design solutions and designability. The principles are illustrated using example the task of determining the hardware design of a chemical-technological system for a multi-product chemical plant being designed.

*Keywords:* multi-product chemical plant, technological equipment, automated design.

Автоматизированное проектирование технических систем включает комплекс задач, постановка и решение которых основаны на использовании методов системного анализа, математического моделирования, оптимизации, обработки информации.

Особенности многоассортиментных химических производств (МХП), такие как широкий ассортимент выпускаемой продукции при небольших (менее 1000 т/год) объемах выпуска продуктов и частых изменениях ассортимента, существенно



усложняют процесс их проектирования. Примерами МХП могут служить производства синтетических красителей и полупродуктов, фармацевтических препаратов, химических реактивов. Химико-технологические системы (ХТС) МХП, как правило, ориентированы на выпуск нескольких марок продукции, сходных по технологии синтеза, причем в каждый момент времени осуществляется выпуск единственного продукта. ХТС МХП работают в периодическом режиме, т.е. продукты выпускаются отдельными партиями, которые последовательно проходят все этапы переработки, предусмотренные технологическими регламентами. Стадии ХТС представляют собой совокупности основных и вспомогательных аппаратов, предназначенных для реализации этапов переработки партий продуктов.

На основе многолетнего опыта работы с проектными организациями и проектно-конструкторскими подразделениями промышленных предприятий, участия в проектировании десятков промышленных технических систем химико-технологического профиля нами сформулированы принципы системного подхода к проектированию технологического оборудования МХП, которые могут служить руководством для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этой области.

**1. Принцип декомпозиции общей задачи проектирования.** Детальная формулировка общей задачи проектирования оборудования МХП, как правило, бессмысленна, т.к. высокая размерность и сложная система разнородных ограничений делают ее решение невозможным. Общую задачу следует представлять в виде системы взаимосвязанных локальных задач и предусматривать реализацию итерационной процедуры их совместного решения с необходимой коррекцией исходных данных для следующей итерации по результатам выполнения предыдущей, см. [1].

Среди локальных задач выделим определение числа ХТС и ассортимента их продукции, выбор аппаратного оформления (АО) стадий каждой ХТС, размещение технологического оборудования всех ХТС в производственном помещении, разработку календарного плана выпуска продукции, методика решения каждой из которых также предусматривает декомпозицию на локальные подзадачи.

Предлагаемая стратегия декомпозиции задачи определения АО ТС МХП, в отличие от рассмотренных ранее [2-4], базируется на принципе разделения параметров задачи по характеру их изменения: отделения параметров режима функционирования ХТС, изменяющихся непрерывно, от дискретных характеристик оборудования ее стадий. С учетом определяющего влияния параметров режима функционирования ХТС на АО стадий системы в качестве задачи верхнего уровня иерархии выбрана задача  $RF$  оптимизации параметров режима функционирования ХТС при выпуске в течение планового периода  $T_p$  всех продуктов заданного ассортимента  $I$  в требуемых объемах  $Q_i, i = 1, \dots, I$ . На среднем уровне решаются задачи  $VA_j, j = 1, \dots, J$  выбора определяющих размеров и числа основных аппаратов каждой из  $J$  ее стадий, а также способов переработки партий продуктов основными аппаратами каждой стадии системы. На нижнем уровне – задачи  $OA_{jf}$  оптимизации параметров конструкции и режима функционирования  $f$ -го аппарата стадии  $j$ , см. рис.1.

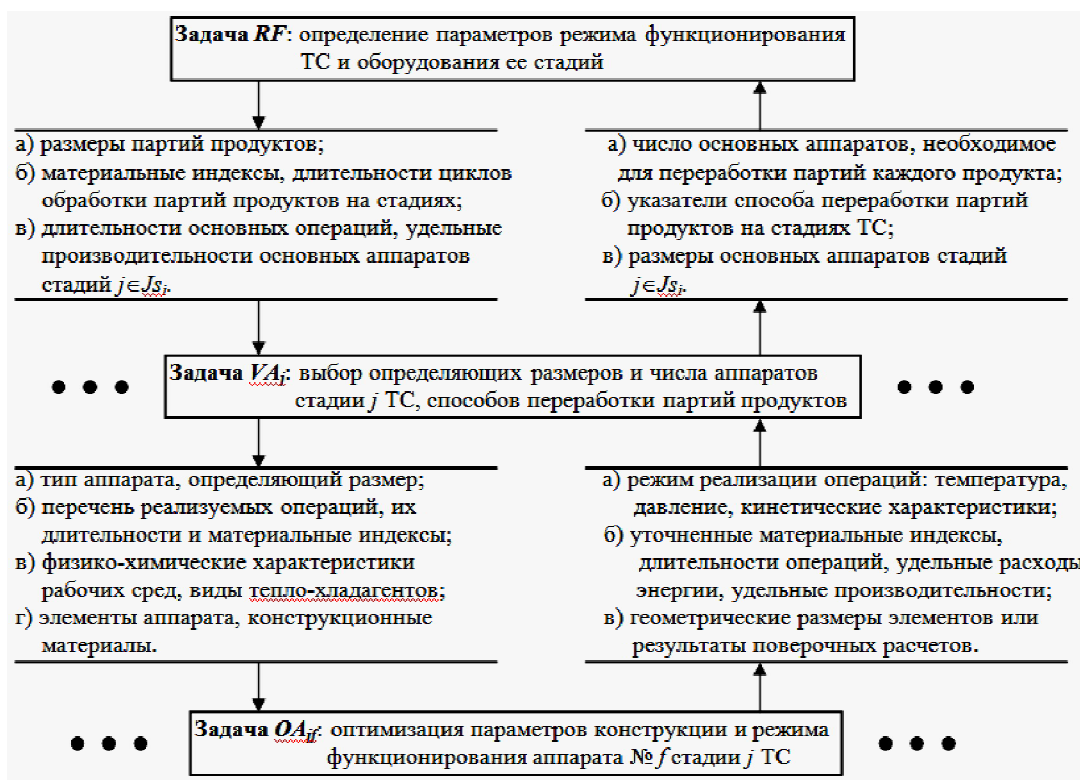


Рис. 1. Иерархия задач АО ТС МХП и информационные связи между ними  
 $J_{S_i}$  – множество номеров стадий выработки  $i$ -го продукта, основными аппаратами которых являются фильтры и сушилки

**2. Принцип моделирования проектных решений.** Вид соотношений и область определения математической модели проектного решения прямо следуют из постановки задачи проектирования. Математическая модель проектного решения может включать математические модели процессов, реализуемых в объекте проектирования, если они разработаны и уровень их детализации достаточен для целей проектирования.

Желательно, чтобы математические модели процессов, реализуемых в объекте проектирования, были ориентированы на формирование полей определяемых параметров: концентраций, температур, скоростей потоков, нагрузок, деформаций и т.д. Процесс принятия проектных решений с применением таких математических моделей сводится к подбору сочетаний параметров конструкции и режима функционирования исследуемого объекта, обеспечивающих оптимальные значения параметров объекта.

Например, при решении задачи оптимизации конструкции и режима функционирования механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата (одной из задач  $O_{A_{jf}}$ ) для математического описания процесса механического перемешивания использованы осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса в цилиндрической системе координат при допущении о симметричности поля скоростей перемешиваемой среды относительно оси вращения мешалки, т.е. постоянства осредненного значения составляющей вектора скорости  $\bar{u}_\varphi$  ( $\varphi$  – полярный угол) во всем объеме аппарата (обусловлено ослаблением тангенциальных потоков жидкости при установившемся режиме перемешивания за счет существенного

усиления радиальных и аксиальных потоков) [5]. Поэтому моделируется определение осредненных значений составляющих вектора скорости  $\bar{u}_l$  и  $\bar{u}_r$  (по высоте  $l$  и радиусу  $r$  аппарата), соответствующих комбинации фиксированных значений частоты вращения вала мешалки  $n$ , ее диаметра  $D_m$ , высоты лопасти  $H_m$  и высоты расположения над днищем аппарата  $h_{hm}$  для установившегося (квазистационарного) течения гомогенной жидкости в аппарате при постоянной температуре.

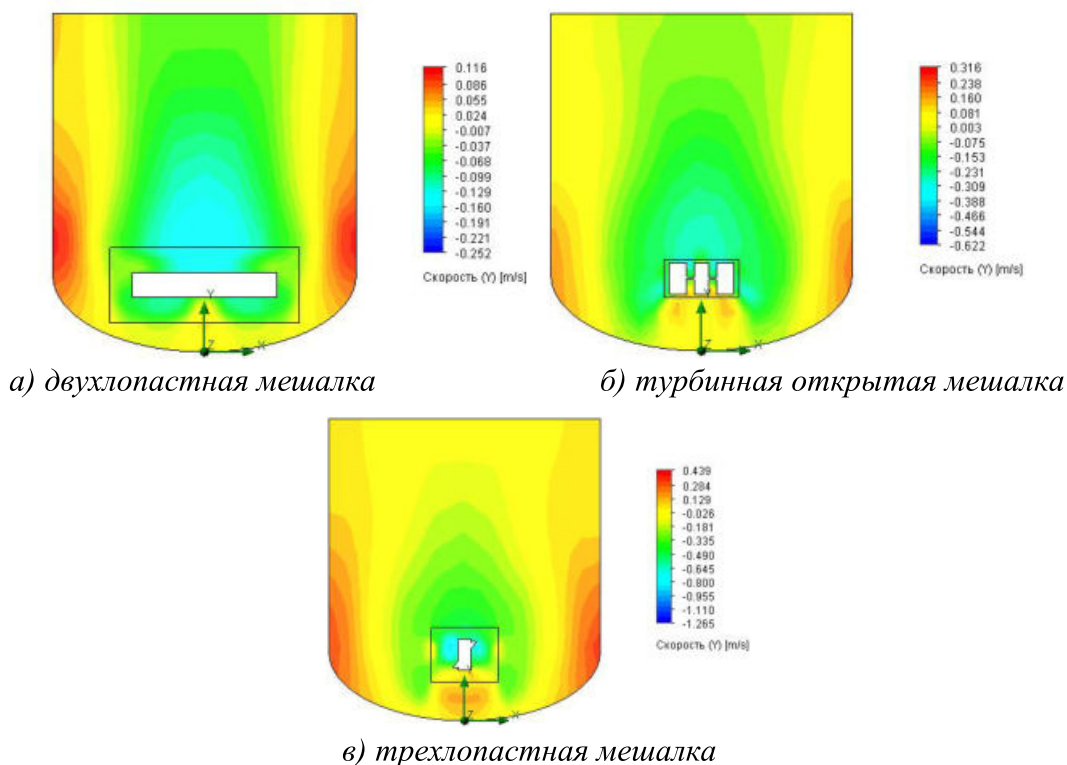


Рис. 2. Поля скоростей перемешиваемой жидкости в вертикальном емкостном аппарате при оптимальных значениях параметров мешалок

Для компьютерного моделирования процесса перемешивания жидкости в вертикальном емкостном аппарате механической мешалкой использована программа Open FOAM [6], ввиду того, что ее кросс-компилированная версия Blue CFD, предназначенная для работы под управлением операционных систем Windows, является свободно распространяемым инструментарием вычислительной гидродинамики для операций с полями. На рис. 2 представлены изображения полей скоростей, полученные при оптимальных значениях  $n$ ,  $D_m$ ,  $H_m$  и  $h_{hm}$  для различных типов мешалок лабораторного аппарата.

С применением такого подхода к моделированию процесса механического перемешивания проведены работы по расчету и подбору эффективного перемешивающего устройства с якорной мешалкой для промышленного аппарата, входящего в ХТС производства фталоцианина меди в цехе №15 АО «Пигмент», г. Тамбов.

Определены оптимальные с точки зрения степени равномерности поля скоростей значения высоты установки мешалки  $h_{hm} = 0.05D_m$ , высоты лопасти мешалки  $H_m = 0.85D_m$ , диаметра мешалки  $D_m = 0.95D_r$  ( $D_r$  – внутренний диаметр аппарата), ширины лопасти мешалки  $L_m = 0.15D_m$ .

Отсутствие математических моделей реализуемых процессов не является препятствием для разработки математической модели проектного решения: используется информация из технического задания на проектирование, регламентов выпуска продуктов и нормативных документов (ГОСТ, РД, РТМ).

**3. Принцип оптимальности проектных решений.** Задачи проектирования следует формулировать как задачи математического программирования или вариационные, т.е. обосновывать выбор критерия (критериев) оптимальности проектных решений и области поиска значений параметров конструкций и режимов функционирования элементов технической системы на всех этапах ее проектирования.

В качестве критерия оптимальности решения задачи  $RF$ , т.е. режима функционирования ТС, определяемого значениями размеров партий продуктов  $w_i, i=1, \dots, I$ , моментов начала и окончания  $l$ -й операции  $k$ -го цикла работы аппаратов стадии  $j$  ХТС при выпуске  $i$ -го продукта  $tos_{ijkl}, tof_{ijkl}, i=1, \dots, I, j \in J_i, k=1, \dots, K_{ij}, l=1, \dots, L_{ijk}$ , предложено использовать нижнюю оценку стоимости энергоресурсов различных видов (электричество, тепло, холод), потребляемых при реализации операций переработки партий продуктов в течение периода эксплуатации  $Tr$ , см. [7]:

$$Ze = \sum_{i=1}^I wc_i \cdot \sum_{j \in J_i} \frac{w_i \cdot pn_{ij}}{r_{ij}} \cdot \sum_{k=1}^{K_{ij}} \sum_{l=1}^{L_{ijk}} \sum_{ke=1}^{Ke} C^{ke} \cdot en_{ijl}^{ke} \cdot goc_{ijkl} \cdot (tof_{ijkl} - tos_{ijkl}), \quad (1)$$

где  $C^{ke}$  – стоимость единицы (1 Дж) энергоресурса вида  $ke$ ;

$$pn_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{ij} = 0 \\ 1.05 \cdot n_{ij}, & \text{если } p_{ij} = 1 \end{cases} \quad \text{– коэффициент увеличения затрат энергии на } j\text{-й}$$

стадии ХТС при синхронной обработке равных долей партии  $i$ -го продукта в нескольких параллельных аппаратах (за счет увеличения потерь);

$p_{ij}$  – указатель способа обработки партий  $i$ -го продукта аппаратами стадии  $j$  ХТС ( $p_{ij} = 1$  – синхронная обработка  $1/n_j$  доли партии в каждом аппарате,  $p_{ij} = 0$  – обработка партий целиком в порядке поступления);

$r_{ij}$  – коэффициент изменения размера партии  $i$ -го продукта на стадии  $j$  ХТС;

$goc_{ijkl}$  – материальный индекс  $l$ -й операции  $k$ -го цикла работы аппаратов стадии  $j$  ТС при выпуске  $i$ -го продукта (кг/т);

$en_{ijl}^{ke}$  – удельный расход (Вт/кг) энергоресурса вида  $ke$  при реализации этой операции.

В качестве критерия оптимальности решения каждой из задач  $AO_{sj}$  предложено использовать ориентировочную стоимость выбранных основных аппаратов конкретной стадии. Стадии ХТС МХП, как правило, комплектуются стандартными аппаратами, стоимость которых можно определить по прейскурантам цен на оборудование, выпускаемое предприятиями химического машиностроения. Для приблизительной оценки стоимости оборудования предлагается использовать функциональные зависимости, цены аппарата от его типа ( $ta_j$ ) и определяющего размера:

$$s(ta_j, X_j) = \alpha_j \cdot X_j^{\beta_j}, \quad j = 1, \dots, J,$$

где  $\alpha_j = \alpha_j(ta_j)$ ,  $\beta_j = \beta_j(ta_j)$  – коэффициенты, определяемые методами регрессионного анализа на основе имеющейся информации о ценах на аппараты различных типов,

например, для стальных эмалированных емкостных аппаратов с цилиндрическими рубашками, сальниковыми уплотнениями и механическими перемешивающими устройствами, включая мотор-редукторы, –  $s(ta_j, X_j) = 94.643 \cdot X_j^{0.368}$ . С применением подобных зависимостей капитальные затраты на основное технологическое оборудование стадии  $j$  ХТС МХП, можно оценить по формуле:

$$Z_j = N_j \cdot s(ta_j, X_j),$$

а для обеспечения совместимости критериев оптимальности решений задач  $VA_j$  и задачи  $RF$  в качестве целевой функции задачи выбора АО стадии  $j$  ХТС используется сумма амортизационных отчислений от стоимости оборудования стадии за период выпуска продуктов в плановых объемах:

$$Zk_j = Ek \cdot (Tp/Ty) \cdot (N_j \cdot s(ta_j, X_j)), \quad (2)$$

где  $Ek$  – нормативный коэффициент окупаемости для оборудования (0.15),

$Ty$  – годовой эффективный фонд рабочего времени ХТС, ч, с учетом сменности ее работы и продолжительностей переходов с выпуска одних продуктов на другие согласно календарному плану.

В качестве критерия оптимальности решения одной из задач  $OA_{jj}$ : оптимизации параметров конструкции и режима функционирования механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата, – предлагается использовать минимум дисперсии суммарной длины вектора скорости перемешиваемой среды, характеризующей степень равномерности поля скоростей в объеме аппарата:

$$K_{SVS} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z (\bar{u}_i - \bar{u}_{cp})^2 \quad (3)$$

где  $\bar{u}_i = \sqrt{\bar{u}_{li}^2 + \bar{u}_{ri}^2}$  – суммарная длина вектора скорости, м/с;

$\bar{u}_{cp} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z \sqrt{\bar{u}_{li}^2 + \bar{u}_{ri}^2}$  – среднее значение суммарной длины вектора скорости, м/с;

$\bar{u}_{li}, \bar{u}_{ri}$  – осредненные по Рейнольдсу значения составляющих вектора скорости для  $i$ -го узла конечно-элементной расчетной модели, м/с;

$l$  – текущее значение уровня жидкости в аппарате, м;

$r$  – текущее значение радиуса аппарата, м;

$z$  – общее число узлов конечно-элементной расчетной модели.

В случаях, когда локальные задачи полностью независимы друг от друга, например задачи  $VA_j, j = 1, \dots, J$ , их следует решать с применением технологий параллельных вычислений [8].

**4. Принцип проектируемости** – формирования и предварительной проверки выполнения условий разрешимости задач проектирования (чаще всего, необходимых).

Например, комплекс условий существования решений задачи  $RF$  и задач  $VA_j$ , используемый для определения прогнозных значений  $n_{ij}, r_{ij}, p_{ij}, i = \overline{1, I}, j \in J_i$ , необходимых для первоначального решения задачи  $RF$ , включает:

- условие возможности обработки партий каждого из продуктов в основных аппаратах всех стадий ХТС

$$\min_{j=1,\dots,J} (w_{ij}) \leq \max_{j=1,\dots,J} (w_{ij}), \quad i = 1, \dots, I, \quad (4)$$

где  $w_{ij}$  – возможные значения размера партии  $i$ -го продукта при их обработке в аппаратах стадии  $j$ , определяемые по результатам вычислений нижних ( $X_j^{\min}$ ) и верхних ( $X_j^{\max}$ ) оценок определяющих размеров основных аппаратов стадий ХТС и верхних оценок длительностей переработки партий продуктов ( $\tau_{ij}^*$ ) на стадиях  $j \in J_{s_i}$ ;

- условие существования хотя бы одного основного аппарата, размер которого позволяет обрабатывать партии всех продуктов, для каждой из стадий ХТС

$$[X_j^L, X_j^U] \cap XS_j \neq \emptyset, \quad j = \overline{1, J}, \quad (5)$$

где  $X_j^L, X_j^U$  – минимальное и максимальное допустимые значения определяющего размера основных аппаратов стадии  $j$ , вычисленные с использованием значений  $w_i^{\min} = \min_{j=1,\dots,J} (w_{ij})$  и  $w_i^{\max} = \max_{j=1,\dots,J} (w_{ij})$ ,

$XS_j$  – множества размеров стандартных основных аппаратов, пригодных для установки на стадиях ХТС (формируются предварительно на основе каталогов оборудования и прайс-листов, сведений о резервном оборудовании действующего производства);

- условие обеспечения требуемой производительности ХТС

$$\sum_{i=1}^I \frac{Q_i \cdot Tc_{*i}}{\max_{j=1,\dots,J} (w_{ij})} \leq T_p, \quad (6)$$

т.е. возможности выпуска всех продуктов в объемах  $Q_i$  за время  $T_p$ .

К числу условий разрешимости задачи оптимизации конструкции и режима функционирования механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата можно отнести:

- ограничение на значение отношения внутреннего диаметра аппарата к диаметру мешалки

$$Gd_* \leq \frac{D_r}{D_m} \leq Gd^*, \quad (7)$$

где интервал допустимых значений  $[Gd_*, Gd^*]$  определяется типом мешалки, например для двухлопастной  $Gd_* = 1.5, Gd^* = 2.5$ ;

- ограничение на мощность привода аппарата

$$P_{дв} \leq 1.1 \cdot P_{max}, \quad (8)$$

где  $P_{max}$  – допустимое значение мощности, при котором на каждый м<sup>3</sup> объема аппарата приходится 1кВт мощности двигателя МПУ (из практического опыта эксплуатации вертикальных емкостных аппаратов)

Таким образом, при автоматизированном проектировании технологического оборудования многоассортиментных химических производств рекомендуется руководствоваться принципами декомпозиции общей задачи проектирования, моделирования проектных решений с ориентацией на формирования полей определяемых параметров, оптимальности проектных решений и проектируемости. Их

применение обеспечило успешное выполнение следующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ:

- разработка методики определения аппаратурного оформления химико-технологических систем многоассортиментных химических производств и ее применение для расчетов оборудования промышленных производств синтетических красителей и полупродуктов по заказам АО «Пигмент», г. Тамбов;

- разработка методики определения конструкции и режима функционирования систем нагрева гидравлических прессов для термообработки резинотехнических изделий, изделий из пластмасс, металлов и сплавов, основанной на компьютерном моделировании процессов разогрева, стабилизации температуры и охлаждения нагревательных плит и изделий с применением системы конечно-элементного анализа ANSYS, и ее использование для реализации проектов АО «Завод Тамбовполимермаш».

#### Список использованных источников

1. Малыгин, Е.Н. Методология автоматизированного проектирования технических систем с изменяемым ассортиментом продукции / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин // Вестник Тамбовского ГТУ. – 2008. – Т.14, №4. – с. 778-788.

2. Parageorgaki, S. Optimal Design of Multipurpose Batch Processes. 2. A Decomposition Solution Strategy / S. Parageorgaki, G.V. Reklaitis // Ind. & Eng. Chem. Res. – 1990. – V. 29. – pp. 2062-2073.

3. Декомпозиционный алгоритм оптимизации многопродуктовых химико-технологических систем / Л.С. Гордеев, В.В. Макаров, Ю.В. Сбоева и др. // Программные продукты и системы. – 1997. – № 1. – с. 2-10.

4. Pinto, T. Decomposition Based Algorithm for the Design and Scheduling of Multipurpose Batch Plants / T. Pinto, A. Barbósa-Póvoa, A. Novais // Poster papers of 16th European Symp. on Computer Aided Process Engineering. – Garmisch-Partenkirchen, Germany. – 2006. – pp. 1051-1056.

5. Мартьянов, Е.И. Оптимизация процесса перемешивания жидкости в вертикальных емкостных аппаратах с механическими перемешивающими устройствами / Е.И. Мартьянов, С.В. Карпушкин // Вестник Тамбовского ГТУ. – 2023. – Т. 29. № 2. – с. 280-293.

6. Open FOAM – открытая интегрируемая платформа для численного моделирования задач механики сплошных сред [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fsweb.info/caesad/openfoam.html>. (Дата обращения: 10.03.2024).

7. Карпушкин, С.В. Методика оценки эффективности аппаратурного оформления химико-технологических систем многоассортиментного производства / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 5. – с. 96-106.

8. Борисенко, А.Б. Применение OpenMP для оптимального выбора аппаратурного оформления многоассортиментных производств / А.Б. Борисенко, С.В. Карпушкин // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20, № 4. – с. 17-28.

УДК 624.396

**Каштанов В.В.<sup>1</sup>, Немтинов В.А.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: slavakashtanov302@gmail.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ  
БПЛА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОСТАВЕ «РОЯ» ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИХ В  
СРЕДЕ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ РАДИОПОМЕХ**

**Kashtanov V.V.<sup>1</sup>, Nemtinov V.A.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: slavakashtanov302@gmail.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE STABILITY OF  
UAV SYSTEMS USED AS PART OF THE "SWARM" WHEN USING THEM IN AN  
ENVIRONMENT OF DELIBERATE RADIO INTERFERENCE**

*Аннотация.* Большое распространение беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) в современном мире приводит к их повсеместному внедрению во все аспекты жизни. Один из основных видов применения БПЛА на данный момент являются беспилотники военного и двойного назначения. Но простое наращивание масштабов применения БПЛА влечет за собой одну из проблем, которая серьезно влияет на перспективы применения этих средств. В статье описаны основные проблемы применения БПЛА в современном боевом пространстве, метод организации БПЛА в виде роя, модели топологии сети роя БПЛА и их анализ.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, БПЛА, квадрокоптер, рой, дрон.

*Abstract.* The widespread use of unmanned aerial vehicles (hereinafter – UAVs) in the modern world leads to their widespread introduction into all aspects of life. One of the main uses of UAVs at the moment are military and dual-use drones. But simply scaling up the use of UAVs entails one of the problems that seriously affects the prospects for the use of these tools. The article describes the main problems of using UAVs in modern combat space, the method of organizing UAVs in the form of a swarm, models of the topology of the UAV swarm network and their analysis.

*Keywords:* unmanned aerial vehicle, UAV, quadcopter, swarm, drone.

Опыт боевых действий последних лет показывает, что беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся важным средством выполнения специальных задач. Они делятся на неуправляемые, дистанционно пилотируемые и автономные. В военной сфере распространены дистанционно-пилотируемые аппараты, способные выполнять



задачи автономно. Несмотря на небольшие размеры, 95% всех БПЛА являются малоразмерными, что свидетельствует об их востребованности.

Однако увеличение масштабов применения БПЛА вызывает проблемы. Каждый БПЛА – это сложная система, включающая аппаратуру разведки, передачи данных и иногда средства поражения. Эти системы уникальны и требуют отдельных систем управления. При этом практически не происходит взаимодействия между системами управления разными БПЛА, что усложняет координацию их действий. Еще одной проблемой, стоящей на пути применения малоразмерных БПЛА, являются сложности в обеспечении радиосвязи с операторским пультом управления. Малые размеры накладывают существенные ограничения на запас бортового энергоресурса, большая часть которого предназначена для обеспечения движения, и лишь небольшая часть энергоресурса может использоваться приемопередающей аппаратурой. Таким образом, мощность радиопередатчиков сильно ограничена. Небольшие размеры БПЛА также ограничивают размеры антенн.

Для решения проблем использования большого количества БПЛА и обеспечения ограниченной радиосвязи с операторским пультом можно применить методы роевого интеллекта. В группе БПЛА каждый аппарат взаимодействует только с ближайшими соседями, что снижает дальность связи и энергозатраты. БПЛА принимают решения на основе самостоятельно собранных данных и информации от соседних аппаратов. Энергозатратная связь с центральным устройством управления осуществляется редко и не всеми аппаратами для получения задач и передачи отчетов о состоянии группы и выполнении задач.

Организация связи в сети роя БПЛА — важная задача. Адаптация компьютерных сетей включает топологии «Звезда», «Кольцо» и «Полносвязная сеть» [1].

Топологии сетей БПЛА делятся на физическую и логическую [1]. Физическая основана на внешнем виде и соединениях устройств, что не критично для роя БПЛА в условиях военного конфликта. Логическая топология определяет передачу информации и виртуальные связи между узлами. Логические пути зависят от каналов передачи данных [8].

Рассмотрим модель информационной сети роя БПЛА, состоящей из пяти БПЛА структурно и функционально не отличающихся между собой. Возможности по передаче и темп выработки информации у данных беспилотников не будут отличаться друг от друга. Исходные параметры приведены в

Таблица 1.

Подавление (поражение) беспилотника в модели будет определяться как функция  $K_\mu$ , которая является независимой от времени и любые два узла могут быть либо связаны между собой, либо нет ( $F_\gamma^{\mu\nu}(t)$  либо, 0 либо 1).

В ходе моделирования производится расчет обобщенной меры по возможности соединения ( $C_m$ ), которая определяется как сумма ценности всех узлов и их связей, измеренных продолжительностями маршрутов и их направленностью. Она выражается как:

$$C_m = \sum_{\mu=0}^{N_T} \sum_{\nu=0}^{N_\mu} \sum_{\gamma=0}^{N_{\mu\nu}} \frac{K_\gamma F_\gamma^{\mu\nu}}{d_\gamma} \quad (1)$$

где  $N_T$  - число узлов в сети,  $N_\mu$  общее количество узлов связанных с узлом  $\mu$ ,  $N_{\mu\nu}$  – общее количество возможных маршрутов от узла  $\mu$  к узлу  $\nu$ ,  $K_\mu$  – способность к связи узла  $\mu$  и  $F_\gamma^{\mu\nu}$  - функция доступности узла  $\mu$  к узлу  $\nu$ ,  $d_\gamma$ - длина маршрута [4].

Таблица 1. Исходные параметры БПЛА

№ п/п	Наименование	Коэффициент возможности по передаче (по умолчанию)	Условный нормированный темп выработки информации (Гц)
1.	БПЛА №1	1	100
2.	БПЛА №2	1	100
3.	БПЛА №3	1	100
4.	БПЛА №4	1	100
5.	БПЛА №5	1	100

Обобщенная мера по возможности соединения является показателем качества сети с точки зрения возможностей по ретрансляции и дублирования каналов связи.

Рассмотрим результаты моделирования логических топологий сети роя БПЛА:

- 1) Звезда;
- 2) Кольцо;
- 3) Полносвязная сеть.

Конфигурация сети «Звезда» (см. табл.1). Один приемник БПЛА, к которому передается информация от всех других окружающих БПЛА. В этой конфигурации предполагается, что БПЛА либо действует автономно в качестве центра для обмена информацией для четырех других БПЛА, или что центральный БПЛА действует полуавтономно, отправляя информацию на наземный пункт управления.

Подавление одного беспилотника роя снижает операционный темп на 35%, но это компенсируется возможностью соединения. Рассмотрен вариант подавления периферийного БПЛА. При выведении центрального БПЛА рой перестает действовать как единая система ( $C_m=0$ ) [4 - 7]. Конфигурация сети «Кольцо» (см. табл.2) соединяет БПЛА через точку-точку, следуя указаниям по часовой или против часовой стрелки.

Анализ показал, что подавление одного беспилотника роя снижает общий операционный темп на 58,42%. Это компенсируется большей уязвимостью перед внешними воздействиями по сравнению с топологией «Звезда».

Конфигурация сети «Полносвязная сеть» (см.табл.3) требует, чтобы каждый БПЛА был связан с каждым другим. Это обеспечивает высокую доступность, но увеличивает административные и физические затраты. Частично полносвязная сеть снижает эти затраты, связывая не все конечные устройства.

Таблица 2. Конфигурации сети «Звезда»

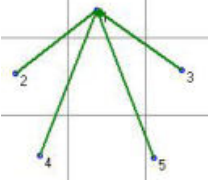
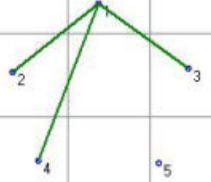
Топология сети роя беспилотников	Число каналов без ретрансляции	Число каналов с одной ретрансляцией	Обобщенная мера по возможности соединения $C_m$
	8	12	14
	6	6	9

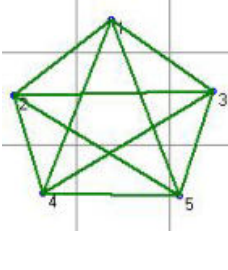
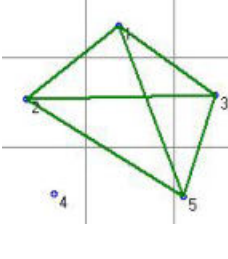
Таблица 3. Конфигурация сети «Кольцо»

Топология сети роя беспилотников	Число каналов без ретрансляции	Число каналов с одной ретрансляцией	Число каналов с двумя ретрансляциями	Число каналов с тремя ретрансляциями	Обобщенная мера по возможности соединения $C_m$
	10	10	10	10	20,83
	6	4	2	0	8,66

Анализ показал, что подавление одного беспилотника роя снижает общий операционный темп на 73%, что является максимальным среди всех топологий. Даже при выведении одного БПЛА, общий темп остается на уровне 32. Полносвязная сеть из пяти элементов с одним выведенным из строя БПЛА эффективнее, чем сеть с любой другой топологией. В рое БПЛА могут проверять уровень сигнала и выбирать лучший путь связи, улучшая свои возможности. Ограничения прямой видимости требуют объединения для увеличения дальности действия [3]. Роевой интеллект в комплексах с БПЛА решает проблемы массового использования, снижает стоимость и время

подготовки, уменьшая количество людей, управляющих "Роем". Полносвязные сети повышают эффективность применения БПЛА.

Таблица 4. Конфигурация сети «Полносвязная сеть»

Топология сети роя беспилотников	Число каналов без ретрансляции	Число каналов с одной ретрансляцией	Число каналов с двумя ретрансляциями	Число каналов с тремя ретрансляциями	Обобщенная мера по возможности соединения $C_m$
	10	60	120	120	120
	12	24	24	0	32

Список использованных источников

1. Joseph D. Foster. Swarming unmanned aerial vehicles (UAVS): extending marine aviation ground task force communications using uavs / Joseph D. Foster // naval postgraduate school. – 2014. – №1 – С. 31-36.
2. Andrew Ilachinski. AI, Robots, and Swarms Issues, Questions, and Recommended Studies / Andrew Ilachinski // Andrew Ilachinski – Washington, 2017. – С. 108-109.
3. You-Quan Chen. Simulation of network-enabled electronic warfare metrics to assess the value of networking in a general information and radar topology / You-Quan Chen // You-Quan Chen – naval postgraduate school. – 2007. – С. 31-36.
4. Каштанов, В. В. Концепция масштабируемой транковой сети с использованием БПЛА и технологии роевого интеллекта / В. В. Каштанов, Я. И. Косогор, В. А. Немтинов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 12–14 октября 2021 года. Том Выпуск 7. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2021. – С. 240-243. – EDN VMGUSN.
5. Каштанов, В. В. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности / В. В. Каштанов, В. А. Немтинов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2022. – Т. 28, № 4. – С. 606-614. – DOI 10.17277/vestnik.2022.04.pp.606-614. – EDN FNTDNM.

6. Каштанов, В. В. Обеспечение связи с использованием беспилотных летательных аппаратов малой дальности / В. В. Каштанов, В. А. Немтинов // Моделирование энергоинформационных процессов, Воронеж, 26–28 декабря 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 22-28. – EDN TZLNWV.

7. Каштанов, В. В. Построение виртуальной модели управления беспилотным летательным аппаратом на основе концепции Интернет-вещей / В. В. Каштанов, В. А. Немтинов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 24–25 октября 2023 года. Том Выпуск 9. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 11-15. – EDN QOIHED.

8. Хромов, А. М. Использование современных методов шифрования для защиты канала управления беспилотным летательным аппаратом / А. М. Хромов, В. В. Попов, В. В. Каштанов // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения : сборник материалов и докладов XVI межрегиональная научно-практическая конференция, Брянск, 29 апреля 2024 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2024. – С. 278-282. – EDN SDJJAQ.

УДК 62-29

**Пойманова О.В.<sup>1</sup>, Карпов С.В.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: olgatambov1978@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: Karpov.SV@mail.tstu.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

**Рoуmanova O.V.<sup>1</sup>, Karpov S.V.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: olgatambov1978@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: Karpov.SV@mail.tstu.ru

## **AN APPLICATION OF 3D SCANNING FOR CONTROL OF CUTTING TOOLS FOR CNC MACHINES**

*Аннотация.* В статье затронута тема контроля режущего инструмента для станков с ЧПУ. Предлагается методика контроля с использованием 3D-сканирования. Описывается процесс сканирования с использованием оптического 3D-сканера.

*Ключевые слова:* режущий инструмент, станки с ЧПУ, метчик, 3D-сканер, полигональная модель.

*Abstract.* The topic of the is controlling of cutting tools for CNC machines. A control technique using 3D scanning has proposed. The scanning process using an optical 3D scanner is described.

*Keywords:* cutting tools, CNC machines, 3D scanner, tap, polygonal model.

Изготовление изделий из металла по готовым чертежам заказчика требует тщательного планирования и выполнения всех стадий производственного процесса. Одним из важнейших этапов производственного процесса является выбор режущего инструмента и определение параметров резания при обработке с ЧПУ. Режущие инструменты - это прецизионные инструменты, предназначенные для выполнения конкретных операций обработки (токарная обработка, фрезерование, сверление, растачивание, шлифование и т.д.) [1]. Контроль состояния режущего инструмента является важной задачей при работе станков с ЧПУ. Чрезмерный износ режущего инструмента создает следующие дефекты обработки деталей на станках с ЧПУ:

- повышенное трение и нагрев детали и инструмента из-за наличия «плоской»

режущей кромки;

- значительные отклонения от заданных размеров обрабатываемых деталей, и, как следствие, рост количества бракованной продукции;

- снижение качества обработки поверхности изготавливаемых деталей – появление царапин, неровностей и т.д. [2].

Несвоевременный и недолжный контроль за режущим инструментом может привести к увеличению производственных затрат на приобретение нового инструмента, а это увеличивает стоимость и время производства и, как следствие, срыв срока сдачи изделий заказчику. В связи с этим контроль износа инструмента при обработке с ЧПУ является актуальной задачей.

Существуют методы активного контроля состояния режущего инструмента: прямые (радиоактивный, оптический, пневматический, электромеханический, ультразвуковой) и косвенные [1]. Вместе с тем, существуют высокоточные методы контроля геометрических размеров, например, 3D-сканирование [3]. Перспективность этого метода объясняется высокой точностью, скоростью и детализацией объекта. Например, современные оптические сканеры имеют точность сканирования в автоматическом и стационарном режимах около 0,05 мм на 1 снимок и разрешение - 0,25 мм. При использовании оборудования метрологического класса, например, 3D сканера RangeVision Pro 2, точность возрастает до 0,02 мм.

Рассмотрим алгоритм 3D сканирования на примере метчика M10x1,5 P6M5 ГОСТ 3266-81 при помощи сканера EinScan Pro 2X Plus.

1. Материал объекта сталь, имеет глянцевую поверхность. Поэтому для устранения бликов предварительно наносили матирующий спрей.

2. Проводили 3D-сканирование нового режущего инструмента в стационарном режиме с поворотным столом. Полученное облако точек преобразуется в полигональную модель на основе треугольной сетки, которая в последствии подвергается процедурам оптимизации (сглаживание), упрощения (уменьшение числа полигонов) и редактирование (заполнение полостей стеки).

На рис.1 представлена полученная полигональная модель метчика.

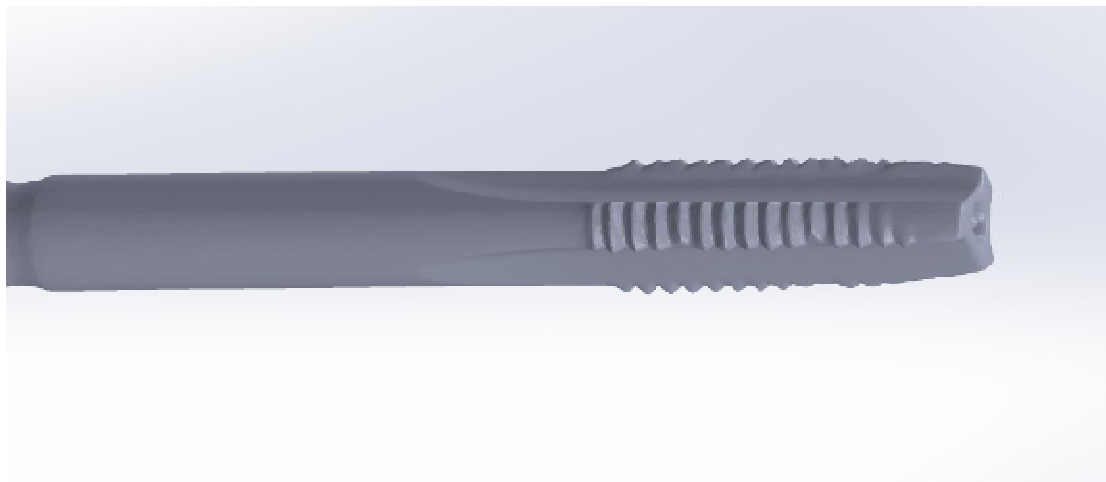


Рис.1. Полученная полигональная модель метчика M10x1,5 P6M5

Анализ цифровой копии метчика, проведённый в системе автоматизированного проектирования SolidWorks, позволяет сделать вывод, что образец соответствует номинальным значениям, указанным в ГОСТ 16925-93 «Метчики. Допуски на изготовление резьбовой части».

3. Далее модель была сохранена в формате. stl в электронной библиотеке 3D-объектов.

4. Впоследствии данная модель будет использована для анализа интенсивности износа режущего инструмента, путем повторного сканирования использованного метчика.

Таким образом, можно сделать вывод, что 3D-сканирование целесообразно применять для оперативного высокоточного контроля геометрических размеров режущего инструмента. Это позволяет повысить скорость контроля, а также оценить динамику износа инструмента и обеспечить поддержку принятия решений о целесообразности его дальнейшего использования. Последующее развитие этого метода позволит повысить нормативные показатели качества и значительно улучшить эффективность производства [4].

#### Список использованных источников

1. Фельдштейн, Е.Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ : учебник / Е. Э. Фельдштейн. – 2-е изд. перераб. и доп. – Минск : Высшая школа, 1998. – 189 с.
2. Ковеня, В.М. Методы и средства контроля состояния режущего инструмента / В. М. Ковеня, В. В. Шевченко // Новые направления развития приборостроения: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 15–17 апреля 2020 г.) : электронный ресурс. – Минск, 2020. – С. 13-15.
3. Иванов, В.С. Разработка инновационных методов контроля и измерения геометрических параметров режущих инструментов / В. С. Иванов // Техника и технология современных производств: сб. тр. IV Всероссийской науч.-практич. конф. - Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 155-158.
4. Порядина, Т.Д. Эффективность цифровых инструментов проектирования технологической оснастки для изготовления узлов и деталей козловых кранов / Т. Д. Порядина [ и др.] // Вестник Вологод. гос. ун-та. Технические науки. – 2021. – № 1 – С. 122-126.



УДК 675.92.028.2

**Скоморохова А. И., Глебов А. О.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: nasta373@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВОЙ ПРОБКИ**

**Skomorokhova A. I., Glebov A. O.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: nasta373@mail.ru

## **SIMULATION OF THE RUBBER CORK VULCANIZATION PROCESS**

*Аннотация.* В статье представлен результат теоретического расчета процесса вулканизации толстостенного резинового изделия на примере пробки. Разработан программный модуль для системы конечно-элементного анализа ANSYS 2019 R2, позволяющий оценить изменение степени вулканизации и температур в выбранной области вулканизируемой резиновой смеси.

*Ключевые слова:* резинотехнические изделия, степень вулканизации, кинетика, моделирование.

*Abstract.* The article presents the result of a theoretical calculation of the vulcanization process of a thick-walled rubber product using a cork as an example. A software module has been developed for the ANSYS 2019 R2 finite element analysis system, which allows one to evaluate the change in the state of cure and temperatures in a selected area of the vulcanized rubber mixture.

*Keywords:* rubber products, state of cure, kinetics, modeling.

Совершенствование процессов производства изделий различного назначения является важной задачей для развития отечественной промышленности [1]. В данной работе рассматривается вопрос моделирования кинетики процесса вулканизации толстостенных резинотехнических изделий на примере пробки с целью дальнейшего подбора оптимальных режимных параметров.

Алгоритм разработанного программного модуля для системы конечно-элементного анализа ANSYS 2019 R2 описан в статье [2]. Данная программа позволяет получить данные об изменении степени вулканизации и температуры по всему объему изделия. Затем на основе полученных данных подбираются температурные режимы вулканизации и время выдержки резиновой смеси в пресс-форме.

На рис. 1 представлены поля степени вулканизации рассматриваемой пробки в моменты времени 1000 с, 1250 с и 2500 с. Нагрев резиновой смеси осуществлялся с температурным полем, линейно меняющимся от 180°C сверху изделия до 160°C внизу изделия.

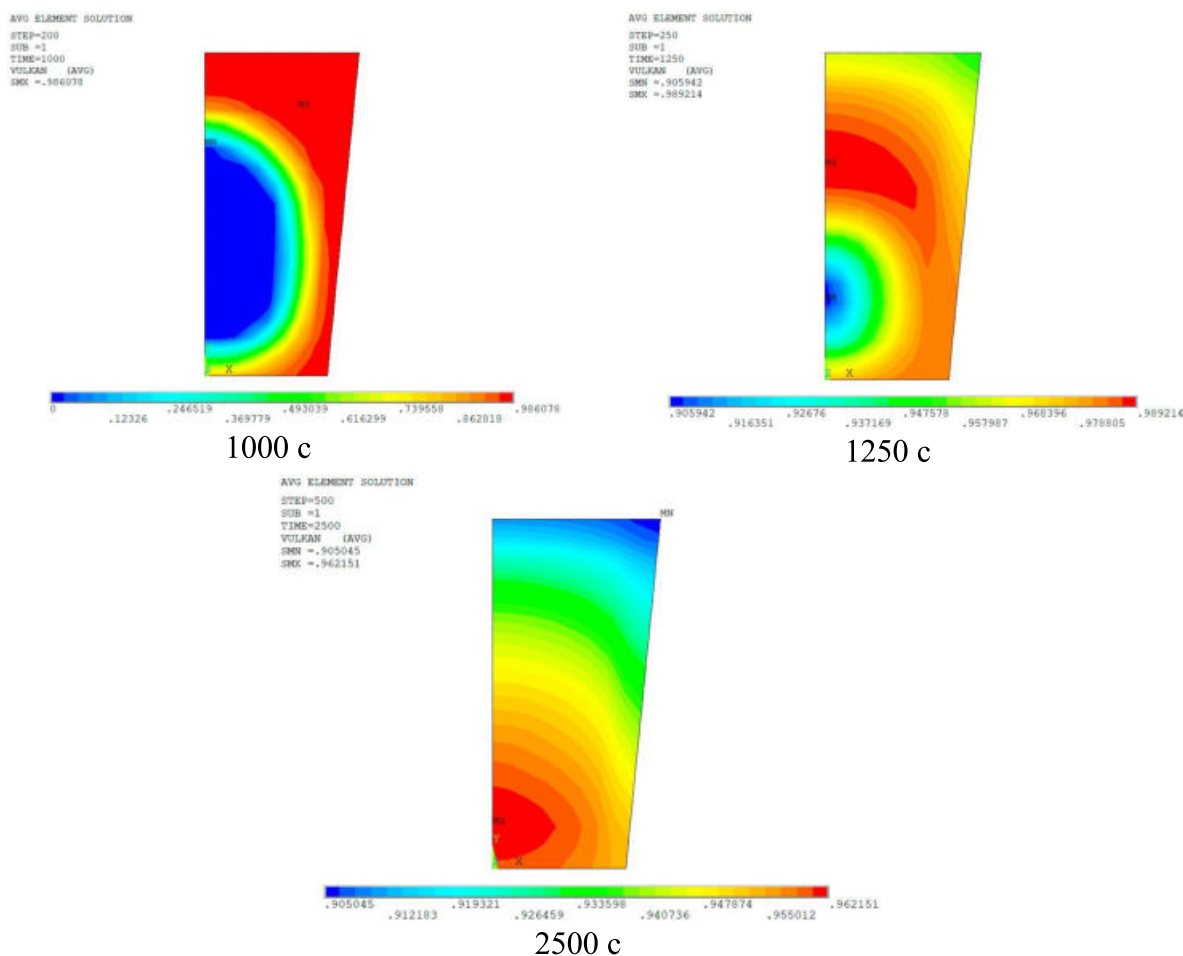


Рис. 1. Поле степени вулканизации пробки

Представленные на рис. 1 поля степени вулканизации позволяют оценить время начала процесса вулканизации и скорость протекания реакции. Кроме того, для времени 2500 с видно, что вверху изделия уже началась реверсия, так как степень вулканизации здесь меньше, чем в других областях.

Теоретическое исследование процесса вулканизации значительно сокращает затраты времени, энергии и материалов на производство новой продукции. Это возможно за счет уменьшения количества физических испытаний по определению оптимальных режимных параметров. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение изменения степени вулканизации резиновых смесей, используемых на отечественных предприятиях.

#### Список использованных источников

1. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с.
2. Skomorokhova, A. I. Effect of Heat Generated in Rubber Compound Vulcanization on the Reaction Kinetics: a Numerical Study / A. I. Skomorokhova, A. O. Glebov // Russ. J. Appl. Chem., 2023. – Vol. 96. – № 7. – P. 757–761.

УДК 004.9

**Обухов А.Д., Волков А.А., Круглов В.С.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: obuhov.art@gmail.com

## **СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОПОРНО - ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

**Obukhov A.D., Volkov A.A., Kruglov V.S.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: obuhov.art@gmail.com

### **A STRUCTURAL MODEL OF THE MUSCULOSKELETAL REHABILITATION SYSTEM WITH BIOFEEDBACK**

*Аннотация.* Рассматривается структурная модель системы опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью, а также интеграцией технологий виртуальной реальности для обеспечения полного погружения в процесс реабилитации. Представлено описание функциональности основных подсистем и компонентов.

*Ключевые слова:* опорно-двигательная реабилитация, виртуальная реальность, биологическая обратная связь, структурная модель.

*Abstract.* A structural model of a system of musculoskeletal rehabilitation with biofeedback, as well as the integration of virtual reality technologies to ensure full immersion in the rehabilitation process, is considered. A description of the functionality of the main subsystems and components is presented.

*Keywords:* musculoskeletal rehabilitation, virtual reality, biofeedback, structural model.

Опорно-двигательная реабилитация (ОДР) является ключевым компонентом восстановления после травм, операций или заболеваний, влияющих на функцию мышечной и скелетной систем. Интеграция биологической обратной связи (БОС) в системы ОДР позволит осуществить сбор и анализ информации о физиологических параметрах в реальном времени для мониторинга и контроля процесса восстановления. Другим перспективным направлением является использование технологий виртуальной реальности для абстрагирования от процесса реабилитации и погружения в мотивирующую обстановку [1].

Для разработки подобного класса систем необходимо осуществить формализацию основных ее компонентов, выбор которых выполняется путем анализа функциональных требований.

Среди таких требований, учитывая необходимость в комплексном анализе состояния человека, выступают: необходимость отслеживания биологических сигналов и сбора данных о мозговой активности, мышечной активности и других физиологических параметрах пользователя; обработка и анализ данных; информирование о текущем состоянии пользователя и динамике изменения показателей; тесная интеграция с виртуальной реальностью для повышения мотивации и эффективности реабилитации; обеспечение эффекта полного погружения.

Учитывая перечисленные выше требования, осуществим формализацию структурной модели системы ОДР с БОС и интеграцией виртуальной реальности (VR). Данная модель должна включать взаимодействие между аппаратными и программными компонентами, потоки данных и логику обработки информации. Общая структурная модель представлена на рисунке 1.

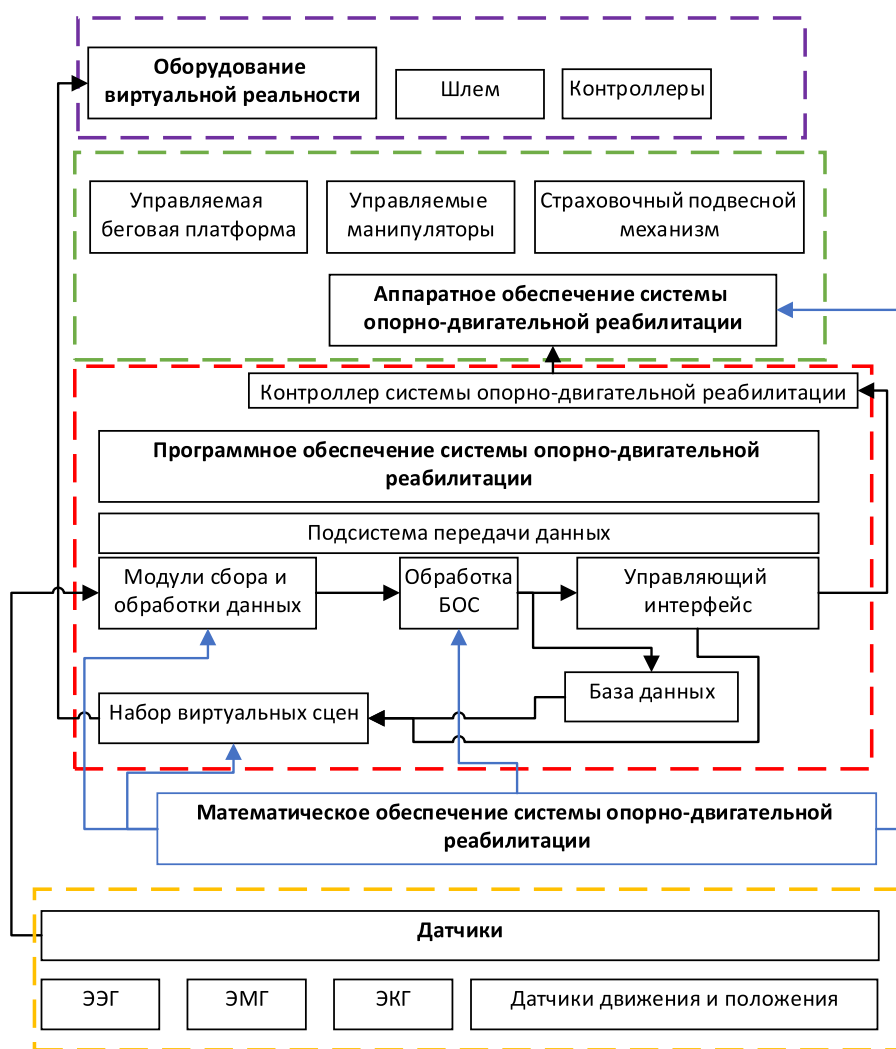


Рис. 1. Общая структурная модель системы ОДР с БОС и VR

Структурная модель системы включает в себя несколько крупных блоков. Первый блок включает набор датчиков для сбора биологических сигналов (ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ и

датчики движения/положения). Собранная здесь информация передается по унифицированному каналу данных в общее программное обеспечение системы ОДР.

Программное обеспечение ОДР осуществляет решение множества ключевых задач, распределенных между отдельными модулями. Так, заданы отдельные модули сбора и обработки данных, направленные на получение разнородных данных от каждого из источников данных, которые принимают пакеты данных и осуществляют их предварительную обработку, например, фильтрацию нижних и верхних частот для удаления высокочастотного шума и дрейфа базовой линии, а также синхронизацию по времени данных от разных датчиков. Данные модули подключены к единой подсистеме сбора и обработки данных. Дополнительно могут быть выполнены преобразования для извлечения признаков, например, амплитудных характеристик, частотных компонент, коэффициентов вейвлет-преобразования и другие параметров.

После формирования подготовленных данных они обрабатываются алгоритмами, входящими в БОС, что включает в том числе интеллектуальный анализ и обработку данных для получения некоторых управляющих сигналов и формирования адаптивных механизмов. В общем виде модуль БОС формирует некоторый вектор параметров, используемый другими подсистемами (виртуальной реальности или аппаратным обеспечением) для принятия решений об изменении параметров уже в рамках этих подсистем. Например, изменения значений вектора в БОС могут напрямую влиять на события или объекты в виртуальной среде, стимулируя пациента к достижению определенных целей или отражая его состояние.

Следующим компонентом программного обеспечения является управляющий интерфейс, который позволяет как в ручном режиме управлять системой ОДР, так и регулировать его на основе данных от БОС. Программное обеспечение интерфейса реализует также функции калибровки, настройки, обработки ошибок, ручного или автоматического управления манипуляторами и подъемником системы ОДР. В состав интерфейса входит также модуль реконструкции траектории движения конечностей, записанных в файлы с использованием различных систем захвата движений, который осуществляет преобразование исходных данных в команды для манипуляторов для полного соответствия траекторий их перемещения исходным движениям человека. В состав интерфейса также входит модуль обмена данными с контроллером системы ОДР по заданному протоколу передачи информации. Контроллер будет рассмотрен ниже.

Важной составляющей программного обеспечения также является набор виртуальных сцен, запускаемых для пользователя в шлеме виртуальной реальности. Пользователь может взаимодействовать со сценой пассивно в виде цифрового аватара, когда его движения просто переносятся в виртуальное пространство для обеспечения эффекта погружения, и активно, с помощью контроллеров, когда нажатия клавиш или движения контроллеров позволяют взаимодействовать с виртуальными объектами. Параметры сцены, заданные для определенных пользователей, могут быть сохранены в базе данных, как и протоколы тренировок с собранными данными от датчиков.

Рассмотрим аппаратное обеспечение системы ОДР, которая в том числе активно взаимодействует с контроллером системы ОДР, непосредственно отвечающим за ее управление. Контроллер системы ОДР является центральным и связующим звеном между интерфейсом и аппаратным обеспечением ОДР. Его построение возможно как на базе существующих систем на чипе (например, ESP32), так и на основе собственных разработок с интеграцией микроконтроллера STM32. Беговая дорожка должна иметь возможность управления со стороны контроллера в различном диапазоне скоростей, в том числе, с адаптацией под текущую скорость человека.

Наконец, структурная модель включает необходимое математическое обеспечение системы ОДР с БОС, применяемой при обработке и интерпретации биологических сигналов, а также для принятия решений. Оно включает следующие составляющие:

- Обработка сигналов от датчиков (ЭЭГ, ЭМГ, ЭКГ, датчики движения) с использованием методов фильтрации (фильтры нижних и верхних частот), процедуры извлечения признаков, формирования вектора параметров для БОС, что используется как теоретическая основа для соответствующего программного обеспечения обработки данных.

- Интеллектуальный анализ данных на основе алгоритмов машинного обучения для решения задач классификации и регрессии для оценки состояния пользователя, включая решение задач адаптации системы под параметры пользователя

- Управление аппаратными компонентами системы, такими как манипуляторы и подъемники на основе моделей кинематики и динамики для обеспечения соответствия между траекториями движения манипуляторов и исходным движениям человека.

- Интеграция с виртуальной реальностью для синхронизации движений пациента с его цифровым аватаром, что обеспечит реалистичное представление и взаимодействие с виртуальными объектами, вовлеченность в реабилитационный процесс.

Математическое обеспечение является основой разрабатываемого программного обеспечения, обеспечивая обработку данных, интеллектуальный анализ и адаптивное управление.

Таким образом, сформированная структура системы ОДР включает необходимое программное, алгоритмическое, математическое и аппаратное обеспечение для организации перемещения нижних конечностей пользователя.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№124032800018-5).*

#### Список использованных источников

1. Examination of the Accuracy of Movement Tracking Systems for Monitoring Exercise for Musculoskeletal Rehabilitation / A. D. Obukhov, A. Volkov, A. N. Pchelintsev [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 19. – P. 8058.

УДК 654.931

**Протасов А.С., Протасова Ю.В., Немтинов В.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: protasov.as@gmail.com

**ПРИНЦИПЫ ТРАНЗАКЦИОННОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
УЧАСТНИКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА КВОТ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

**Protasov A.S., Protasova Yu.V., Nemtinov V.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: protasov.as@gmail.com

**PRINCIPLES OF TRANSACTIONALITY IN THE INTERACTION OF  
PARTICIPANTS IN THE REGIONAL GREENHOUSE GAS QUOTA MARKET**

*Аннотация.* Авторами рассмотрены вопросы решения задачи управления выбросами парниковых газов в масштабе региональной экономике, в частности: предложен набор требований, предъявляемых к региональной системе обмена квотами на выброс парниковых газов. Информационная система, удовлетворяющая этим требованиям и построенная на предложенных авторами принципах, обеспечивает потребности хозяйствующих субъектов в получении дополнительных квот и реализации неиспользованных квот, а также предоставит возможность контролирующим органам прозрачно отслеживать текущую ситуацию с квотами с целью контроля, анализа и регулирования.

*Ключевые слова:* охрана окружающей среды, выбросы парниковых газов, принципы построения информационной системы, рынок квот, требования к транзакциям и транзакционным системам, комплекс программ.

*Abstract.* The authors consider the issues of solving the problem of managing greenhouse gas emissions on the scale of a regional economy, in particular: a set of requirements for a regional system of exchange of quotas for greenhouse gas emissions is proposed. An information system that meets these requirements and is based on the principles proposed by the authors, ensures the needs of business entities in obtaining additional quotas and implementing unused quotas, and also provides an opportunity for regulatory authorities to transparently monitor the current quota situation in order to control, analyze and regulate.

*Keywords:* environmental protection, greenhouse gas emissions, principles of building an information system, quota market, requirements for transactions and transactional systems, a set of programs.

В настоящее время с целью нивелирования негативного влияния хозяйствующих субъектов (ХС) на экологическую ситуацию регионов активно применяется установление квот на выбросы парниковых газов (ПГ) [1 - 3].

С целью недопущения нарушения установленных нормативов ХС используют следующие основные механизмы:

- инвестиции в технологии по извлечению вредных веществ из ПГ,
- приобретение разрешения на выброс ПГ у других ХС, достигших значительного снижения объемов выбросов ПГ и как следствие не использующих весь объем полученных квот.

Однако, перераспределение квот через куплю-продажу между ХС региона в данный момент затруднено ввиду отсутствия сформированной системы купли-продажи, а также недостаточности информационной поддержки по текущей ситуации с квотами на уровне региона [4 - 5].

Для построения эффективно действующей системы, в первую очередь необходимо определить ее основные характеристики. Наиболее подходящим типом системы для данной задачи представляется транзакционная система – система, взаимодействие участников которых представляет собой набор действий, объединенных в транзакции. Транзакцией, в свою очередь, является группа последовательных операций, которая представляет собой логическую неделимую единицу, отвечающую определенным требованиям (см. рис. 1).

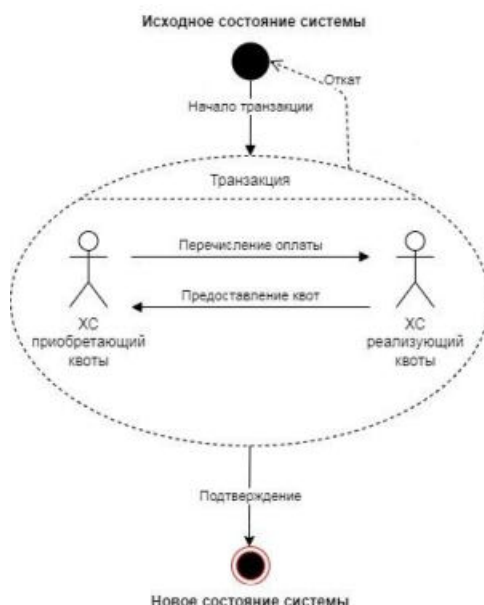


Рис. 1. UML-диаграмма транзакции ХС регионального рынка квот

Одним из наиболее распространённых наборов требований к транзакциям и транзакционным системам является набор ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability), сформулированных Джимом Греем. Рассмотрим, как данный набор требований может быть применен к региональной системе обмена квотами на выброс ПГ.

1. А – atomicity, атомарность. Данное требование гарантирует, что никакая транзакция не может быть выполнена лишь частично. Таким образом, невозможно, например, списание денежных средств со счета одного ХС за получение дополнительных квот, без получения запрошенных квот от соответствующего ХС. В случае, если транзакция по какой-либо причине не будет полностью завершена,



осуществляется ее откат, и система возвращается в исходное состояние на момент начала транзакции.

2. C – consistency, согласованность. В момент начала любой транзакции и после ее завершения система должна находиться в согласованном состоянии – то есть не нарушать существующих установленных для нее требований. Например, после завершения транзакции у ХС не может быть отрицательного объема квот на выброс ПГ. Иными словами, транзакция переводит систему из одного согласованного состояния в другое.

3. I – isolation, изолированность. В случае возможности параллельного выполнения нескольких транзакций, параллельно выполняемые транзакции не должны оказывать результат друг на друга, а также на результат выполнения других транзакций. Существует целый спектр аномалий при совершении параллельных транзакций, и при проектировании региональной системы взаимодействия необходимо принимать их во внимания для предотвращения получения несогласованных данных.

4. D – durability, устойчивость. После получения подтверждения от системы об успешном выполнении транзакции ХС может быть уверен, что результат выполнения транзакции не будет утерян в результате какого-либо сбоя. Например, при временной неработоспособности информационной системы, хранящей результаты обмена квотами, после приведения системы в рабочее состояние, все данные будут доступны в полном объеме.

Система, построенная на указанных выше принципах, обеспечивает потребности ХС в получении дополнительных квот и реализации неиспользованных квот, а также предоставит возможность контролирующим органам прозрачно отслеживать текущую ситуацию с квотами с целью контроля, анализа и регулирования.

#### Список использованных источников

1. Gray, Jim. The Transaction Concept: Virtues and Limitations. Proceedings of the 7th International Conference on Very Large Databases: pages 144—154, 1981
2. Стоцкая, Д.Р. Парниковые газы — глобальная экологическая проблема / Д.Р. Стоцкая, Н.Н. Муратов // Наука через призму времени. 2020. № 11 (44).С. 5—7.
3. В.И., Решетников А.И. Парниковые газы в атмосфере / В.И. Биненко, А.И. Решетников // Региональная экология. 2010. № 3. С. 24—38.
4. Немтинова, Ю. В. Управление квотами на выбросы парниковых газов на пути к декарбонизации экономики / Ю. В. Немтинова, В. А. Немтинов // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 19-23. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-1-19-23.
5. The market for greenhouse gas emissions quotas as an incentive on the way to a low-carbon economy / Y. Nemtinova, K. Nemtinov, V. Nemtinov, A. Protasov // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture : International Scientific and Practical Conference, Saratov, 20–24 октября 2021 года. – London: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012122. – DOI 10.1088/1755-1315/979/1/012122. – EDN RHKAWM.

УДК 621.9.41  
229.3

**Синдеева Е.В.<sup>1</sup>, Витренко В.А.<sup>2</sup>**

Луганский государственный университет им. В.Даля, Россия, г. Луганск

<sup>1</sup>e-mail: lsindeeva78@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: v\_vitr@ukr.net

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА СТАНКА СФ68 И ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕХАНООБРАБОТКИ**

**Sindeyeva E.V.<sup>1</sup>, Vitrenko V. A.<sup>2</sup>**

Lugansk State University named after V.Dal, Russia, Lugansk

<sup>1</sup>e-mail: lsindeeva78@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: v\_vitr@ukr.net

## **ANALYSIS OF THE DESIGN OF THE SPINDLE UNIT OF THE SF68 MACHINE AND STUDY OF WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF MECHANICAL PROCESSING**

*Аннотация.* В данной работе выполнен анализ конструкции фрезерно-сверлильно-расточного станка модели СФ68. Приведены и проанализированы технические характеристика и конструкция шпинделя рассматриваемого станка, который главным образом определяет технологические свойства оборудования и выходные параметры точности и качества механической обработки. Исследованы пути конструктивного совершенствования шпиндельного узла для повышения качества выполняемой на станке СФ68 механической обработки – фрезерования стальных изделий.

*Ключевые слова:* шпиндельный узел, механическая обработка, параметры качества, межопорное расстояние, шарикоподшипник.

*Abstract.* In this paper, the design of the milling-drilling-boring machine model SF68 is analyzed. The technical characteristics and design of the spindle of the machine in question, which mainly determines the technological properties of the equipment and the output parameters of the accuracy and quality of mechanical processing, are presented and analyzed. The ways of constructive improvement of the spindle unit to improve the quality of mechanical processing performed on the SF68 machine - milling of steel products - are studied.

*Keywords:* spindle unit, mechanical processing, quality parameters, inter-support distance, ball bearing.

*Введение.* Одним из ключевых компонентов, оказывающих значительное влияние на точность, качество механической обработки и производительность станка, является

шпиндельный узел [1]. Он входит в состав механической системы, обеспечивающей механическую обработку (формообразование) и, в зависимости от типа станка, удерживает заготовку или инструмент, обеспечивая главное движение в процессе обработки резанием.

Современные формообразующие узлы металлорежущих станков представляют собой замкнутые динамические системы, использующие разнообразную оснастку, входящую в различные комплекты вспомогательного инструмента. Конечная точность и качество изготавливаемых изделий во многом зависит от конструктивных характеристик шпинделя, в т.ч. ее основных размеров: длины консоли, диаметра консоли и др.

Такие унифицированные шпиндельные узлы, находящие широкое применение в различных фрезерно-сверлильно-расточных многооперационных станках, оснащаются системами вспомогательных инструментов, включающими наборы элементов для оправок с конусами Морзе и с конусностью 7:24 размерностью 30, 40, 45, 50 и 60 мм. В каждый из наборов, кроме оправки, закрепляемой в шпинделе станка, входят переходные втулки и патроны для непосредственного крепления инструмента, в том числе:

- оправки для фрез на торцовых или продольных шпонках;
- цанговые патроны для установки стандартных сверл, зенкеров, разверток и фрез, диаметром 20...40 мм, имеющим цилиндрический хвостовик,
- патроны для установки специальных концевых фрез;
- оправки для установки расточных инструментов;
- оправки для расточных головок и др.

Целью данной работы является анализ конструкции шпиндельного узла фрезерно-сверлильно-расточного станка модели СФ68, исследование характеристик и путей совершенствования конструкции для повышения качества механической обработки.

**Изложение основного материала.** Техническая характеристика фрезерно-сверлильно-расточного станка модели СФ68 приведена в таблице 1 [2].

Таблица 1. Техническая характеристика фрезерно-сверлильно-расточного станка модели СФ68

Наименование показателя	Станок СФ68Ф4
1	2
Показатели назначения Показатели заготовки, обрабатываемой на станке Предельные размеры устанавливаемой заготовки, с учетом элементов базирования и крепления, мм не более – длина, мм; – ширина (или диаметр), мм; – высота, мм	1000 500 500
Показатели инструмента, устанавливаемого на станке Конуса горизонтального и вертикального шпинделей по ГОСТ 15945-82	Конус 40

Продолжение таблицы 1

1	2
Пределы частот вращения шпинделя горизонтального и вертикального, об/мин – по оси X, Y, Z, мм/мин – по оси В, об/мин	20...4000 2...3000 0,005...8
Показатели силовой характеристики станка Мощность привода силового движения, кВт Наибольший крутящий момент на планшайбе, кН*м	7,5 0,6
Наибольшее усилие подач по осям X, Y, Z, кН не менее Суммарная мощность устанавливаемых на станке электродвигателей, кВт не более	4 12,6
Показатели габарита и массы станка Габаритные размеры станка (вместе с отдельно расположенными агрегатами и электрооборудованием) мм не более – длина – ширина – высота	2730 3000 2350
Масса станка кг, не более	3050

На рис. 1 приведена конструкция горизонтального шпиндельного узла (ШУ) фрезерно-сверлильно-расточного станка модели СФ68 [8].

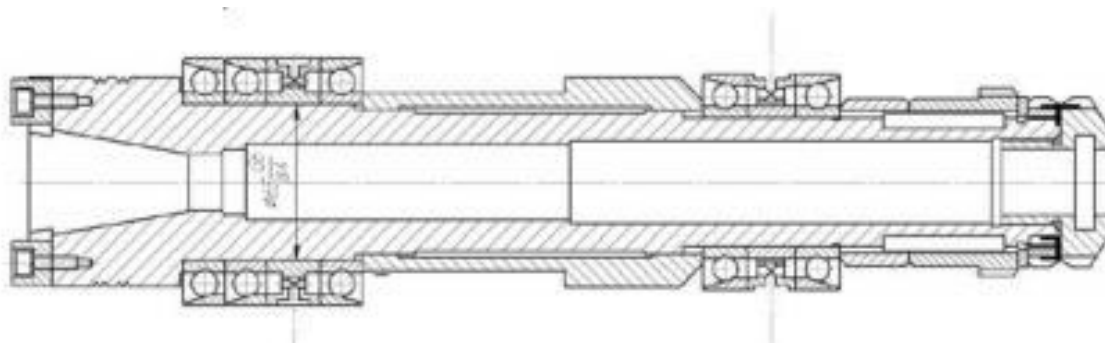


Рис. 1. Горизонтальный шпиндельный узел фрезерно- сверлильно- расточного станка модели СФ68.

Конструктивная схема шпиндельного узла обрабатывающего центра модели СФ68, используемая для расчетов представлена на рис. 2 [8].

У горизонтального шпинделя станка СФ68 есть особенности конструкции – это «распределительный» вал, который обеспечивает передачу движения на горизонтальный шпиндель, с одной стороны, и на вертикальные шпиндели (вертикальная головка, угловая головка и штоссель долбежной головки). Отсюда и его функционирование в различных технологических процессах изготовления: фрезерование, сверление, растачивание, долбление.

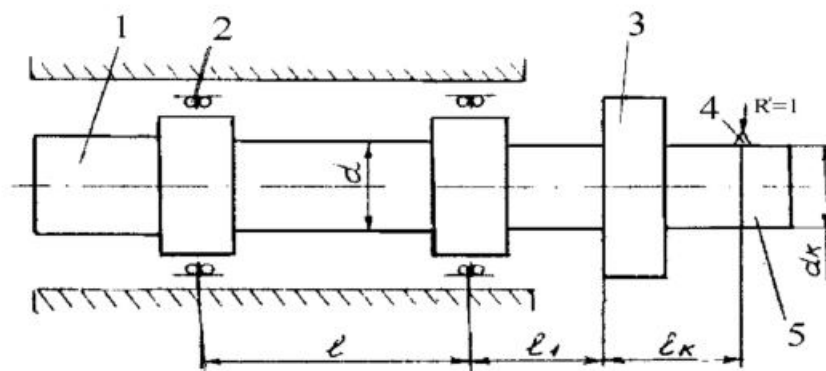


Рис. 2. Конструктивная схема ШУ: 1 – шпиндель; 2 – опора на сдвоенных подшипниках качения с предварительным натягом; 3 – фланец; 4 – режущий инструмент; 5 – консоль (включающая фланец)

Следствием этого являются различные схемы пространственного нагружения, различные динамические процессы. Это все надо учитывать на стадии конструкторской подготовки производства и на этапе расчета шпинделя на прочность, жесткость и виброустойчивость.

Передний конец данного шпинделя изготовлен в форме конуса 40, т.к. данный конус обеспечивает высокую точность центровки инструмента, что важно для соблюдения геометрии обрабатываемой детали и повышения качества обработки. Также данный конус имеет высокую жесткость соединения между шпинделем и инструментом, что позволяет передавать большие силы, возникающие при механической обработке и обеспечивать высокую жесткость режущего инструмента. Это особенно актуально при фрезеровании и сверлении, где нужны надёжные и устойчивые соединения и высокие жёсткости [3, 4, 5].

Горизонтальный шпиндель монтируется на двух опорах:

В передней опоре шпинделя установлены три шариковых радиально-упорных однорядных подшипников 46113 (65x100x18 мм,  $C_0=24500$ ). Направление воспринимаемых нагрузок – радиальное. Допускают регулировку радиального зазора.

В шпиндельном узле, особенно в передней опоре, установка трех шариковых радиально-упорных подшипников обусловлена несколькими важными факторами. Во-первых, такая конфигурация подшипников позволяет обеспечить высокую жесткость узла, что критично при высоких скоростях вращения шпинделя и больших радиальных и осевых нагрузках. Использование трех подшипников способствует равномерному распределению нагрузок, что увеличивает срок службы подшипников и снижает риск их перегрева. Во-вторых, три подшипника обеспечивают лучшую устойчивость к осевым смещениям, которые могут возникать из-за различных факторов, включая деформацию детали, температурные изменения, колебания при работе оборудования [7].

Дополнительно, данная конструкция позволяет уменьшить уровень шумов и вибраций, что важно для обеспечения высокой точности обработки на станках.

В задней опоре установлены сдвоенные радиально-упорные шарикоподшипники 46112 (60x95x18 мм,  $C_0=24500$ ), смонтированные по схеме «Тандем-О». Направление воспринимаемых нагрузок – радиальное и осевое в обе стороны. Комплект подшипников фиксирует вал шпинделя в обоих осевых направлениях.

Установка подшипников по схеме «Тандем-О» обладает рядом значительных достоинств, которые делают её предпочтительным выбором в различных областях машиностроения и промышленности. Во-первых, такая схема обеспечивает более равномерное распределение нагрузки, что способствует повышению долговечности подшипников и снижению их износа. Это особенно важно в условиях высоких механических нагрузок, где надёжность работы оборудования критична. Во-вторых, установка по схеме «Тандем-О» позволяет улучшить динамические характеристики системы. Благодаря оптимальному расположению подшипников, снижается вибрация и шум, что делает работу механизмов более стабильной и комфортной.

Таким образом, в качестве выбранной схемы монтажа подшипников в передней и задней опорах используется схема «Тандем-О», которая характеризуется способностью выдерживать большие осевые и радиальные однонаправленные нагрузки, минимизировать вибрации и податливость шпиндельного узла [10]

Предварительный натяг необходим для уменьшения люфта между элементами подшипника, что, в свою очередь, повышает жесткость конструкции. Для станка СФ68 предварительный натяг реализован разновысотными прокладочными кольцами с возможностью подгонки и регулирования их по величине. Величина предварительного натяга  $F_H$  принята равной 1150 Н, что обеспечивает достаточный уровень жесткости в процессе восприятия радиальной нагрузки и повышение чистоты обрабатываемой поверхности заготовки [9].

График чистоты поверхности заготовки от расстояния подшипниковых узлов на шпинделе станка представлен на рис. 3 [6].

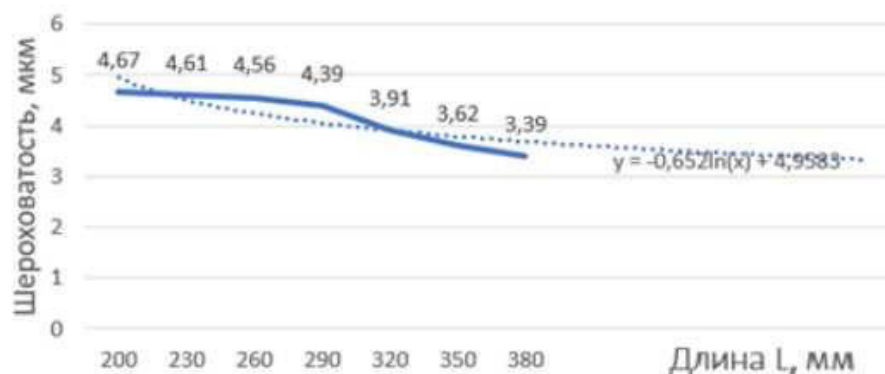


Рис. 3. График зависимости чистоты поверхности от расстояния между опорами шпинделя

Статистически обрабатывая приведённые экспериментальные данные, получаем уравнение зависимости чистоты поверхности от расстояния между опорами подшипников шпинделя станка, которое имеет вид:

$$Y = -0,65 \lg(X) + 4,9583.$$

По полученному уравнению можно спрогнозировать чистоту поверхности заготовки в зависимости от расположения опор в шпинделе.

**Выводы.** 1. Выполнен анализ конструкции шпиндельного узла фрезерно-сверлильно-расточного станка, который показал возможность его модернизации для повышения качества фрезерования.

2. Исследованы направления совершенствования конструкции шпиндельного узла станка для повышения качества обработки, в том числе изменение расстояния между задней и передней опорами шпинделя.

3. Анализ графика зависимости чистоты поверхности от расстояния между опорами показал, что при увеличении расстояния между опорами шероховатость поверхности снижается. Из графика видно, что значение шероховатости поверхности изменилось с 4,67 до 3,39 мкм, т.е. на 1,28 мкм. Качество обработанной поверхности при расстоянии между опорами  $L = 200$  мм, соответствует 5 классу чистоты.

#### Список использованных источников

1. Кочергин, А. И. Шпиндельные узлы с опорами качения: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию металлорежущих станков для студентов машиностроительных специальностей / А.И. Кочергин, Т.В. Василенко. – Мн.: БНТУ, 2007. – 124 с.

2. Станки специализированные, инструментальные фрезерно-сверлильно-расточные модели СФ68. Руководство по эксплуатации.

3. Шестернинов, А.В. Конструирование шпиндельных узлов металлорежущих станков: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, – 96 с.

4. Проектирование и расчет шпиндельных узлов металлорежущих станков: учебное пособие по металлорежущим станкам для студентов специальностей 1201 «Технология машиностроения» и 1202 «Металлорежущие станки и инструменты». /Сост. В. И. Калинин, С. Е. Маскайкина, Н. И. Полуешина. Саранск: Изд-во Морд. Ун-та, 1998. – 41 с.

5. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / Т.М. Аврамова, В.В. Бушуев, Л.Я. иловой и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 1. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.

6. Синдеева, Е. В. Исследование зависимости шероховатости поверхности от расстояния между опорами шпинделя / Е. В. Синдеева, Г. В. Сыровой // X научно-практическая конференция с международным участием «НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ»: Сб. тезисов докладов. – Брянск: БГТУ, 2023. – С. 54-59.

7. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2. Ч. 1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 371 с.

8. Синдеева, Е. В. Решение задачи оптимизации шпиндельного узла методом ЛП-поиска / Е. В. Синдеева, В. А. Витренко, Г. В. Сыровой // Прогрессивные технологии и системы машиностроения, ТГТУ, Донецк, – 2017. – №1(56).

9. Синдеева, Е. В. Моделирование формообразующего узла многооперационного станка / Е. В. Синдеева, И. В. Малков, О. С. Кроль // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Том 22, 2016. – С. 471-480.

10. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных втузов / Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.



УДК 681.7.054.43

**Долженко Ю.С.**

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, г. Луганск  
e-mail: j.sergeevna01@mail.ru

## **МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШПИНДЕЛЕЙ НА ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКАХ**

**Dolzhenko J. S.**

Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
e-mail: j.sergeevna01@mail.ru

## **MULTIPARAMETRIC SYNTHESIS OF SPINDLES ON GAS-STATIC BEARINGS**

*Аннотация.* Рассмотрен многопараметрический синтез шпинделей на газостатических подшипниках для станков механической обработки металлов и монокристаллов. Такие шпиндели позволяют реализовать высокоскоростную и высокопроизводительную обработку материалов, при этом снизить энергетические потери и обеспечить высокую надёжность и долговечность станков. Показана реализация основных этапов многопараметрического синтеза шпинделей, используемые методы при анализе и синтезе, основные полученные результаты.

*Ключевые слова:* многопараметрический синтез, газостатические подшипники, шпиндель.

*Abstract.* The multiparametric synthesis of spindles on gas-static bearings for metal and single crystal machining machines is considered. Such spindles make it possible to realize high-speed and high-performance processing of materials, while reducing energy losses and ensuring high reliability and durability of machines. The implementation of the main stages of the multiparametric synthesis of spindles, the methods used in the analysis and synthesis, and the main results obtained are shown.

*Keywords:* multiparametric synthesis, gas-static bearings, spindle.

*Введение.* Синтез шпинделей на газостатических подшипниках (ГСП) является актуальной задачей современного станкостроения. Это обусловлено тем, что шпиндели на ГСП имеют ряд технических и технологических преимуществ. За счёт исключения твердотельного контакта в подшипниках с газовой смазкой, шпиндели функционируют на максимально высоких частотах вращения, но при этом имеют минимальные потери на трение и фактическое отсутствие износа в опорах. Тем самым обеспечивается высокий уровень надёжности, долговечности опор и всего технологического

оборудования. Если прецизионные шпиндели на высокоскоростных шарикоподшипниках сохраняют параметры точности механической обработки в среднем при наработке до 10...12 тыс. часов и требуют периодически своей замены, то наработка газостатических опор по параметрам точности обработки не ограничена в течение всего периода эксплуатации шпинделя или станка [1-4].

Шпиндели на газостатических подшипниках являются наиболее высокоскоростными в машиностроении и, как правило, прецизионными, работают в самом широком диапазоне температур. В отличие от шарикоподшипников, газостатические опорные системы не требуют внешнего охлаждения на высоких частотах вращения при любой продолжительности функционирования и не нуждаются в дополнительном времени холостого вращения для выхода на рабочий температурный режим [5]. Демпфирующие свойства воздушной смазки обеспечивают виброгашение.

Перечисленные преимущества, наряду с возможностями достижения высоких уровней жёсткости и точности позиционирования валов шпинделя на газостатических подшипниках, создают все условия эффективного применения их для высокоскоростной обработки (ВСО). Она ведётся, в зависимости от технологических условий, на частотах вращения от 15 до 150 тыс. об/мин. При этом высоких значений достигают также скорости резания и подачи. Например, при фрезеровании алюминия используются следующие диапазоны скоростей резания:

- высокопроизводительный режим – 500...2500 м/мин;
- высокоскоростной режим – 2500...7500 м/мин;
- сверхвысокоскоростной – более 7500 м/мин.

Высокоскоростные режимы механической обработки позволяет в 1,5 – 3 раза поднять производительность оборудования при одновременном повышении качества обработки [3, 4]. Использование же шарикоподшипниковых опор на частотах вращения свыше 40000...60000 об/мин является энергозатратным и технически проблематичным, так как в сравнении с газостатическими подшипниками они имеют в 10...15 раз большие потери на трение и требуют интенсивного охлаждения масляным туманом.

**Постановка задачи.** Для реализации перечисленных преимуществ необходимо разработать единую и универсальную методику проектирования – многопараметрический синтез шпинделей на ГСП. Он позволил бы, основываясь лишь на исходных данных технического задания, разрабатывать шпиндели на ГСП с заданными характеристиками для различного технологического оборудования. До настоящего времени данная научно-техническая задача не решена ввиду сложности расчёта газостатической опорной системы, обеспечения статической и динамической устойчивости шпинделя и его опор на высоких (закритических) частотах вращения и переходных режимах.

Разрабатываемый многопараметрический синтез включает в себя структурный и параметрический синтез, определение всех геометрических, силовых и технологических параметров, достаточных для проектирования шпинделя на ГСП. Достоверность результатов синтеза обусловлена параллельным применением двух

независимых теоретических методов – аналитического метода и вычислительного компьютерного эксперимента (ВКЭ) средствами машиностроительных САПР.

**1. Изложение основного материала.** Рассмотрим содержание и основные результаты многопараметрического синтеза. Высокоскоростной шпиндель на газостатических подшипниках является механической и динамической системой, которая для эффективного применения по назначению должна обладать требуемыми параметрами, статическими и динамическими характеристиками. На 80...90 % силовые, кинематические и динамические свойства шпинделя определяются подшипниками, поэтому они должны проектироваться как определяющая составная часть единой динамической системы шпинделя [6, 7, 8].

Многопараметрический синтез является итерационным процессом, при котором заранее заданные (техническим заданием) основные параметры и характеристики разрабатываемого шпинделя исследуются и приводятся в соответствие между собой и искомой конструкцией шпинделя, технологическими и конструктивными параметрами каждой из опор и всего шпинделя [2, 8]. На рис.1 показаны состав и последовательность (схема) многопараметрического синтеза шпинделя на газостатических подшипниках.

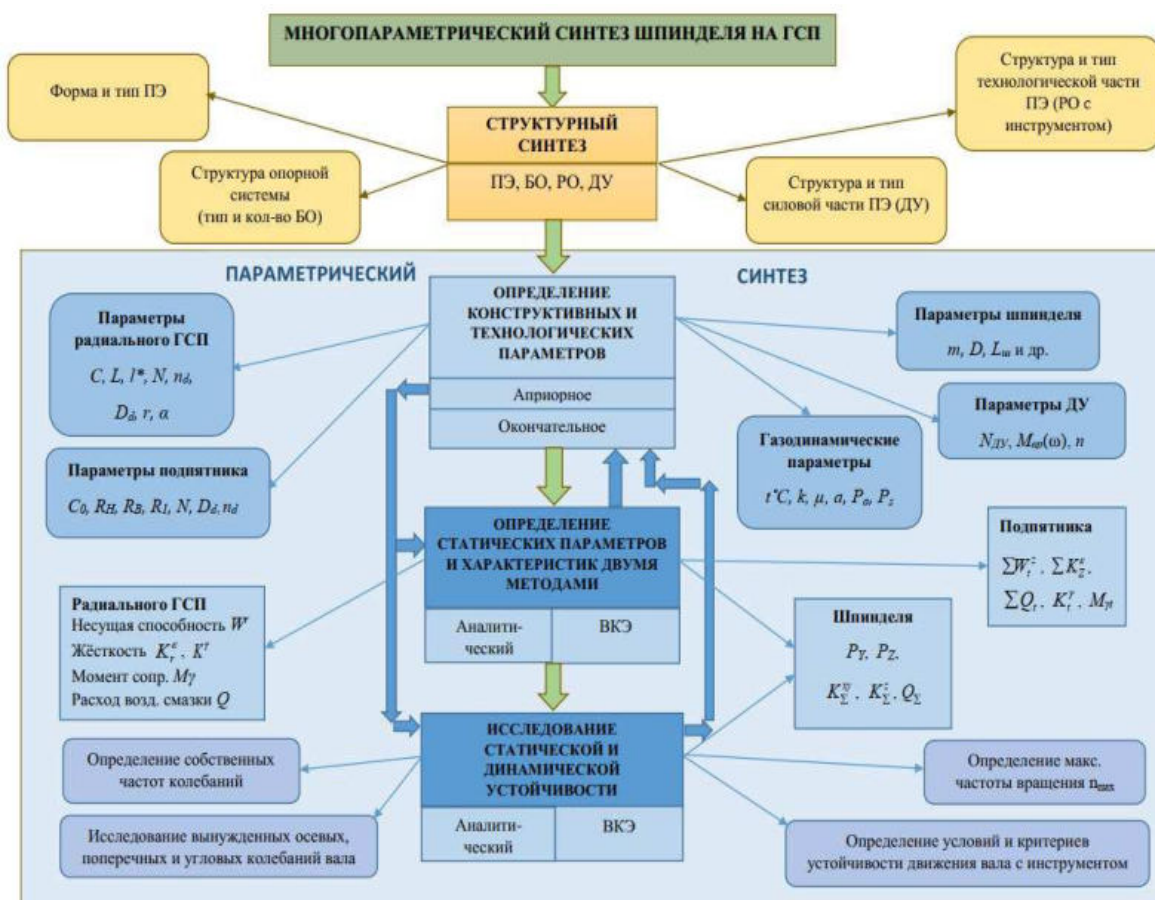


Рис. 1. Многопараметрический синтез шпинделя на ГСП

На первом этапе многопараметрического синтеза выполняется структурный синтез.

Он состоит в определении компоновочной схемы и структурного состава – количества, конструктивного типа и расположения бесконтактных опор (БО), двигательного устройства (ДУ), подвижного элемента (ПЭ), рабочего или исполнительного органа (РО), на котором закрепляется инструмент.

Типовая и наиболее распространённая конструкция шпинделя с двойным газостатическим подпятником и двумя радиальными ГСП показана на рис. 2.

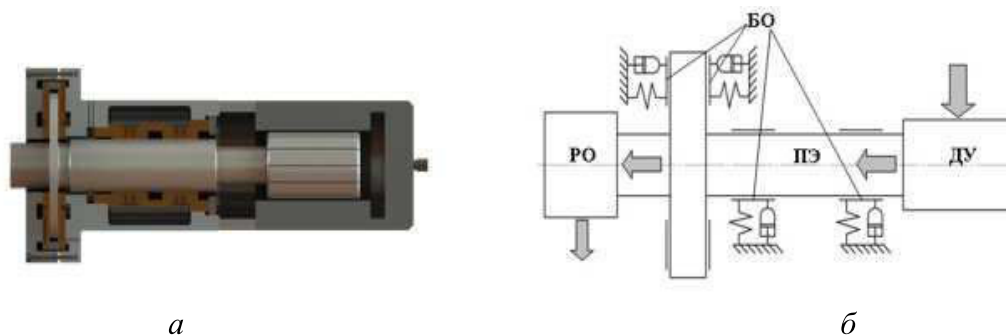


Рис. 2. 3D-модель (а) и структурная схема (б) шпинделя на четырёх ГСП

Конструкция высокоскоростного шпинделя на двух регулируемых конических газостатических подшипниках показана на рис. 3.

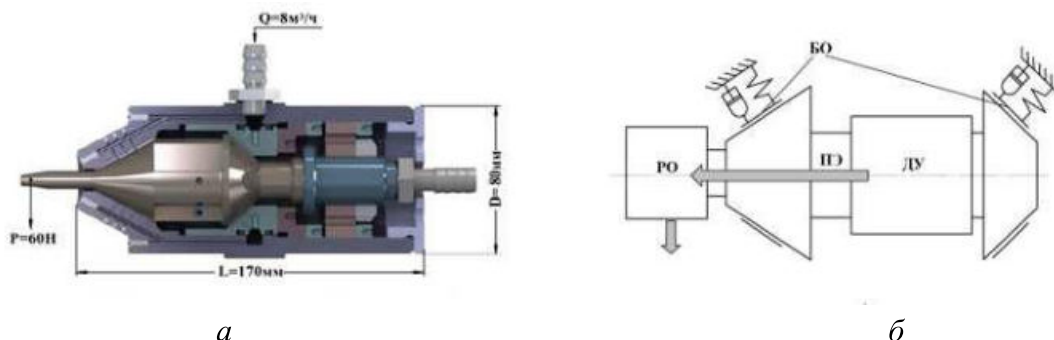


Рис. 3. 3D-модель (а) и структурная схема (б) шпинделя на конических опорах

На втором этапе выполняется параметрический синтез, который состоит из: определения конструктивных и технологических параметров (априорного и окончательного); определения статических параметров и характеристик ГСП двумя методами (аналитическим методом и ВКЭ – методом конечных элементов); исследования статической и динамической устойчивости шпинделя (аналитическим методом и ВКЭ). Аналитическим методом [2, 6, 8] определяются в первом приближении параметры и характеристики ГСП шпинделя:

- радиальная реакция на внешнюю нагрузку и её максимальное значение – несущая способность радиального подшипника  $W^r$ , Н;
- размерная радиальная жёсткость радиального подшипника  $K_r^\varepsilon$ , Н/мкм;
- осевая реакция опоры и её максимальное значение – несущая способность в осевом направлении подпятника  $W_t^z$ , Н;
- размерная или абсолютная осевая жёсткость подпятника  $K_z^\varepsilon$  Н/мкм;

- размерный реактивный момент радиального ГСП от углового перекоса  $M_\gamma$ , Н·м;
- размерная угловая жёсткость радиального подшипника  $K'_\gamma$ , Н·м/град;
- размерный реактивный момент подпятника от перекоса  $M_{\gamma_l}$ , Н·м;
- размерная угловая жёсткость подпятника  $K'_l$ , Н·м/град;
- максимальная частота вращения вала в данных ГСП  $n_{\max}$ , об/мин;
- расход воздушной смазки каждого ГСП и всей опорной системы  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч.

Максимальная частота вращения  $n_{\max}$  определяется условием ламинарного и дозвукового течения воздушной смазки в зазоре, а остальные интегральные характеристики – решением стационарных уравнений Рейнольдса. Для получения приближённого решения уравнений необходимо априорно задать (используя прототипы и накопленный опыт проектирования) следующие конструктивные и технологические параметры:  $R_H, R_B$  – наружный и внутренний радиусы подпятника;  $R_l$  – радиус линии питателей подпятника;  $C_0$  – средний зазор подпятника;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости газовой смазки;  $a_s$  – скорость звука в смазке;  $k$  – показатель адиабаты;  $N$  – число питателей в линии наддува;  $n_d$  – число линий наддува;  $D_d$  – диаметр питателя;  $r$  – радиус радиального ГСП;  $L$  – длина радиального ГСП;  $l^*$  – расстояние между линиями питателей радиального ГСП;  $C$  – средний зазор радиального ГСП;  $p_s$  – давление подачи газовой смазки;  $p_a$  – давление смазки на выходе из зазора;  $\alpha$  – коэффициент, который зависит от конструкции питателей;  $\gamma$  – угол перекоса оси радиального ГСП и подпятника;  $e_r$  – радиальный эксцентриситет ГСП.

Второй метод для определения характеристик – вычислительный компьютерный эксперимент [2, 3, 8]. Его расчётная модель и результаты для шпинделя на регулируемых конических ГСП (см. рис. 3) показаны на рис. 4.

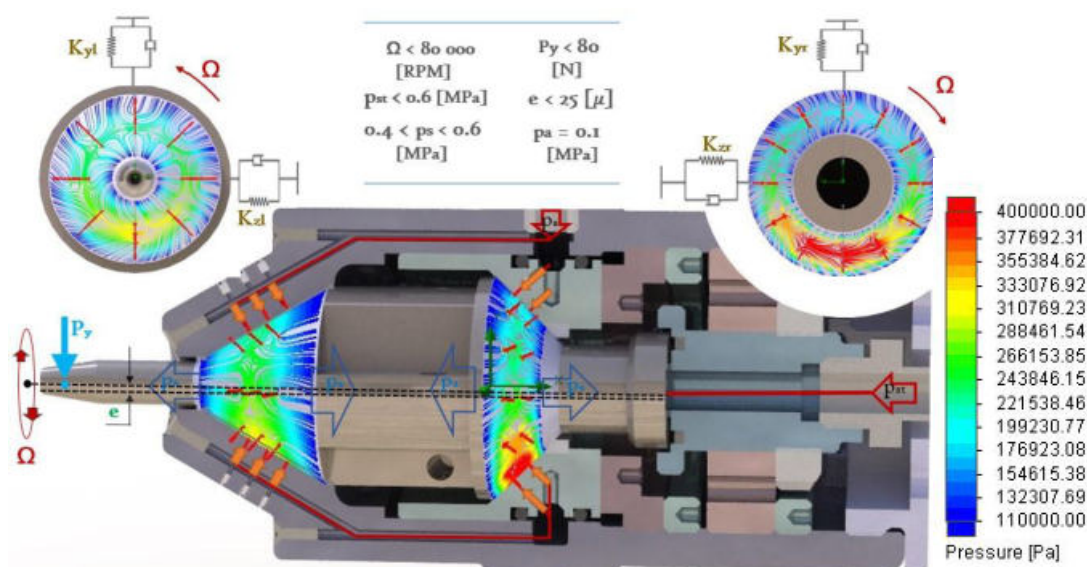


Рис. 4. Вычислительный компьютерный эксперимент по исследованию ГСП

На завершающем этапе многопараметрического синтеза исследуются статическая и динамическая устойчивость шпинделя. Статическая устойчивость шпинделя рассматривается через равновесие его опорной системы в состоянии покоя или на установившемся режиме вращения вала (ротора) при действии на него постоянных внешних нагрузок – радиальной  $P_Y$  и осевой  $P_Z$  сил резания, действующих на концевой участок вала. Силы реакции левого ГСП  $W_{Л}^r$ , правого ГСП  $W_{П}^r$  и подпятника  $W_t^z$ , их реактивные моменты  $M_{\gammaЛ}$ , и  $M_{\gammaП}$ ,  $M_{\gammaт}$  должны уравновесить не только силы резания с силой тяжести вала  $G$ , но и возникающий момент силы  $P_Y Z_p$  (рис. 5.).

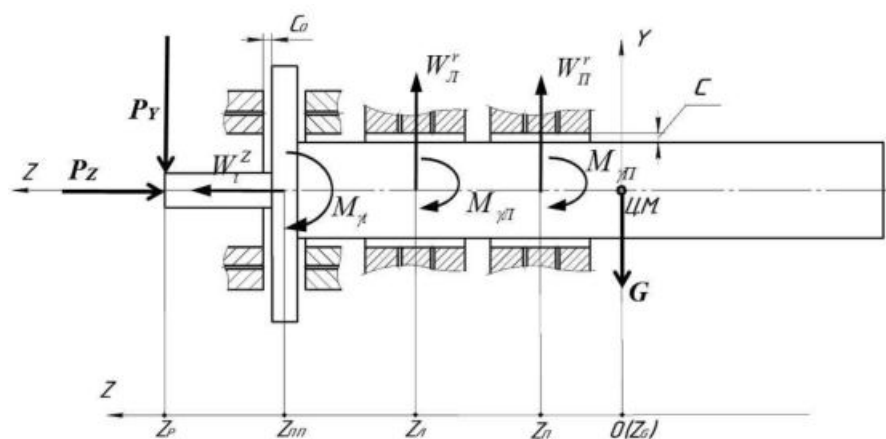


Рис. 5. Расчётная схема статического равновесия вала шпинделя

Механическая система шпинделя будет находится в состоянии статического равновесия, если главный вектор  $F$ , определяемый системой уравнений (1), и главный момент  $M$  (2) будут равны нулю [6, 8].

$$\begin{cases} W_{Л}^Y + W_{П}^Y + P_Y + G = 0; \\ W_{Л}^X + W_{П}^X + P_X = 0; \\ W_t^Z + P_Z = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$P_Y \cdot Z_p - M_{\gammaт} - W_{Л}^Y \cdot Z_Л - M_{\gammaЛ} - W_{П}^Y \cdot Z_П - M_{\gammaП} = 0 \quad (2)$$

Решение системы уравнений (1), (2) в численном виде показано на рис. 6.



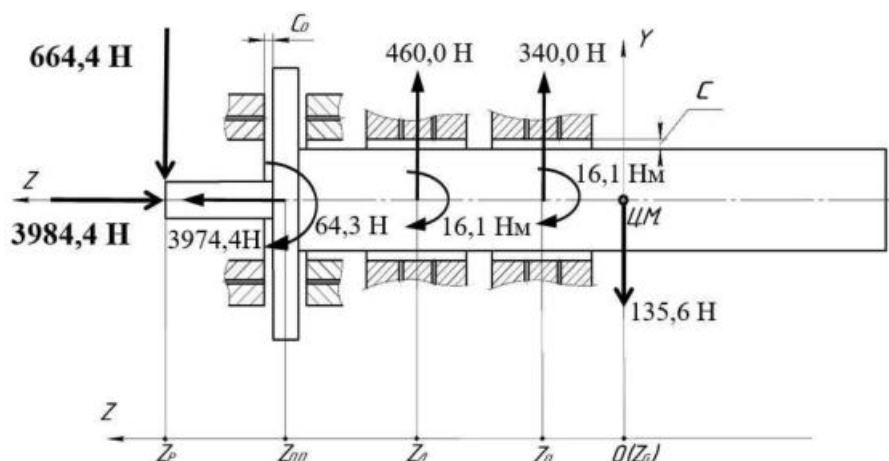


Рис. 6. Статическое равновесие вала при максимальной внешней нагрузке

Для исследования динамической устойчивости [4, 8, 9] средствами САПР были определены собственные частоты колебаний вала (ротора) шпинделя, соответствующие критическим частотам его вращения. Затем в вычислительном компьютерном эксперименте в среде САПР был смоделирован разгон и прохождение ротором с заданным дисбалансом (30 г·мм) резонансной области. На рис. 7 показаны амплитуды наиболее опасных поперечных вынужденных колебаний неуравновешенного ротора шпинделя (см. рис. 2) при разгоне и прохождении им резонансной области, возникающей при достижении частоты вращения 6000 об/мин [4].

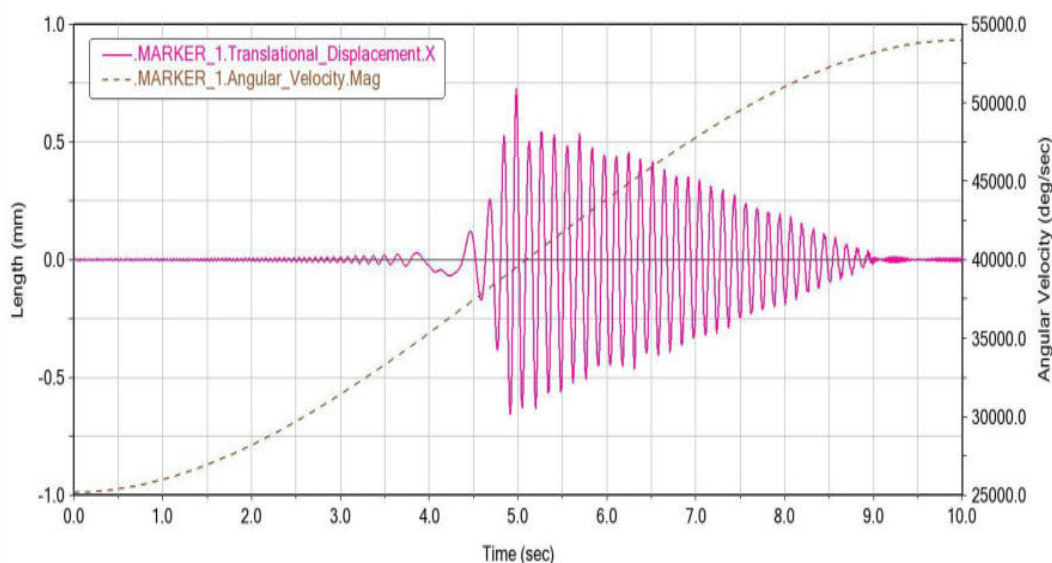


Рис. 7. Разгон ротора и прохождение им резонансной частоты

**Вывод.** Сравнительный анализ различных конструкций шпинделей на ГСП показал наличие у них аналогичных структурных элементов, схожих по конструкции узлов, а также общих подходов к расчёту и конструированию (проектированию). Однако, не существовало единой и универсальной методики синтеза шпинделей на ГСП, охватывающей все теоретические этапы их создания – от структурного синтеза до исследования динамических свойств, который бы базировался на взаимодополняющем применении двух независимых методов теоретических исследований.

Разработанный многопараметрический синтез решает данную задачу, так как представляет собой единую методику исследований и сквозного проектирования шпинделей на газостатических опорах, применимую для оборудования различного назначения. При этом все операции анализа и синтеза выполняются двумя теоретическими методами исследований, что обеспечивает высокий уровень достоверности получаемых результатов. Первый метод – аналитический (построение математической модели и получение функциональных зависимостей в аналитическом виде), а второй – вычислительный компьютерный эксперимент в программах САПР на основе 3D-модели и метода конечных элементов.

#### Список использованных источников

1. Брешев, В. Е. Анализ технических преимуществ применения аэростатических опор в шпинделях технологических машин / В. Е. Брешев // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2023. – № 7(73). – С. 141–145.
2. Брешев, В. Е. Приводы машин на регулируемых конических аэростатических опорах: монография / В. Е. Брешев, А. В. Брешев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – 204 с.
3. Брешев, В.Е. Вычислительные компьютерные эксперименты по исследованию характеристик газостатического подпятника шпинделя шлифовального станка / В.Е. Брешев, Ю.С. Долженко // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2024. – №2(80). – С. 28–34.
4. Брешев, В. Е. Вычислительные эксперименты по исследованию динамической устойчивости высокоскоростного шпинделя на газостатических подшипниках / В.Е. Брешев, Ю.С. Долженко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сб. науч. тр. XXXI МНТК Машиностроение и техносфера XXI века, г. Севастополь, 16-22 сентября 2024 г. – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2024. – Вып. 2(85) – С. 31–40.
5. Космынин, А. В. Шпиндели на газовых опорах – перспективный путь развития высокоскоростной обработки металлов / А. В. Космынин, М. Р. Петров // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – №6. – С. 47–48.
6. Пинегин, С. В. Прецизионные опоры качения и опоры с газовой смазкой: справочник / С. В. Пинегин, А. В. Орлов, Ю. Б. Табачников. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с. – (Основы проектирования машин).
7. Космынин, А. В. Подшипники на газовой смазке высокоскоростных роторов [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека / А. В. Космынин, В. С. Виноградов, В. С. Щетинин, А. В. Смирнов // Современные наукоёмкие технологии – 2009. – №1. – URL: [http://www.rae.ru/snt/?section=article\\_index](http://www.rae.ru/snt/?section=article_index) (дата обращения: 08.10.2024).
8. Брешев, В. Е. Развитие теории и методов проектирования приводов бесконтактного типа с комбинированным и пассивным обеспечением устойчивости: монография / В. Е. Брешев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2016. – 208 с.
9. Алфутов, Н. А. Устойчивость движения и равновесия: учебник для студентов вузов / Н. А. Алфутов, К. С. Колесников; под ред. К. С. Колесникова. – 2-е изд. – М.: МГТУ, 2003. – Т.3. – 256 с. – (Механика в техническом университете в 8 т.).



УДК 65.012.2

**Егоров С.Я., Адам Зиад Хамдан Мансур**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: egorovsy@yandex.ru

## **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОСТАНОВОЧНЫМИ РЕМОНТАМИ**

**S.Ya. Egorov, Adam Ziad Hamdan Mansour**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: egorovsy@yandex.ru

## **DEVELOPMENT OF A PRINCIPAL SCHEME FOR PLANNING AND MANAGING SHUTDOWN REPAIRS**

*Аннотация.* Рассматривается принципиальная схема подсистемы планирования и управления остановочными ремонтами производства.

*Ключевые слова:* остановочный ремонт, планирование, автоматизация.

*Abstract.* A schematic diagram of the subsystem for planning and managing production shutdown repairs is considered.

*Keywords:* stop repair, planning, automation.

Остановочный ремонт – неотъемлемая часть любого сложного производства, в процессе которого производится ремонт оборудования, остановка которого приводит к частичной или полной остановке выпуска продукции на производстве. Что, естественно, приводит к снижению прибыли предприятия за счет уменьшения объема выпускаемой продукции и дополнительным издержкам, связанным с затратами на ремонт. Если затраты на ремонт неизбежны, то время ремонта остается основным фактором снижения затрат производства за счет четкого планирования, оптимизации и управления ходом ремонтных работ, приводящих к уменьшению времени простоя оборудования и вывода производства на проектную мощность.

До недавнего времени на предприятиях не существовало системного подхода к проведению остановочного ремонта. Каждое предприятие имело свою собственную систему проведения ремонтов: планово-предупредительный ремонт оборудования, включающий техническое обслуживание, промежуточные и капитальные ремонты; по техническому состоянию оборудования; внеплановые ремонты [1-3]. Как итог – предприятие несло убытки, как за счет некачественного планирования самих ремонтов, так и за счет сопутствующих мероприятий (заказу и поставке комплектующих, привлечению ремонтного персонала и распределению работ между ними, подготовки рабочей площадки, транспорта и технологической оснастки).

Системный подход позволяет разработать единый подход к планированию остановочных ремонтов. При этом сетевая модель остановочного ремонта является основой для оптимизации и управления ходом ремонтных работ. Являясь динамической, сетевая модель должна своевременно отражать все изменения в составленном плане работ, включая отслеживание уже выполненных работ, оценки времени выполнения работ проекта и возможные их изменения с целью своевременного выполнения всего проекта. Процедура оперативного управления является циклической и включает (рис 1) выполнение ряда установленных процедур:

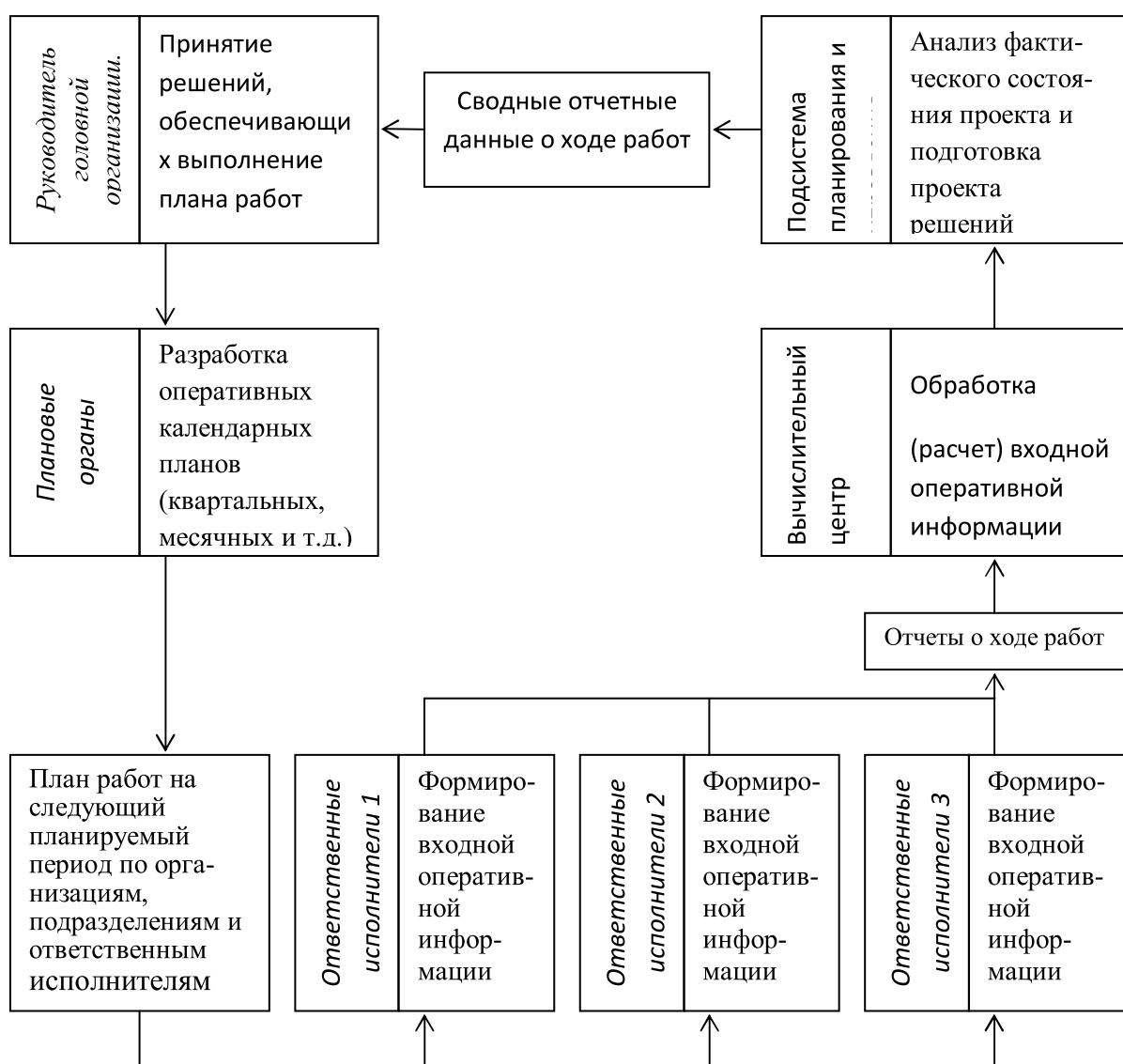


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования подсистемы планирования и управления работами остановочного ремонта

предоставление промежуточных отчетов о ходе выполнения запланированных работ: обработка, оценка и анализ изменений в проекте работ, вызванных нарушениями тех

или иных условий их выполнения; повторного перерасчета сетевой модели; устранение расхождений по планируемым и фактическим срокам выполнения работ; оптимизация сетевой модели по критерию времени, ремонтному персоналу и используемой технике; выдачи графиков работ для каждого отдельного исполнителя и сведения к минимуму расхождения с первоначальным планом; доведение результатов до руководства проектом и последующего учета их указаний.

На основе вышеизложенного, на кафедре КИСМ ТГТУ разработана и реализована учебная подсистема планирования ремонтов [4], которая используется в ходе выполнения курсовых и лабораторных работ по курсу «автоматизированные системы управления предприятием», а также может быть использована при решении реальных задач планирования ремонтов. Реализован удаленный доступ к системе, как по локальной сети, так и через Интернет.

#### Список использованных источников

1. Кудрявцев, Е.М. Методы сетевого планирования и управления проектом [Электронный ресурс] / Е.М. Кудрявцев, – М.: ДМК Пресс, 2008 – 238 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1211](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1211)
2. Кане М.М., Суслов А.Г., Горниленко О.А, Иванов Б.В. Управление качеством продукции машиностроения / М.М. Кане, А.Г.Суслов О.А. Горниленко, Б.В. Иванов. Лань. 2010. 416 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=764](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=764)
3. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
4. Егоров, С. Я. Разработка и расчет сетевой модели остановочного ремонта при реконструкции сахарного производства / С. Я. Егоров, В. В. Бетин // Инженерные технологии. – 2023. – № 4(4). – С. 15-21. – EDN CNEOUN.

УДК 681.5.08

**Селиванова З. М., Скоморохов К. В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: selivanova\_zm@mail.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ  
СТРУКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**Selivanova Z. M., Skomorokhov K. V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: selivanova\_zm@mail.ru

**MATHEMATICAL MODEL FOR CONSTRUCTING A RECONFIGURABLE  
STRUCTURE OF AN INTELLIGENT INFORMATION-  
MEASURING SYSTEM**

*Аннотация.* Предложена интеллектуальная информационно-измерительная система теплофизических свойств материалов, анализ которой позволил создать математическую модель построения структуры системы с реконfigurацией структурных элементов в соответствии с диапазонами теплопроводности материалов.

*Ключевые слова:* теплофизические свойства материалов, условия неопределенности, моделирование структуры, интеллектуальная измерительная система, эффективность функционирования системы.

*Abstract.* An intelligent information-measuring system of thermophysical properties of materials is proposed, the analysis of which made it possible to create a mathematical model for constructing the structure of the system with the reconfiguration of structural elements in accordance with the ranges of thermal conductivity of materials.

*Keywords:* thermophysical properties of materials, uncertainty conditions, structure modeling, intelligent measuring system, system performance.

Разработка структуры интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) теплофизических свойств (ТФС) материалов, функционирующей в неопределенных условиях, выполнена на основе создания математической модели построения структуры ИИИС, что позволит реконfigurировать структурные элементы системы при контроле ТФС объектов в заданных диапазонах теплопроводности.

Цель данной работы – обеспечение точности измерения теплофизических свойств материалов в диапазоне теплопроводности до 1 Вт/м·К.

Математическое моделирование интеллектуальной измерительной системы выполнено на основе классических методов анализа и синтеза систем и их моделирования [1].

При создании математической модели структурного построения ИИИС необходимо в соответствии с целью исследования выполнить анализ структурных компонентов системы, реализующих алгоритм функционирования ИИИС в условиях неопределенности при обеспечении точности контроля коэффициентов тепло- и температуропроводности ( $\lambda$ , Вт/м·К и  $\alpha$ , м<sup>2</sup>/с). Структурная схема ИИИС ТФС материалов представлена на рис. 1. Кроме того, при моделировании необходимо учитывать уровни поступающих измерительных сигналов с измерительной подсистемы, режимы работы системы, влияющие дестабилизирующие факторы на структурные компоненты ИИИС, погрешности измерений и эффективность функционирования интеллектуальной измерительной системы [2-3].

ИИИС включает структурные компоненты – блоки, модули и коммутирующие элементы, которые реализуют алгоритм функционирования системы. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)<sub>д1</sub>, (АЦП)<sub>д2</sub>, (АЦП)<sub>д3</sub> и усилители постоянного тока (УПТ)<sub>д1</sub>, (УПТ)<sub>д2</sub>, (УПТ)<sub>д3</sub> блока УПТ (БУПТ) в соответствии с диапазонами теплопроводности исследуемых материалов (ИМ) Д1, Д2, Д3 подключаются через коммутаторы и преобразуют аналоговые сигналы с измерительной подсистемы (ИП) в двоичный код, которые обрабатываются в блоке приема, обработки измерительных данных, управления (БОДУ). В данном исследовании рассматриваются материалы следующих диапазонов теплопроводности: низкого (Д1) –  $\lambda = 0,02 \dots 0,2$  Вт/м·К, среднего (Д2) –  $\lambda = 0,21 \dots 0,5$  Вт/м·К, высокого (Д3) –  $\lambda = 0,51 \dots 1,0$  Вт/м·К.

БОДУ реализован на основе микроконтроллеров (МК1, МК2, МК3), Каждый из которых принимает, передает и обрабатывает измерительную информацию с соответствующей структуры ИИИС  $S_1, S_2, S_3$ , устройства синхронизации работы системы (УСРС) и устройства индикации результатов измерения (УИРИ). Измерительная подсистема включает интеллектуальные измерительные зонды (ИИЗ)<sub>д1</sub>, (ИИЗ)<sub>д2</sub>, (ИИЗ)<sub>д3</sub>, которые включают измерительные кассеты (ИК)<sub>д1</sub>, (ИК)<sub>д2</sub>, (ИК)<sub>д3</sub>, содержащие нагревательные элементы (линейные, круглые, плоские) для нагрева исследуемого материала с заданной мощностью, применяя блок управления тепловым воздействием (БУТВ), согласно методу определения теплофизических свойств материалов и в соответствии с его теплопроводностью [4-7].

Блок модулей системы (БМС) позволяет реализовать алгоритм работы интеллектуальной измерительной системы. Модуль математического обеспечения (ММО) включает математические зависимости применяемых методов и моделей. Модуль методического обеспечения (ММетО) содержит процедуры реализации методов определения теплофизических свойств материалов с линейным, круглым и плоским нагревателями. Модуль алгоритмического обеспечения (МАО) позволяет осуществлять алгоритмы обработки первичной измерительной информации, поступающей с интеллектуальных измерительных зондов (ИИЗ)<sub>д1</sub>, (ИИЗ)<sub>д2</sub>, (ИИЗ)<sub>д3</sub>,

функционирования ИИИС в условиях неопределенности, реализации режимов работы ИИИС (идентификации измерительной ситуации, контроля и измерения теплофизических свойств материалов).

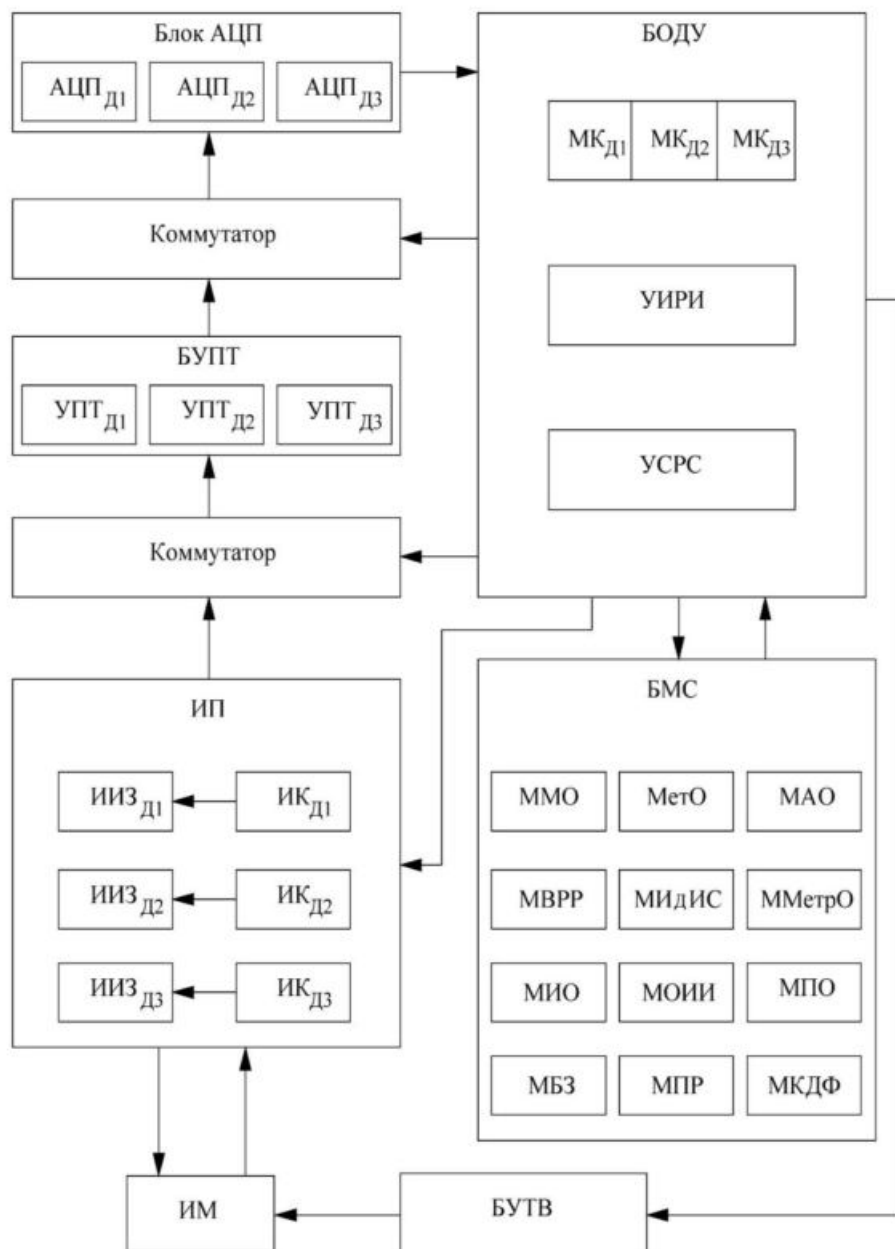


Рис. 1. Структурная схема ИИИС ТФС материалов в условиях неопределенности

Модуль выбора режимов работы (МВРР) при проведении теплофизических измерений осуществляет реализацию режимов ИИИС: идентификации исследуемых материалов, контроля и измерения. Модуль идентификации измерительной ситуации (МИДИС) на основе тестового контроля теплопроводности материалов осуществляет выбор измерительной ситуации. С использованием данных модуля метрологического обеспечения (ММетрО) выполняется расчет погрешностей результатов измерения

параметров ТФС материалов и их метрологических характеристик. Модуль информационного обеспечения (МИО) содержит необходимую информацию для моделирования структуры ИИИС и реализации режимов работы системы. Модуль обработки измерительной информации (МОИИ) позволяет выполнить статистический анализ результатов измерения коэффициентов тепло- и температуропроводности и оценки качества исследуемых материалов. Ключевое значение имеет модуль программного обеспечения (МПО), позволяющий реализовать функции блока модулей системы: модуль принятия решений (МПР), модуль базы знаний (МБЗ), модуль коррекции дестабилизирующих факторов (МКДФ). Данные модули реализуют заложенный перечень функций ИИИС ТФС материалов, а также обеспечивают повышение точности и эффективности взаимодействия структурных элементов системы. Погрешность измерения  $\lambda$  и  $\alpha$  формируется на основе точности функционирования структурных компонентов ИИИС. Для последующего реконфигурирования структурных компонентов интеллектуальной измерительной системы в зависимости от диапазона теплопроводности исследуемых материалов необходимо разработать математическую модель структуры ИИИС.

Математическая модель структуры интеллектуальной информационно-измерительной системы ТФС материалов  $M_S$  представлена в виде кортежа множеств структурных компонентов системы:

$$M_S = \langle H_{\text{ИМ}}, H_{\text{ИП}}, H_{\text{БУПТ}}, H_{\text{АЦП}}, H_{\text{БОДУ}}, H_{\text{БМС}} \rangle,$$

где  $H_{\text{ИМ}} = \{H_{\text{ИМД1}}, H_{\text{ИМД2}}, H_{\text{ИМД3}}\}$  – множество видов исследуемых материалов по теплопроводности: теплоизоляционных, строительных и полимерных в диапазоне теплопроводности до 1 Вт/(м·К);  $H_{\text{СИП}} = \{H_{\text{СИИЗД1}}, H_{\text{СИИЗД2}}, H_{\text{СИИЗД3}}\}$  – множество структур измерительной подсистемы с различными измерительными зондами, кассетами и нагревательными элементами;  $H_{\text{СБУПТ}} = \{H_{\text{СУПТД1}}, H_{\text{СУПТД2}}, H_{\text{СУПТД3}}\}$  – множество структур усилителей постоянного тока, отличающихся коэффициентами усиления;  $H_{\text{САЦП}} = \{H_{\text{САЦПД1}}, H_{\text{САЦПД2}}, H_{\text{САЦПД3}}\}$  – множество структур аналого-цифрового преобразователя;  $H_{\text{БОДУ}} = \{H_{\text{СМКД1}}, H_{\text{СМКД2}}, H_{\text{СМКД3}}, H_{\text{СВИРИ}}, H_{\text{СВРС}}\}$  – множество структурных компонентов, осуществляющих прием, передачу, обработку измерительных данных и управление;  $H_{\text{СБМС}}$  – множество модулей, позволяющих реализовать математическое, методическое, алгоритмическое, информационное и метрологическое обеспечения ИИИС.

Выполнены теплофизические измерения параметров ТФС теплоизоляционных, строительных и полимерных материалов с применением технологии реконфигурирования структуры интеллектуальной измерительной системы, рассчитана относительная погрешность определения  $\lambda$  и  $\alpha$  (табл. 1). Из метрологического анализа экспериментальных данных можно сделать вывод о соответствии погрешности измерений допустимым нормируемым значениям.

Таблица 1. Экспериментальные исследования с применением ИИИС теплофизических свойств материалов

Материалы	Справочные данные		Измеренные данные		Относительная погрешность, %	
	$\alpha \cdot 10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ Вт/(м·К)	$\delta_\alpha$	$\delta_\lambda$
Рипор	4,61	0,028	4,66	0,0283	1,08	1,07
Линолеум	1,68	0,091	1,73	0,093	2,98	2,20
Дерево	4,84	0,150	5,020	0,156	3,72	4,00
Полиметилметакрилат	1,09	0,195	1,11	0,200	1,83	2,56
Бетон	1,58	0,54	1,64	0,56	3,80	3,70
Цемент	0,86	0,84	0,89	0,87	3,49	3,57

Математическая модель построения реконфигурируемой структуры ИИИС ТФС материалов для различных диапазонов теплопроводности теплоизоляционных, строительных, полимерных и других материалов в условиях неопределенности и с допустимой точностью, как показывают результаты экспериментальных исследований ИИИС, способствует повышению эффективности работы интеллектуальной измерительной системы.

#### Список использованных источников

- Советов, Б. Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк, 2001. – 343 с. : ил.
- Селиванова, З. М. Идентификация измерительной ситуации при неопределенности теплофизических измерений / З. М. Селиванова, К. В. Скоморохов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – С. 516-527.
- Орлов, С. П. Моделирование структур сложных информационно-измерительных систем / С. П. Орлов // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2005, № 33. – С. 251-254.
- Беляев В. П., Мищенко С. В., Беляев П. С. Реализация неразрушающего контроля массивных изделий при измерении коэффициента диффузии растворителей // Инженерно-физический журнал. – 2017, Т. 90, № 3. – С. 733-741.
- Belyaev V. P., Belyaev M. P., Mishchenko S. V., Belyaev P. S. The Design of a Measuring Instrument for Determining the Diffusion Coefficient of Solvents in Thin Articles Made of Capillary-Porous Materials // Measurement Techniques. – 2014, Vol. 56, No. 10, pp. 1190-1196.
- Лыков, А. В. Теория теплопроводности: учеб. пособие / А. В. Лыков. – М.: Высш. школа, 1967. – 600 с.
- Теплофизические измерения и приборы / Е. С. Платунов, С. Е. Буравой, В. В. Курепин [и др.]; Под общ. ред. Е. С. Платунова. – Ленинград. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 255 с.



УДК 004.051

**Глазкова И.А, Ивановский М.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail:inga.glazkova99@mail.ru

**К ВОПРОСУ КВАЛИМЕТРИИ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ ОПЕРАТОРОВ  
ПОЛИЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ  
СТРАТЕГИЧЕСКОГО ТЕХНО-ТЕАТРА**

**Glazkova I.A., Ivanovskiy M.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

**ON THE QUESTION OF QUALIMETRY OF COGNITIVE FUNCTIONS OF  
OPERATORS OF POLYERGATIC SYSTEMS USING THE ENVIRONMENT OF  
STRATEGIC TECHNO-THEATRE**

*Аннотация.* В статье для полиэргатических систем рассматривается системная модель операторских функций, детализация когнитивного уровня операторской деятельности, моделирование процесса управления групповой деятельностью операторов на основе аналитической среды стратегического техно-театра.

*Ключевые слова:* полиэргатическая система, система групповой поддержки решений, управление групповой деятельностью операторов, стратегический техно-театр.

*Abstract.* The article for polyergatic systems discusses a system model of operator functions, detailing the cognitive level of operator activity, modeling the process of managing group activities of operators based on the analytical environment of strategic techno-theater.

*Keywords:* polyergative system, group decision support system, management of group activities of operators, strategic techno-theater.

Для эргатических систем характерны три вида деятельности, представленные на рисунке 1.

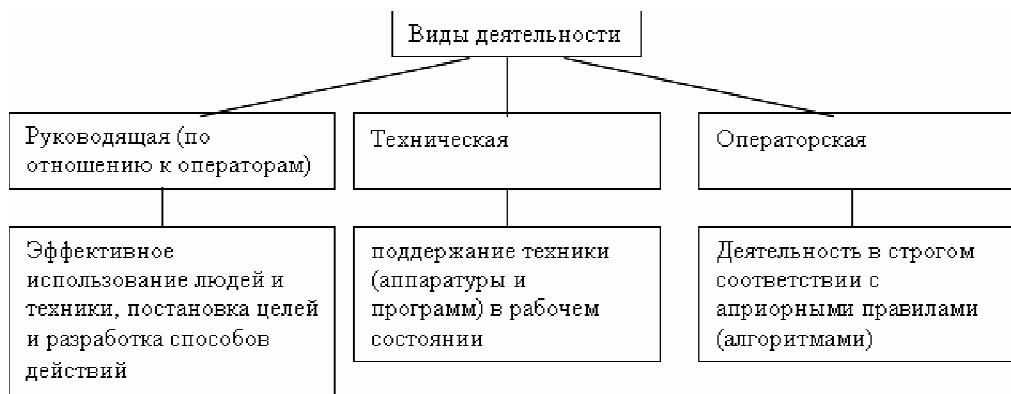


Рис. 1. Виды деятельности операторов эргатических систем

Рассмотрим модель операторских действий (рисунок 2.)

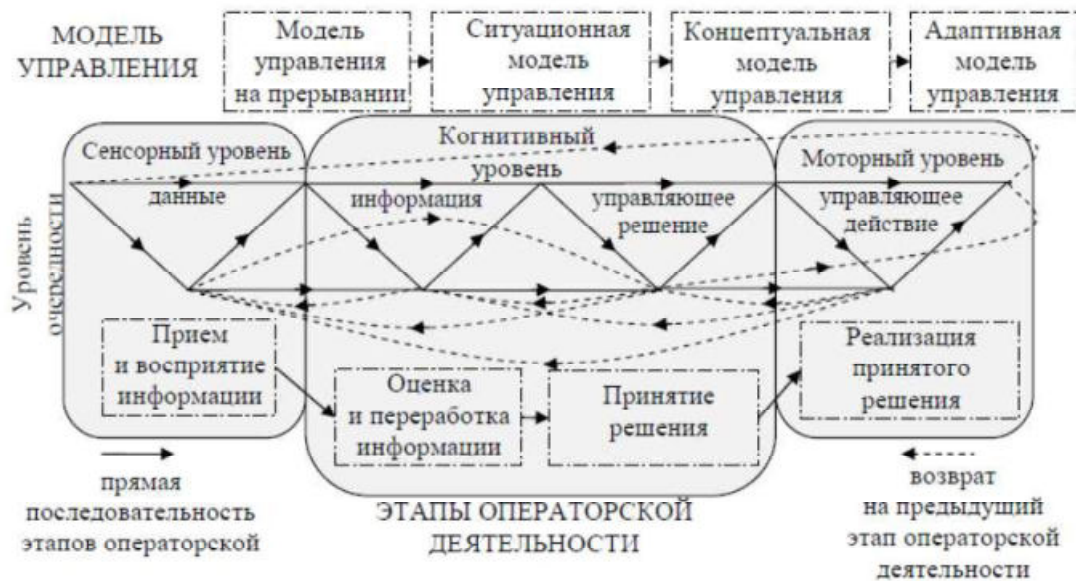


Рис. 2. Системная модель операторских функций

Для операторов-руководителей наиболее существенными являются когнитивные функции. Когнитивные процессы представлены на рисунке 3.

Процессы Когнитивные	Деятельность	Действия	Определения
Когнитивные	1. Обработка информации	1.1. Интерполировать	Определять или устанавливать среднее из двух значений
		1.2. Проверять	Подтверждать
		1.3. Запоминать	Удерживать (кратковременная память) или воспроизводить (долговременная память) информацию с целью ее анализа
	2. Решение задачи, принятие решений	2.1. Подсчитывать	Определять посредством математической обработки
		2.2. Выбирать	Выделять после рассмотрения альтернатив
		2.3. Сравнивать	Изучать характеристики или качества двух или более объектов или понятий с целью обнаружения сходств или различий
2.4. Планировать		Задумывать или формулировать программу будущей или возможной деятельности	
2.5. Решать		Приходить к заключению, основанному на имеющейся информации	
	2.6. Диагностировать	Опознавать или определять сущность или причину данного явления путем анализа сигналов или симптомов, либо посредством использования соответствующих тестов	

Рис. 3. Когнитивные процессы.

При рассмотрении интеллектуальных задач (распознавание ситуаций, подготовка решений в сложных ситуациях, утверждение решений) целесообразно использовать классификацию функций оператора, представленную на рисунке 4.



Рис. 4. Классификацию функций оператора

Типовыми являются технологические функции [1]: информационно-справочные, расчетные, представление информации, контрольно-учетные, подготовка решений в простых (типовых) ситуациях.

Формализация полиэргатической системы основана на триадной системной концепции (рисунок 5), предложенной в работе, и модели гиромата Д.А. Поспелова (рисунок 6).

Описание эргатической системы может быть представлено в виде множества триад, образованных множествами системообразующих факторов [2]:

$$S_{эс} = \langle \Phi, H, S_{tr}, P, W \langle G \rangle, \tag{1}$$

где  $\Phi$  – множество первичных элементов ЭСУ (человек-оператор, машина, среда),

$H$  – множество отношений между базовыми элементами ЭСУ,

$S_{tr}$  – множество структур,

$P$  – множество параметров базовых элементов (параметры ЭСУ),

$W$  – интегративные свойства системы (свойства ЭСУ),

$G$  – цели функционирования системы, как показано на рис. 3.

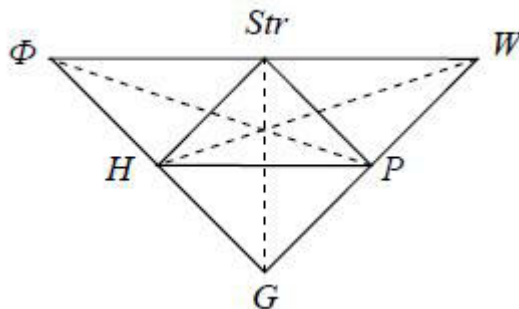


Рис. 5. Модель эргатической системы

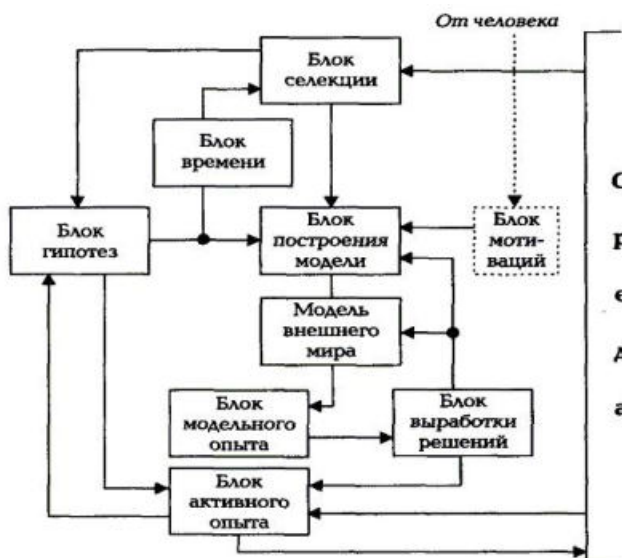


Рис. 6. Модель гиромата Пospelова

Здесь моделирование поступков представляется в виде единиц поведения. Составляющие поведения предполагают разбиение поступка на замысел и реализацию. Тогда модель поведения имеет вид графа поступка:

$$G = \langle X, R, V, W \rangle, \dots V = \{+, -, 0\} \tag{2}$$

В модели поступка:

$$X = \{I, H, T, N, D, S\}, \tag{3}$$

*I* – агент, совершающий действие (поступок);

*H* – агент(ы), на которого(ых) направлено действие агента *I*; *T* – ближайшее окружение агента *I*;

*N* – природа, (реальная физическая среда, в которой протекает действие агента *I*);

*D* – совокупность морально-этических норм и обычаев; *S* – свод регулирующих законов и правил.

Норма как предписание к действию, задается в виде четвёрки (в данном случае четвёрки, но это может быть любая решётка).

$$NR = \langle AG, act, W, N_4 \rangle, \quad (4)$$

где  $AG$  – множество агентов, которым адресована норма;

$act \in ACT$  – действие, являющееся объектом нормативной регуляции (содержание нормы);  $W$  – множество, где применима норма (условия, обстоятельства, в которых должно или не должно выполняться действие);

$N_4 = \{O, P, B, Z\}$  – множество базовых модальностей, связанных с действием  $act$ : здесь  $O$  – «обязательно»,  $P$  – «разрешено»,  $B$  – «безразлично» («необязательно»),  $Z$  – «запрещено».

Норма определяется множеством агентов (к которым она адресована), действием (которое является объектом нормативной регуляции, то есть составляет содержание нормы), множеством миров (в которых она применима), и множество базовых модальностей (связанных с действием).

Обобщённая модель мнений агента:

$$bel(p) = \langle p, v(p), m(p) \rangle, \quad (5)$$

где  $p \in P, v: P \rightarrow V, m: P \rightarrow M$ , причем  $V = L_1$ .

Моделирование процесса управления групповой деятельностью операторов удобно осуществлять на основе аналитической среды стратегического техно-театра, что позволяет производить квалиметрию процессов, деятельности и действий операторов, в том числе и когнитивных процессов.

Стратегический техно-театр (СТТ) – это аналитическая среда поддержки принятия решений.

Опытный образец студии стратегического техно-театра. был создан в 2001 г. и применен в учебном процессе на кафедре Национальной Безопасности Российской академии государственной службы при Президенте Российской Федерации (СТТ).

Системотехническое решение приведено на рисунке 7. Взаимодействуют режиссёр, игротехник, игроки-эксперты.

Функционирование системы групповой поддержки решений [3] осуществляется в реальном времени, среда поддержки решений – электронный полиэкран и электронный стол мозгового штурма.

Модуль качественной оценки вариантов решений накладывается на визуализированную проблемную ситуацию.

Сценарий сеанса взаимодействия группы экспертов и аналитиков реализуется режиссёром и игротехником на средствах отображения информации коллективного пользования [4]. Доступ к экрану каждого из ЛПП осуществляет игротехник.

Системотехническое решение стратегического техно-театра приведено на рисунке 8, а структурно-функциональная схема процесса работы лиц группового решения – на рисунке 9.



Рис. 7. Системотехническое решение стратегического техно-театра

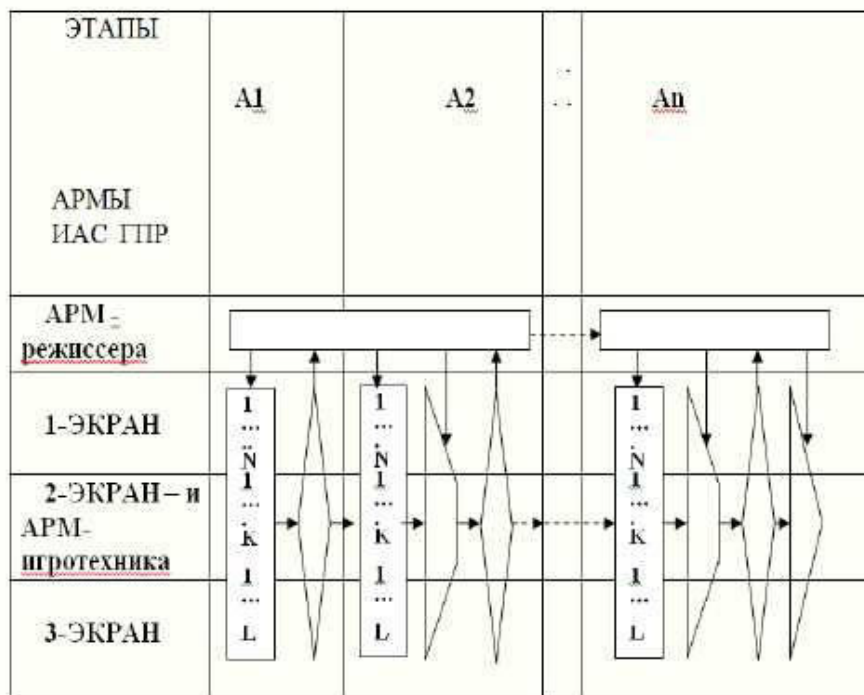


Рис. 8. Структурно-функциональная схема процесса работы лиц группового решения  
Условные обозначения:  $A_j$  – идентификатор  $j$ -го этапа работы группы ЛПР.

Этапы функционирования системы (ось абсцисс):  $A_1$  – процесс анализа проблемной ситуации в режиме групповой поддержки решений (ГППР);  $A_2$  – визуализация результатов моделирования.

Алгоритм обобщённого ранжирования вариантов решений экспертами слабоструктурированных проблем имеет вид:

1. Ранжирование вариантов решений экспертами.

Обозначим:

$S = \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_n\}$  – множество вариантов решений,

$n$  – число вариантов решений,

$E = \{e_1, \dots, e_i, \dots, e_m\}$  – множество экспертов,

$m$  – число экспертов.

При строгом отношении порядка (предпочтений) на множестве вариантов решений, удовлетворяющее свойству антирефлексивности и транзитивности, ранжирование  $e_i, i = \overline{1, m}$  имеет вид:

$$P_i : s_1 > s_2 > \dots > s_n \quad P_i : s_1 > s_2 > \dots > s_n \quad (6)$$

При (нестрогом) отношении предпочтений, удовлетворяющее свойству рефлексивности и транзитивности – в виде:

$$P_i : s_1 \geq s_2 > \dots \geq s_n \quad (7)$$

где  $S_{lv} \geq S_{lq} \Rightarrow (S_{lv} > S_{lq}) \vee (S_{lv} \approx S_{lq}) \quad \forall v, q \in \overline{1, n};$  – обозначение строгого предпочтения вариантов решений;

$\geq$  – обозначение нестрогого предпочтения вариантов решений;

$\approx$  – обозначение эквивалентности (равнозначности) вариантов решений;

$\vee$  – логическая операция «или».

Представление исходных ранжирований экспертов в градациях ранговой шкалы. Соответствие между строгим ранжированием (1) и рангами имеет вид натуральных чисел:

$$s_1 \Rightarrow n, s_2 \Rightarrow n-1, \dots, s_n \Rightarrow 1. \quad (8)$$

Эквивалентные варианты решений это – связанные ранги, равны среднеарифметическому значению по числу равноважных решений.

В этом случае ранжирование  $n$  вариантов решений

$$r_i = (r_i^{(1)}, r_i^{(2)}, \dots, r_i^{(n)}). \quad (9)$$

2. Обобщённое ранжирование вариантов решений по аддитивной свёртке в ранговой шкале.

Для каждого решения  $s_k, k = \overline{1, n}$ , проблемной ситуации вычисляется обобщённая оценка по формуле:

$$r_{\Sigma}^{(l)} = \sum_{i=1}^m r_i^{(l)}. \quad (10)$$

Рассмотрим систему поддержки принятия решения по управлению групповой деятельностью операторов.

Системы управления имеют в контуре управления системы поддержки принятия решений (СППР), построенные по принципу адаптивно-динамических экспертных систем, работающих в нечеткой среде, активно взаимодействующие с автоматическим контуром управления АРМ и обладающие способностью к индуктивному обучению, что обеспечивает эффективность и адаптивные свойства групповой деятельности персонала [5].

При этом использован принцип нечеткой концептуальной кластеризации [6], который обеспечивает целостность системы управления и единство взаимосвязанной деятельности операторов всех уровней управления.



Рис. 9. Параметры, не учитываемые в модели регулируемого равновесия групповой деятельности

Условия достижения ситуации равновесия групповой деятельности операторов в общем виде могут быть определена основе решения оптимизационной задачи вида:

$$0 < \gamma_{ij} < 1; i, j = \overline{0, n}; \max_{\theta^* \in \theta} \frac{W_0(\theta)}{0, n}, W_0(\theta) < W_{\text{зад}}; \quad (11)$$

$$0 < z_{ij} < 1; i, j = \overline{0, n}; \sum_{i=1}^n T_i < T^i;$$

где  $\theta = \left\{ \left\{ \bar{t}_{ij}; i, j = \overline{0, n} \right\}; \left\{ \gamma_{ij}; i, j = \overline{0, n} \right\}; \left\{ z_{ij}; i, j = \overline{0, n} \right\}; \left\{ T_{ij}; i, j = \overline{1, n} \right\} \right\};$   
 $\bar{t}_{00} = \bar{t}_0; \bar{t}_{ii} = \bar{t}_i; \bar{T}_{ii} = \bar{T}_i$

Максимум функционала (10) будет соответствовать минимуму произведения

$$Q_0(\theta) \cdot \prod_{j=1}^n \varepsilon_{j0}^{\delta_{j0}}(\theta). \quad (12)$$



Список использованных источников

1. Петухов, И. В. Эргатические системы: техногенная безопасность / И.В. Петухов. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2012. – 280 с. – ISBN 978-5-98222-780-5. – EDN QMXEGX.
2. Жирков, О.А. Электронный стол мозгового штурма для групповой работы на общем экране. Третья международная конференция «Когнитивный анализ и управление развитием ситуацией» / О.А. Жирков. – М: Издательство «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН», 2003. – 122 с.
3. Белкин, С.В. Многовариантный анализ слабоструктурированных проблемных ситуаций / С.В. Белкин. – М: Издательство «РУСАЙНС», 2021. – 268 с.
4. Новиков, Д.А. Экспертные оценки – инструменты аналитика / Д.А. Новиков. – М: Издательство «Заводская лаборатория», 2013. – 4 с.
5. Багрецов, С.А. Квалиметрия групповой деятельности операторов сложных систем управления / С.А. Багрецов. – М: Издательство «ФИЗМАТЛИТ», 2006. – 384 с.
6. Багрецов, С.А. Технология синтеза организационных структур сложных систем управления / С.А. Багрецов. – М: Издательство «АООП, Эргоцентр», 1998. – 224 с.

УДК 628.852.2

**Дегтярев Е.А.<sup>1</sup>, Лысых С.Д.<sup>2</sup>, Попов О.Н.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: ya.deg2012@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: stas007.lis@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА В ОТАПЛИВАЕМОМ ПОМЕЩЕНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

**Degtyarev E.A.<sup>1</sup>, Lysykh S.D.<sup>2</sup>, Popov O.N.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: ya.deg2012@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: stas007.lis@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

## **MODELING OF THE MICROCLIMATE IN A HEATED ROOM FROM VARIOUS HEATING SYSTEMS**

*Аннотация.* В статье представлены результаты численного исследования влияния различных систем отопления на формирование комфортных параметров микроклимата в помещении.

*Ключевые слова:* моделирование, параметры микроклимата, система отопления.

*Abstract.* The article presents the results of a numerical study of the influence of various heating systems on the formation of comfortable indoor climate parameters.

*Keywords:* modeling, microclimate parameters, heating system.

Применяемые методики теплотехнических расчетов и проектирования систем отопления основаны на использовании осредненных значений расчетных величин, рассматриваемых для установившихся режимов. Локальные и мгновенные значения параметров микроклимата остаются за рамками анализа. Указанные особенности проектирования являются одной из причин повышенного энергопотребления зданий, а также несоответствия формируемых параметров микроклимата условиям комфорта.

Таким образом, обеспечение требуемых параметров микроклимата в помещениях является актуальной и значимой для практики задачей. Наиболее эффективно изучить проблемы формирования микроклимата и поддержания требуемого температурного режима можно на основе численных экспериментов. Применение численного моделирования позволяет учесть особенности конкретной задачи и найти оптимальное проектное решение обеспечивающее требуемые микроклиматические условия.

В качестве объекта моделирования выбрано отапливаемое жилое помещение (квартира), расположенное на среднем этаже многоквартирного жилого дома. Наружные стены помещения кирпичные толщиной 700 мм, внутренние несущие стены выполнены из легкогобетонных блоков толщиной 400 мм, перегородки из гипсокартона с шпаклёвкой суммарной толщиной 100 мм.

Тепловые нагрузки отопительных приборов заданы в соответствии с тепловым балансом помещений, рассчитанным по традиционной методике [1]. Для расчета тепловых потерь помещений принимаем климатические данные для г. Тамбова по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Результаты расчета тепловых потерь представлены в таблице 1.

Таблица 1. Теплотери в помещениях

№ п/п	Наименование помещения	Основные теплотери, Вт	Добавочные теплотери, Вт	Суммарные теплотери, Вт
1	Кухня	669,7	167,4	837,1
2	Жилая комната	1208,0	664,4	1872,4
Итого				2709,5

Численное моделирование осуществлялось с помощью программного обеспечения для инженерного анализа и численного моделирования *Ansys* [2].

На рис. 1 приведена геометрическая модель объекта моделирования выполненная в системе *ANSYS SpaceClaim*.

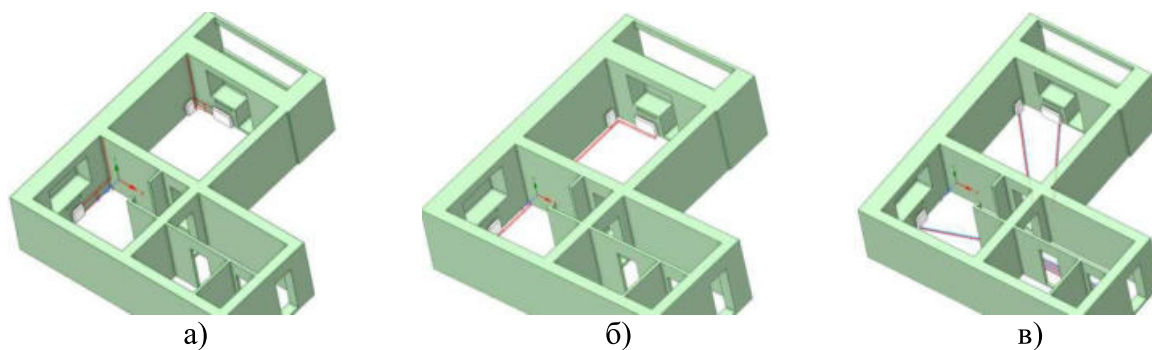


Рис. 1. Геометрические модели отапливаемого помещения с различными системами отопления: а) с однотрубной вертикальной; б) с двухтрубной горизонтальной периметральной; в) с двухтрубной лучевой.

Для решения задачи проводится дискретизация расчетной области геометрических моделей с помощью подпрограммы *Ansys Meshing*. (рис. 2).

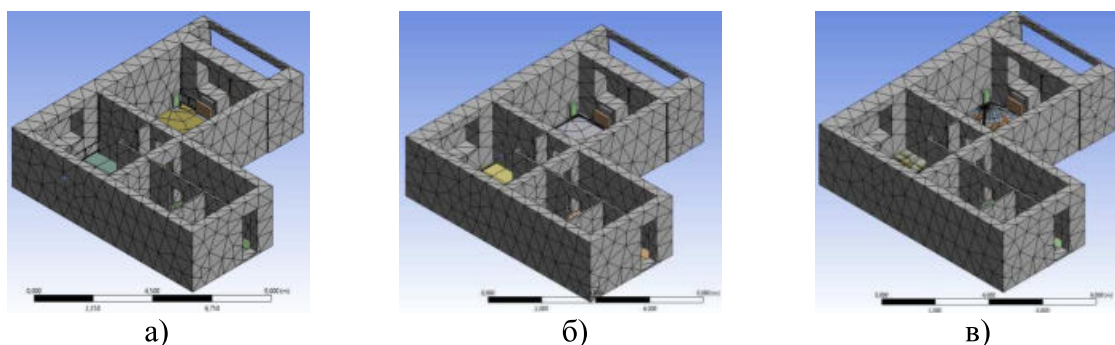


Рис. 2. Сеточные модели отопляемого помещения с различными системами отопления: а) с однотрубной вертикальной; б) с двухтрубной горизонтальной периметральной; в) с двухтрубной лучевой.

На основе созданных сеточных моделей в подпрограмме *Ansys Fluent* созданы расчетные модели, для каждой из рассматриваемых систем отопления, путём выбора параметров процессов распространения тепла, характеристик материалов, настроек решателя и задания граничных условий.

Для определения влияния вида системы отопления на распределение параметров микроклимата проведены расчеты для кухни и жилой комнаты. Результаты расчетов для кухни представлены на рисунках 3 и 4. В качестве расчетной области выступает вертикальный разрез, проходящий через окно и воздушную среду помещения.

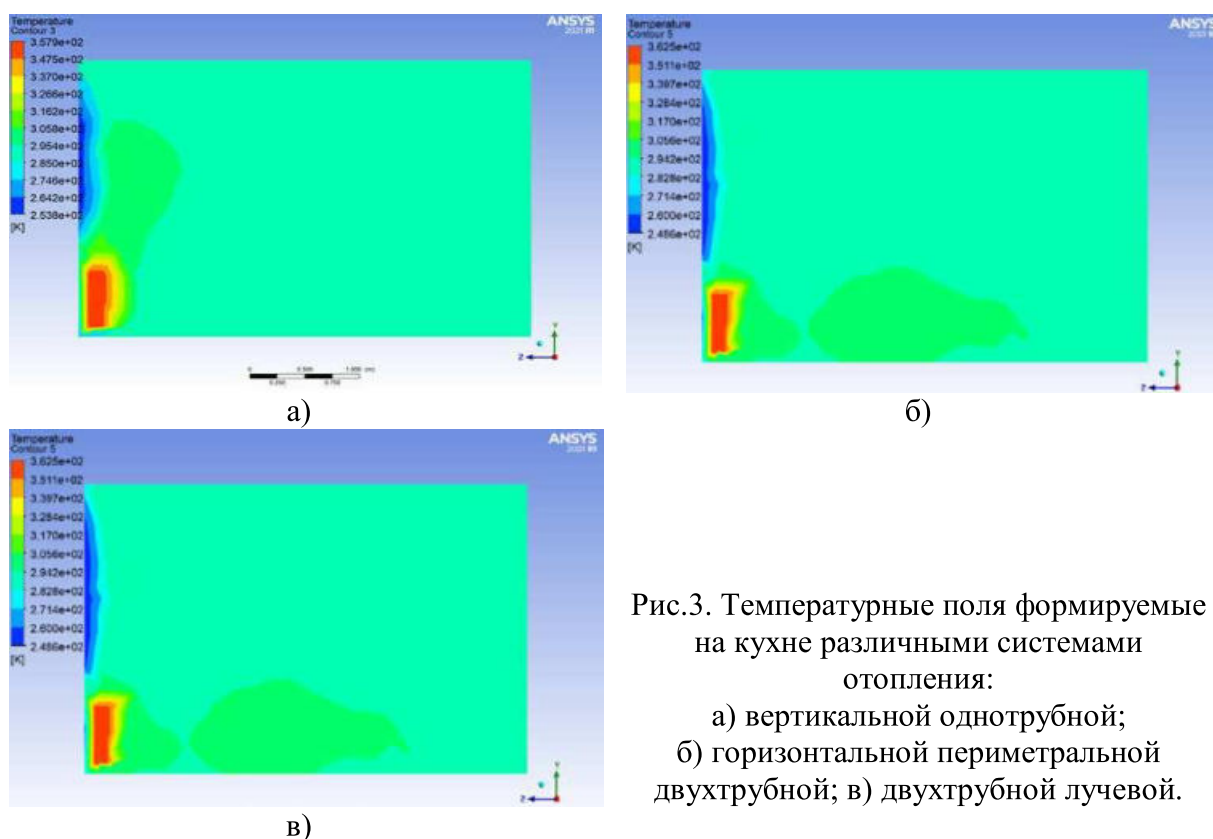


Рис.3. Температурные поля формируемые на кухне различными системами отопления:  
а) вертикальной однотрубной;  
б) горизонтальной периметральной двухтрубной; в) двухтрубной лучевой.

На основании результатов, представленных на рисунках 3 и 4, установлено, что движение потоков воздуха внутри помещения возникает около нагретых поверхностей (отопительных приборов, трубопроводов) и охлажденных поверхностей наружных ограждений. В результате перемещения потоков воздуха в объеме помещения имеет место неравномерное распределение температуры и подвижности воздуха.

Распределения температуры и скорости воздушной среды в условиях применения одного и того же отопительного прибора в различных системах отопления имеют различающийся характер. В случае применения различных горизонтальных систем отопления наблюдаются схожие картины температурных полей, но отличаются численным значением параметров в точках с одинаковыми координатами.

Повышенное значение температуры в помещении (рис. 3) выше нормируемого значений обусловлено выполнением требований п. 6.2.13 СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» в котором сказано, что тепловой поток отопительного прибора следует принимать на 15% больше требуемого полученного расчетом, для возможности выбора конечным потребителем комфортных тепловых условий. Для осуществления выбора комфортных тепловых условий в системах отопления необходимо устанавливать термостатические клапаны, которые отсутствуют в реализованной численной модели.

Средние значения температуры на внутренних поверхностях наружных ограждений (рис. 3) находятся в пределах от 21°C до 24°C. Так, как температура внутренней поверхности превышает температуру точки росы ( $t_p = 11,5^\circ\text{C}$ ) больше, чем на 3 °C, то конденсации влаги на внутренней поверхности стен происходить не будет.

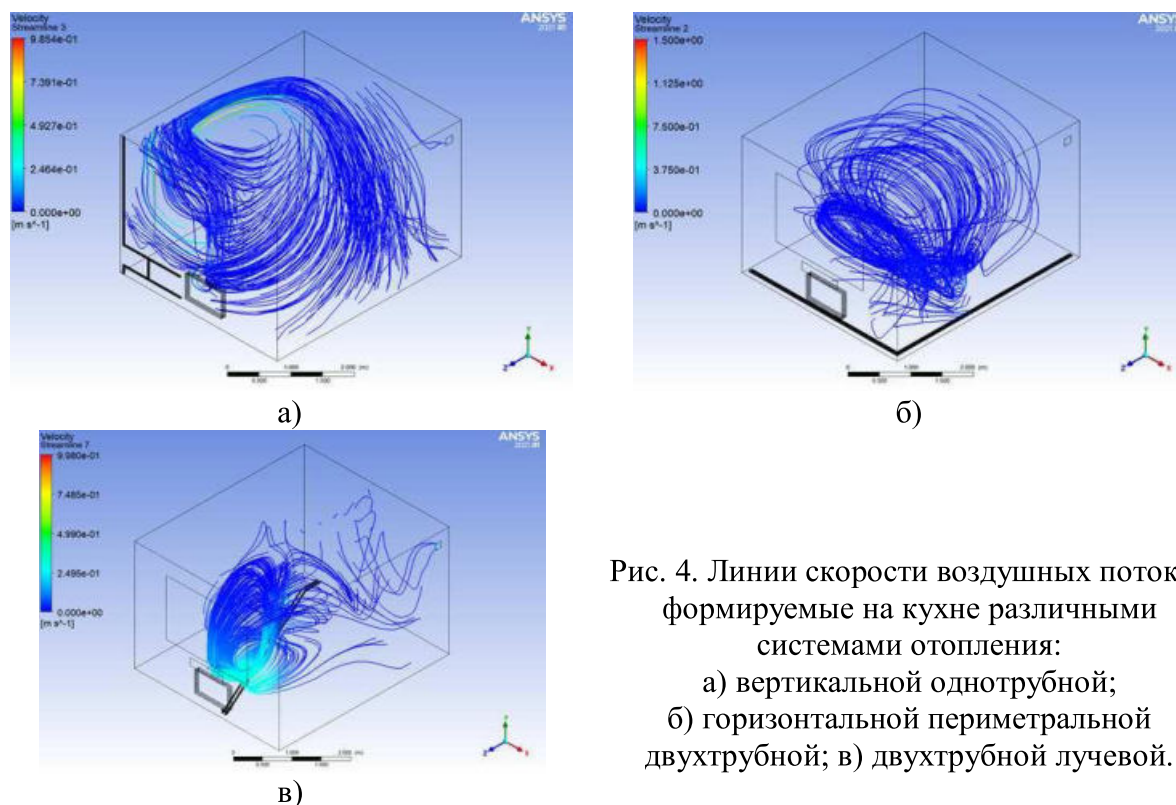


Рис. 4. Линии скорости воздушных потоков формируемые на кухне различными системами отопления:  
 а) вертикальной однотрубной;  
 б) горизонтальной периметральной двухтрубной; в) двухтрубной лучевой.

Для обеспечения комфортных тепловых условий и отсутствия высокого уровня шума необходимо чтобы скорость движения воздушных потоков в отапливаемом помещении не превышала 0,2 м/с согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Однако, согласно рисунку 4 в реализуемой численной модели скорость движения воздушных потоков изменяется в пределах от 0,33 м/с до 0,4 м/с, что превышает допустимое значение. Это связано с полученными значениями температуры воздуха внутри помещений, превышающими нормируемые значения и настройками приточных клапанов в численной модели.

#### Список использованных источников

1. Проектирование систем отопления и вентиляции зданий: учебное пособие / А.А. Балашов [и др.]. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014 – 132 с.
2. Зиганшин, А.М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent: методическое пособие / А.М. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. – 79 с.

УДК 62-231

**Майоров Н. И., Карпов С. В., Дедов Д. Л.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: del00x@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА**

**Mayorov N. I., Karpov S. V., Dedov D. L.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: del00x@mail.ru

### **THE USE OF ROBOTIC DEVICES FOR REHABILITATION AFTER STROKE**

*Аннотация.* В данной работе представлен обзор роботизированных реабилитационных устройств. Рассматриваются требования, предъявляемые к реабилитационным роботам.

*Ключевые слова:* Механотерапия, ортез, реабилитация, экзоскелет.

*Abstract.* This paper provides an overview of the current level of research on robotic rehabilitation devices. The requirements for rehabilitation robots are considered.

*Keywords:* Mechanotherapy, orthosis, rehabilitation. exoskeleton

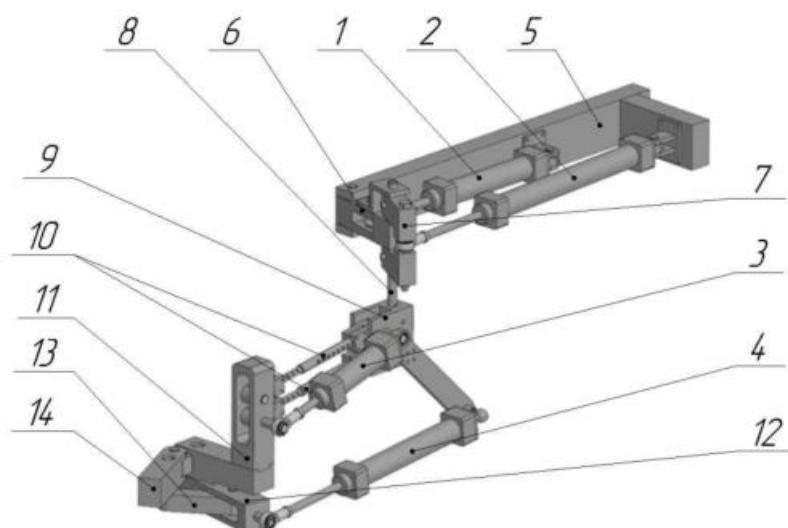
Инсульт является одной из ведущих причин инвалидности и потери двигательных функций. Ежегодно от него страдают миллионы людей по всему миру. Согласно исследованиям [1], только 18% людей, перенесших инсульт, полностью восстанавливают двигательные функции через 6 месяцев. Согласно [2], механотерапия верхних конечностей оказывает положительное влияние на ход реабилитации пациентов, перенесших инсульт. Важными факторами успешной реабилитации являются интенсивность тренировок, их продолжительность и повторяемость [3-4]. Наиболее распространенным подходом к реабилитации после инсульта является индивидуальная мануальная терапия. Этот подход является трудоемким, дорогостоящим и требующим больших затрат времени. Кроме того, такие тренировки часто имеют недостаточную продолжительность для достижения оптимального терапевтического результата, качество терапии зависит от опыта терапевта. Также, при мануальной терапии нет возможности отслеживания количественных показателей эффективности и прогресса пациента. Реабилитационные роботы (РР) помогают решить данные проблемы и являются полезным инструментом в реабилитации после инсульта. Терапия с помощью РР может быть более интенсивной и продолжительной по времени, а также иметь более высокую повторяемость, чем мануальная терапия.



Используя РР, можно увеличить количество и продолжительность тренировок при одновременном сокращении количества терапевтов, необходимых для каждого пациента, что, в свою очередь, приводит к снижению затрат на персонал. Кроме того, роботизированная терапия обеспечивает возможность наблюдения и объективной оценки показателей прогресса реабилитации [5]. При этом цель роботизированной реабилитации состоит не в том, чтобы заменить человека-терапевта роботом, а в том, чтобы робототехника и автоматизированные технологии помогали в реабилитационных мероприятиях, улучшали, оценивали и документировали их.

Рассмотрим требования, предъявляемые к РР. РР должен соответствовать конечностям человека с точки зрения длины звеньев, степеней свободы и диапазонов движений. Достаточное количество степеней свободы позволит выполнять необходимые движения с задействованием анатомических осей суставов пациента. Для эффективной интеграции РР должен быть простым в использовании, эргономичным и гибким. Пациенты любого пола, разного роста и веса должны иметь возможность пользоваться устройством. Еще одним аспектом, который необходимо учитывать, является адаптивность и наличие обратной связи. Вес РР не должен ощущаться пользователем, пациент должен иметь возможность легко перемещать РР, этого можно достичь с помощью аппаратуры с обратной связью. Также, важным вопросом является оптимизация инерциальных характеристик устройства. Достижение этих целей является сложной инженерной задачей при создании РР [6,7].

Планируется создание прототипа роботизированного комплекса для реабилитации верхних конечностей. За счёт топологической оптимизации геометрии узлов предполагается улучшить эксплуатационные характеристики РР. В качестве приводов было принято решение использовать пневмоцилиндры из-за их высокой удельной мощности. Внешний вид и устройство комплекса представлены на рисунке 1.



1-4 – пневмоцилиндры, 5 – балка, 6 – плечевое звено, 7 – рычаг, 8 - ось, 9 – крепление, 10 – регулятор длины плеча, 11-14 – четырехзвенный механизм

Рис. 1. 3D-модель роботизированного реабилитационного комплекса



Пневмоцилиндры 1-4 имеют диаметр 40 мм и длины хода штока 150, 300, 200, 75 мм соответственно. Пневмоцилиндры 1 и 2 крепятся к балке 5 шарнирным соединением. Пневмоцилиндр 1 задаёт смещение оси плечевого сустава в аксиальной плоскости. Пневмоцилиндр 2 толкает рычаг 7, соединенный с креплением 9 с помощью оси 8, поворачивая плечо в аксиальной плоскости. Ось 8 имеет отверстия для регулировки высоты крепления 9 в диапазоне от 42 мм до 126 мм с шагом 12 мм. Пневмоцилиндр 3 приводит в движение параллелограммный механизм, поднимая звено 11 четырехзвенного механизма таким образом, что оно остаётся параллельным креплению 9, поворачивая плечо в парасагиттальной плоскости. Звенья 10 параллелограммного механизма представляют собой две пары концентричных трубок с отверстиями для фиксации, позволяющие регулировать длину в диапазоне от 273 мм до 332 мм с шагом 12 мм. Пневмоцилиндр 4 приводит в движение четырехзвенный механизм, выходное звено 14 которого крепится к предплечью и задаёт его движение (сгибание и разгибание). Использование четырехзвенного механизма позволяет расположить приводной пневмоцилиндр 4 так, чтобы он не мешал движению. Крепление пневмоцилиндра 4 осуществляется с помощью шаровых подшипников, чтобы обеспечить возможность совместных движений пневмоцилиндров 3 и 4.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005).

#### Список использованных источников

1. Nakayama, H. Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study / H. Nakayama, H. S. Jørgensen, H. O. Raaschou, T. S. Olsen // *Arch Phys Med Rehabil* – Vol. 75, Issue 4, – 1994, – P. 394-398.
2. Dobkin, B. H. Strategies for stroke rehabilitation. / B. H. Dobkin // *Lancet Neurol.* – 2004, Sep;3(9) – P. 528-536.
3. Nelles, G. Cortical reorganization—effects of intensive therapy. / G. Nelles // *Restorative Neurology and Neuroscience* – 2004, 22(3-5) – P. 239-244.
4. Kwakkel, G. Long term effects of intensity of upper and lower limb training after stroke: a randomized trial. / G. Kwakkel, B. J. Kollen, R. C. Wagenaar // *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* – 2002 Apr;72(4) – P. 473-479.
5. Babaiasl, M. A review of technological and clinical aspects of robot-aided rehabilitation of upper-extremity after stroke. / M. Babaiasl, S. H. Mahdioun, P. Jaryani, M. Yazdani // *Disabil Rehabil Assist Technol.* – 2016;11(4) – P. 263-280.
6. Riener, R. Robot-aided neurorehabilitation of the upper extremities. / R. Riener, T. Nef, G. Colombo // *Med Biol Eng Comput.* – 2005 Jan;43(1) – P. 2-10.
7. Krebs, H. I. Rehabilitation robotics: pilot trial of a spatial extension for MIT-Manus. / H. I. Krebs, M. Ferraro, S. P. Buerger, M. J. Newbery, A. Makiyama, M. Sandmann, D. Lynch, B. T. Volpe, N. Hogan // *J Neuroeng Rehabil.* – 2004 Oct 26;1(1) – P. 1-5.

УДК 66.045

**Минаев Д.А.<sup>1</sup>, Попов О.Н.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: danminaew@yandex.ru,

<sup>2</sup>e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ А.П. МЕРКУЛОВА**

**Minaev D.A.<sup>1</sup>, Popov O.N.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: danminaew@yandex.ru,

<sup>2</sup>e-mail: popov\_oleeg@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты численного моделирования температурных разделений в вихревой трубе А.П. Меркулова посредством пакета прикладных программ «Ansys Fluent».

*Ключевые слова:* вихревая труба, численное моделирование, эффект Ранка-Хилша.

*Abstract.* The article presents the results of numerical simulation of temperature separations in a vortex tube by A.P. Merkulov using the «Ansys Fluent» application software package.

*Keywords:* vortex tube, numerical modeling, Rank-Hilsch effect.

Вихревые трубы, принцип работы которых основан на эффекте Ранка-Хилша, применяются в различных технологических процессах. Как правило, выбор оптимальных геометрических параметров вихревых труб осуществляется с помощью проведения физических экспериментов. Однако в настоящее время наряду с физическими экспериментами выбор параметров можно осуществляться при помощи численного моделирования в современных пакетах вычислительной гидродинамики. Численное моделирование экономит время и средства при проработке разных конструктивных решений [1].

В статье рассматривается численная модель делящей вихревой трубы (рис. 1) входящей в состав лабораторной установки подробно описанной в работе [2].

С помощью измерительных приборов определили геометрические параметры элементов вихревой трубы (табл. 1), которые затем вычертили подетально в системе автоматизированного проектирования *AutoCAD* (рис. 2).

Таблица 1. Геометрические параметры вихревой трубы

Параметр	Значение
Внутренний диаметр вихревой трубы	17 мм
Диаметр диафрагмы	9 мм
Длина камеры энергетического разделения	135 мм
Тип соплового ввода	Тангенциальный



Рис. 1. Лабораторный образец вихревой трубы

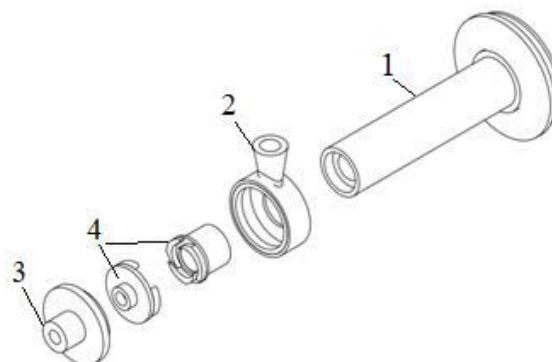


Рис. 2. Трёхмерная модель элементов вихревой трубы:  
1 – цилиндрическая труба; 2 – сопло;  
3 – патрубок выхода; 4 – диафрагма.

Для создания трёхмерной цифровой модели вихревой трубы загрузили в *Ansys SpaceClaim* вычерченные в *AutoCAD* элементы (рис. 2), где собрали их в единую конструкцию представленную на рисунке 3.

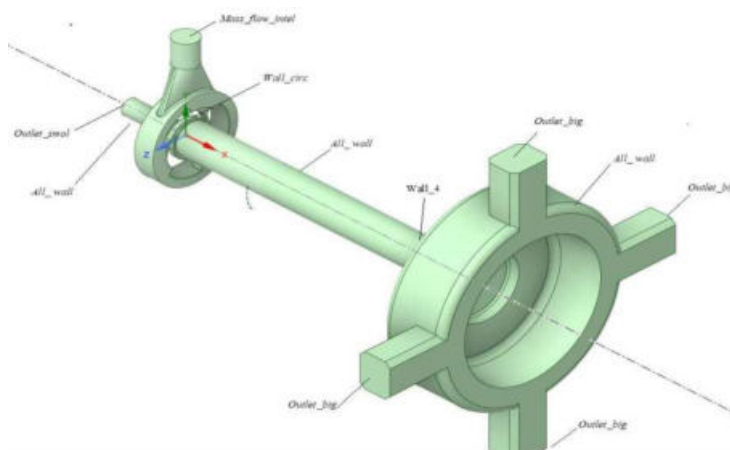


Рис. 3. Геометрическая модель вихревой трубы

Для решения задачи проводится дискретизация расчетной области геометрической модели. Воспользовавшись, автоматическим построение сетки, получили сеточную

модель вихревой трубы (рис. 4) с двумя размерами ячеек (1 мм и 2,5 мм) и внутреннюю сетку модели, в которой движется поток газа (рис. 5).

Сетка с размером ячеек 1 мм располагается в месте завихрения входного потока. На геометрии это маленький участок, однако, его стоит учесть, так как основной процесс завихрения потока и начало его деления происходит именно здесь. Оставшуюся геометрию модели занимает сетка с размером 2,5 мм. Так же на модели стрелочками показано движение потоков. Синими стрелочками показано направление входной потока, ярко красными – выход «холодного» потока, а тёмно красными – поток «горячего» воздуха (рис. 4).

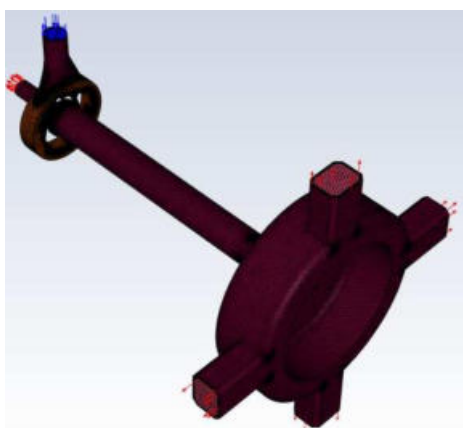


Рис. 4. Модель с расчётной сеткой

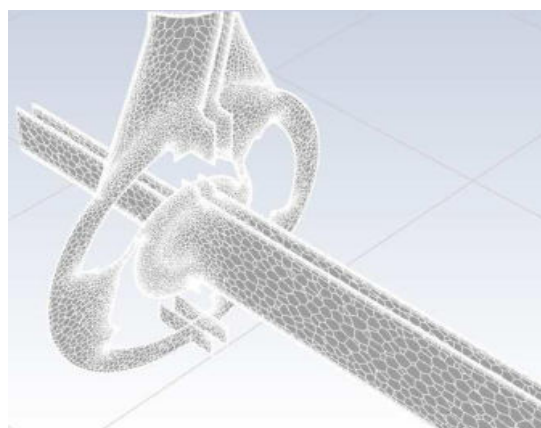


Рис. 5. Фрагмент внутренней сетки модели

На основе созданной сеточной модели в подпрограмме *Ansys Fluent* создана расчетная модель вихревой трубы путём задания начальных и граничных условий, параметров рабочего тела, настроек решателя.

Результаты исследования были проведены до условий сходимости по невязкам численных экспериментов. Вихревой эффект температурного разделения был получен для делящей вихревой трубы (рис. 6).

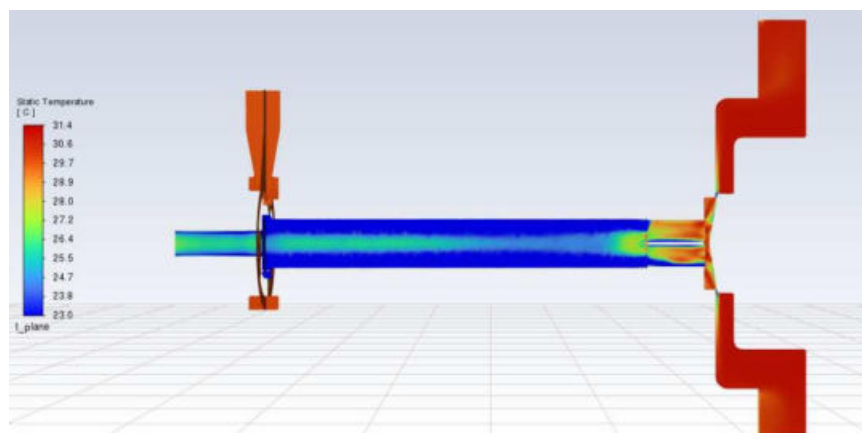


Рис. 6. Деление потока воздуха на температурные зоны

В ходе выполнения работы построена численная модель вихревой трубы А.П. Меркулова, позволяющая выбрать оптимальную конструкцию и оптимизировать геометрические параметры вихревой трубы.

Проведено численное моделирование трехмерного течения потока газа в вихревой трубе А.П. Меркулова. Получены термодинамические и гидродинамические характеристики, которые подтверждают эффект температурного разделения потока.

#### Список использованных источников

1. Меркулов, А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / А.П. Меркулов. – М.: Машиностроение, 1969 – 184 с.
2. Черепенников, И.А. Вихревая труба / И.А. Черепенников, Б.В. Панков, В.И. Быченко. – Тамбов: Тамбовский институт химического машиностроения, 1991 – 24 с.

УДК 629.783

**Чернов П.В., Медведев И.П., Казьмин С.К., Чепрасов В.В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: pavel.chernov.2003@mail.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК ДЛЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

**Chernov P.V., Medvedev I.P., Kazmin S.K., Cheprasov V.V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: pavel.chernov.2003@mail.ru

## **FEATURES OF CONSTRUCTION OF ANTENNA ARRAYS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS**

*Аннотация.* Данная статья посвящена особенностям построения антенных решёток для систем спутниковой связи. Спутниковая связь является более перспективной для использования в отдалённых районах за счет малой стоимости построения инфраструктуры, возможности работы практически в любой точке земли и широкой пропускной способности.

*Ключевые слова:* Спутниковая связь, антенная решётка, электронное управление лучом, реконфигурируемая интеллектуальная поверхность, формирование луча.

*Abstract.* This article is devoted to the features of constructing antenna arrays for satellite communication systems. Satellite communication is more promising for use in remote areas due to the low cost of building infrastructure, the ability to work in almost any point on earth and a wide bandwidth.

*Keywords:* Satellite communications, antenna array, electronic beam steering, reconfigurable intelligent surface, beamforming.

В настоящее время, происходит достаточно большое развитие систем спутниковой связи, как для реализации звукового вещания и звуковой связи в целом, так и для обеспечения интернет-соединения. Исходя из этого, широкое развитие также получили терминалы способные обеспечивать постоянную и качественную связь с необходимыми спутниками.[1]

При разработке систем спутниковой связи к ним предъявляются ряд требований, от которых будет зависеть конструктив будущей антенны: массогабаритные показатели и устойчивость сеанса связи. Особенно сильно данные параметры будут влиять при проектировании систем мобильной спутниковой связи.[2]

На эффективность таких систем будет влиять работа конечного оборудования, в частности, терминалов спутниковой связи. Одним из показателей эффективности

работы терминалов спутниковой связи являются эффективные антенные системы. К таким системам можно отнести системы, построенные на базе адаптивных цифровых антенных решёток.

Одним из наиболее перспективных типов антенн в настоящее время является антенная решетка из единичных элементов в печатном исполнении. Плюсы подобных решеток: малые размеры, высокий коэффициент направленного действия, высокая точность изготовления самих излучателей.

Достижение конечных целей, при разработке спутниковых решеток в первую очередь зависит от грамотного выбора единичного излучателя, обладающего приемлемым коэффициентом усиления, шириной луча и коэффициентом стоячей волны в необходимой полосе частот. [3]

В качестве единичного излучателя нами была выбрана микрополосковая дисковая антенна, обладающая коэффициентом усиления 6.622 дБи на частоте 12.4 ГГц. Модель и основные электродинамические характеристики единичного излучателя показаны на рисунке 1, 2.

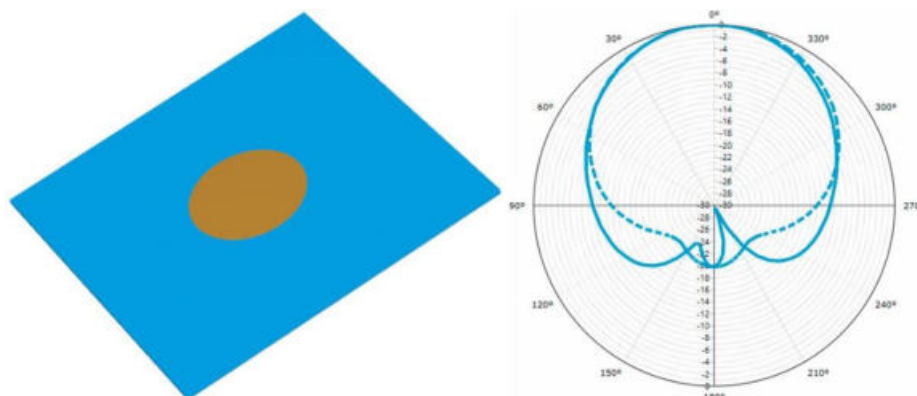


Рис.1. Модель единичного излучателя и его диаграмма направленности.

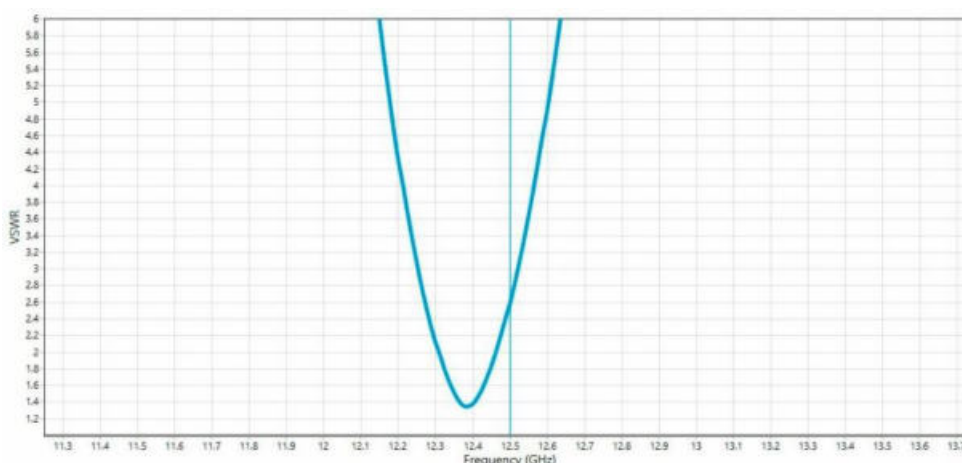


Рис.2. Коэффициент стоячей волны единичного излучателя

Из данной антенны была сформирована антенная решетка с размерностью  $2 \times 2$ , модель которой приведена на рис. 3, диаграмма направленности решётки приведена на рис. 4

В зависимости от типа излучателей существуют разные зависимости расстояния от частоты. Для микрополосковых излучателей оптимальное  $d = \lambda/x$ , где  $d$  – расстояние между элементами,  $\lambda$  – длина волны,  $x$  – индекс, равный 2, либо 4.

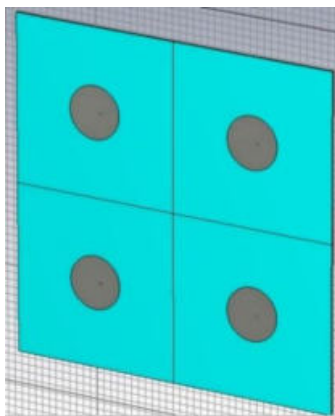


Рис.3. Модель антенной решетки из микрополосковых дисковых излучателей.

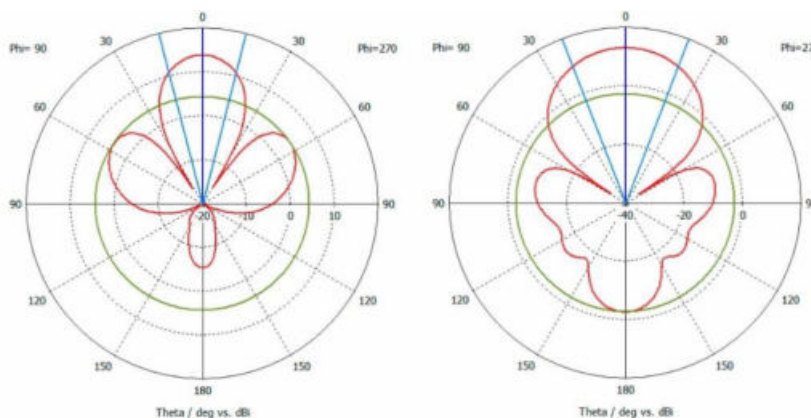


Рис.4. Диаграмма направленности антенной решетки при  $x=2$  (слева), и  $x=4$  (справа).

При увеличении  $x$  мы получили увеличение ширины главного лепестка диаграммы направленности: с 28.8 град. до 42 град., но при этом произошло уменьшение коэффициента усиления: с 13.8 дБи до 12.9 дБи

Также на основе данных элементов была промоделирована антенная решетка размером  $7 \times 7$ , с  $x=2$ . (Рис.5)

При увеличении количества элементов мы получили существенных прирост коэффициента усиления: с 13.8 дБи до 25 дБи, но при этом ширина главного лепестка уменьшилась до 7.7 град.

В результате моделирования мы получили антенную решетку позволяющую достаточно эффективно работать в системах спутниковой связи, как в стационарном, так и при мобильном использовании. Используя технологию электронного управления



лучом и метод реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей можно добиться непрерывного и качественного наведения главного луча антенны на спутник без использования усложняющих конструкцию механических деталей. [4]

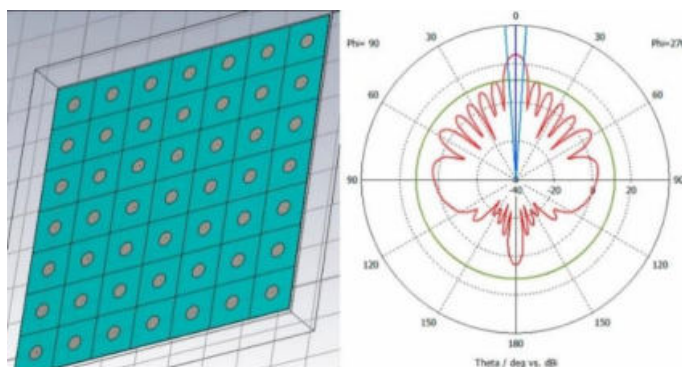


Рис.5. Модель и диаграмма направленности антенной решётки.

Таким образом применение антенных решеток выполненных в микрополосковом исполнении позволяет разрабатывать эффективные антенные системы, в частности антенные системы с цифровым диаграммообразованием, позволяющие реализовывать технологии MU-MIMO и beamforming. Также это позволит снизить массогабаритные показатели и интегрировать приёмо-передающую часть терминала непосредственно в сам излучатель.

#### Список использованных источников

1. Белоусов О.А. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 266-272. – DOI 10.17277/vestnik.2015.02.pp.266-272. – EDN TVSVWN.
2. 15. Белоусов О.А. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2015. – № 2(56). – С. 184-194. – DOI 10.17277/voprosy.2015.02.pp.184-194. – EDN TUWFHV.
3. Алгоритмическое обеспечение диаграммообразующего устройства фазированной антенной решётки на основе нейросетевой архитектуры / М. М. Кирюпин, О. А. Белоусов, В. И. Тетюхин [и др.] // Ползуновский альманах. – 2022. – № 4-1. – С. 9-12. – EDN ABBJOQ.
4. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белоусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762.

УДК 663.86.054.2

**Шкодяк К. Е.<sup>1</sup>, Помблас Р. А.<sup>2</sup>, Пиотровский Д. Л.<sup>3</sup>**

МИРЭА - Российский технологический университет, Россия, г. Москва

<sup>1</sup>e-mail: karina.shkodyak@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: pombblas@gmail.com

<sup>3</sup>e-mail: piotrovsky2005@yandex.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КВАСА С РАЗРАБОТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БРОДИЛЬНО-КУПАЖНЫМ АППАРАТОМ**

**Shkodyak K. E.<sup>1</sup>, Pombblas R. A.<sup>2</sup>, Piotrovsky D. L.**

MIREA - Russian Technological University, Russia, Moscow

<sup>1</sup>e-mail: karina.shkodyak@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: pombblas@gmail.com

<sup>3</sup>e-mail: piotrovsky2005@yandex.ru

## **AUTOMATION OF KVASS PRODUCTION WITH THE DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR FERMENTATION AND BLENDING UNIT**

*Аннотация.* В данной статье рассматривается процесс сбраживания и купажирования для производства кваса и проводится разработка системы управления для данного процесса. В результате проведенной работы разработаны функциональная схема автоматизации технологического процесса, алгоритм управления, диаграмма состояний конечного автомата, система управления и программа для управления броидильно-купажным аппаратом, разработанная в CoDeSys V2.3.

*Ключевые слова:* концентрат квасного сусла (ККС), броидильно-купажный аппарат (БКА), система автоматического управления (САУ), метод конечных автоматов, алгоритм управления.

*Abstract.* This paper examines the process of fermentation and blending for the production of kvass and develops a control system for this process. As a result of the work carried out a functional scheme for automating the technological process, a control algorithm, a state diagram of a finite state machine, a control system and a program for controlling the BKA, developed in CoDeSys V2.3.

*Keywords:* kvass wort concentrate (KWC), fermentation and bathing apparatus (FBA), automatic control system (ACS), finite automata method, control algorithm.

**Введение.** В настоящее время предприятия, производящие безалкогольную продукцию, используют некоторые из новейших достижений в области технологий и оборудования, в частности - полуфабрикаты высочайшего уровня готовности [1]. В

производстве кваса существенные изменения произошли за последние годы, так как появились новые достижения в технической и технологической части производства [2]. Брожение квасного суслу и его дальнейшее купаживание выполняют в бродильно-купажных аппаратах (БКА). Сам аппарат представляет собой цилиндрический резервуар с коническим дном, сферической крышкой, которая герметично закрыта люком и опорами [2].

БКА оснащен змеевиком для регулирования температуры. В нижней конической части имеется дрожжеотделитель с задвижкой и заслонкой. Кроме того, в БКА встроена мешалка для перемешивания компонентов при брожении и купаживании.

**Разработка функциональной схемы автоматизации технологического процесса.** Для анализа технологического процесса производства кваса была использована методология структурно-функционального моделирования для рассмотрения входных и выходных потоков, а также потоков управления и механизмов, необходимых для выполнения указанного процесса. Процесс делится на следующие подпроцессы: подача концентрата квасного суслу (ККС); приготовление квасного суслу; приготовление сахарного сиропа; разведение закваски; сбраживание и купаживание; охлаждение и розлив. На рис. 1-2. представлена функциональная схема автоматизации технологического процесса в БКА, построенная соответствии с ГОСТ 21.208-2013 [3].

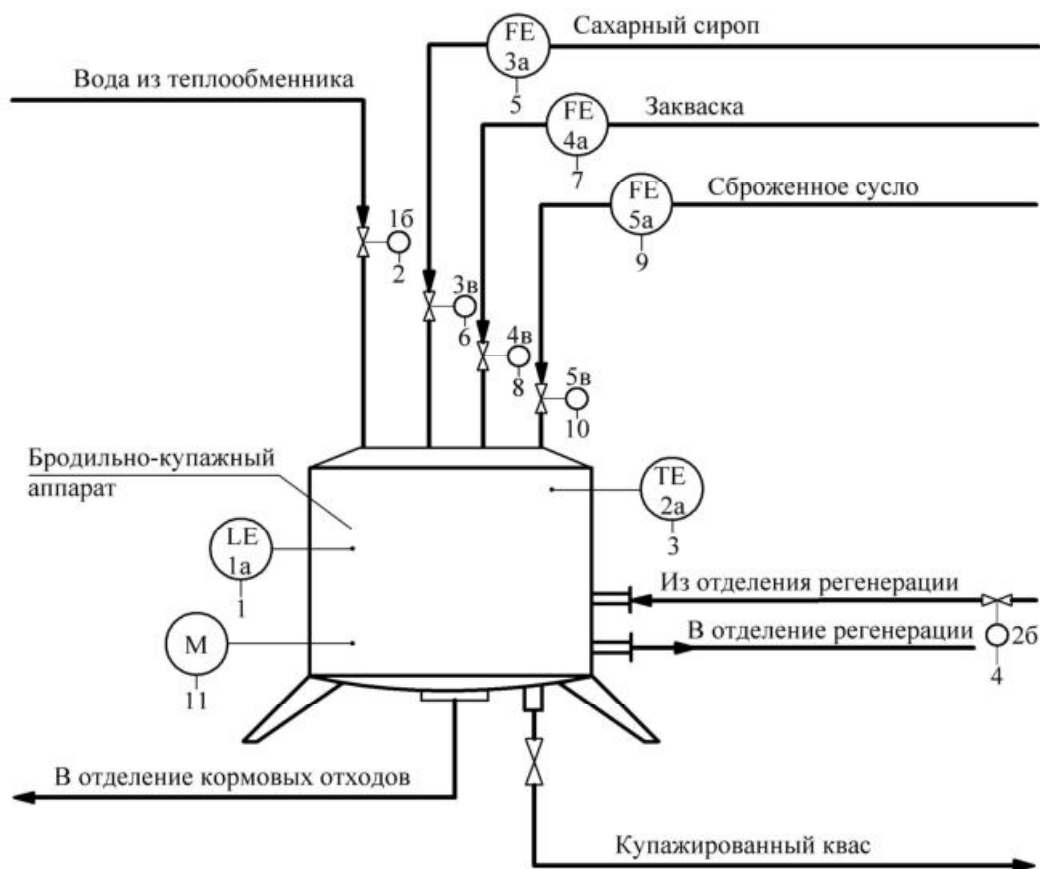


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации технологического процесса в бродильно-купажном аппарате (начало)

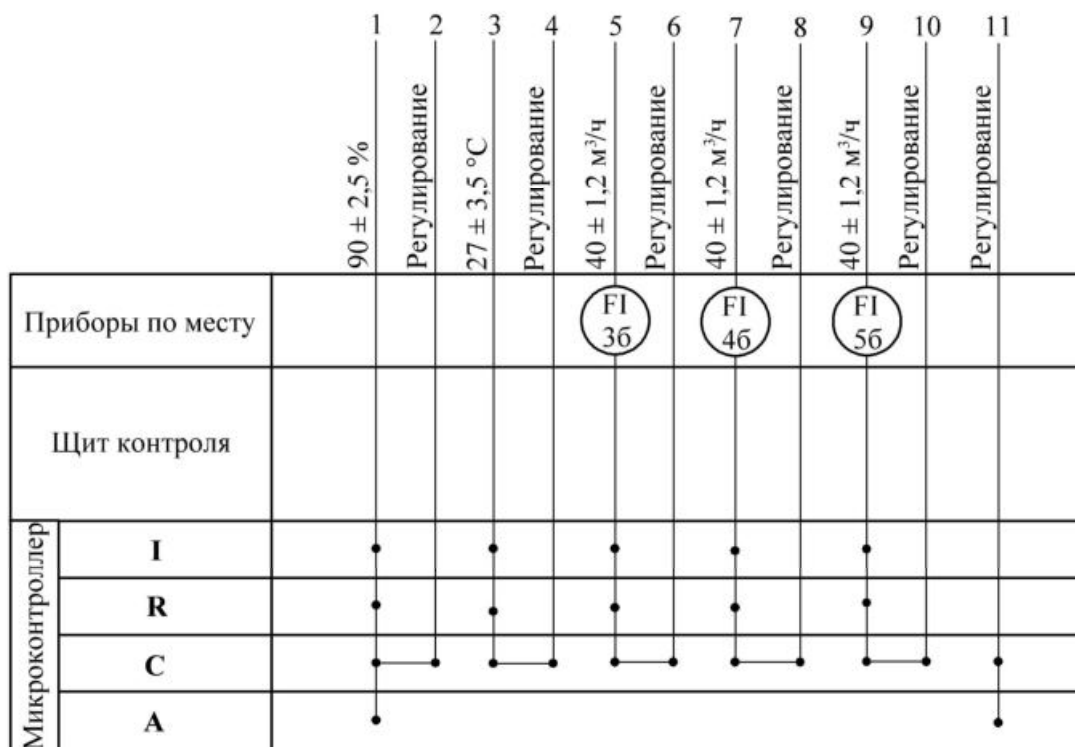


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации технологического процесса в бродильно-купажном аппарате (конец)

Для управления процессом в БКА используются датчики расхода, уровня и температуры. Параметры, влияющие на прохождение процесса: расход продукта, м<sup>3</sup>/ч (кг/ч); температура продукта, °С; расход воды, м<sup>3</sup>/ч (кг/ч); температура воды, °С; расход ККС, м<sup>3</sup>/ч (кг/ч); расход закваски, м<sup>3</sup>/ч (кг/ч); расход сахарного сиропа, м<sup>3</sup>/ч (кг/ч); температура сахарного сиропа, °С.

**Разработка алгоритма управления и модели конечного автомата.** Процесс начинается с подачи воды (рис. 3-4), клапан, открывается, а датчик уровня фиксирует объем жидкости в БКА. Далее открываются клапаны со сброженным суслем, закваской и сахарным сиропом, и после достижения нужного объема клапаны закрываются. Затем включается двигатель для мешалки. Этот процесс длится 30 минут. Далее происходит процесс брожения, который длится 8 часов. При брожении температура жидкости в БКА повышается, поэтому этот этап сопровождается поддержанием температуры с помощью системы охлаждения.

После брожения идет охлаждение жидкости до 7 °С. При охлаждении оседают дрожжи, которые после завершения этого этапа необходимо перевести в сборник кормовых дрожжей. На этапе купаживания сначала добавляется сахарный сироп: клапан открывается, датчик расхода фиксирует объем залитой жидкости, и при достижении необходимого объема клапан закрывается. Далее все перемешивается в течение 1 часа и после завершения этого этапа квас выдерживается так же в течение 1 часа. В конце всего процесса подается сигнал о завершении.



Рис. 3. Алгоритм управления (начало)

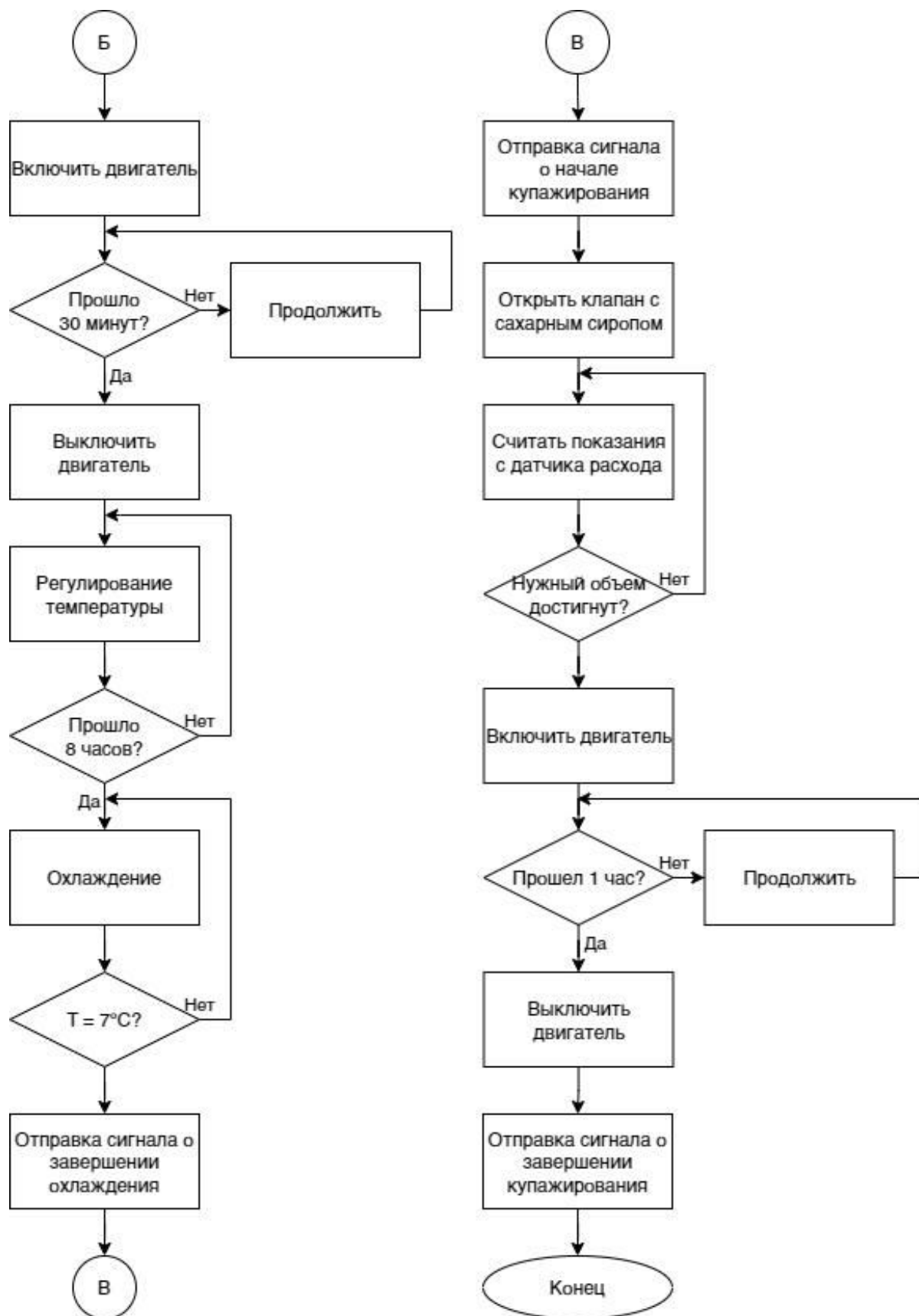


Рис. 4. Алгоритм управления (конец)

В Таблице 1 представлено описание состояний автоматизированного процесса.

Таблица 1. Описание состояний конечного автомата

Номер состояния	Роль
S1	Ожидание сигнала начала работы
S2	Подача воды
S3	Подача сброженного суслу
S4	Подача закваски
S5	Подача сахарного сиропа
S6	Перемешивание
S7	Брожение
S8	Охлаждение
S9	Ожидание сигнала о начале купаживания
S10	Добавление сахарного сиропа
S11	Перемешивание
S12	Выдерживание кваса

На рис. 5 представлен конечный автомат для процесса сбраживания и купаживания.

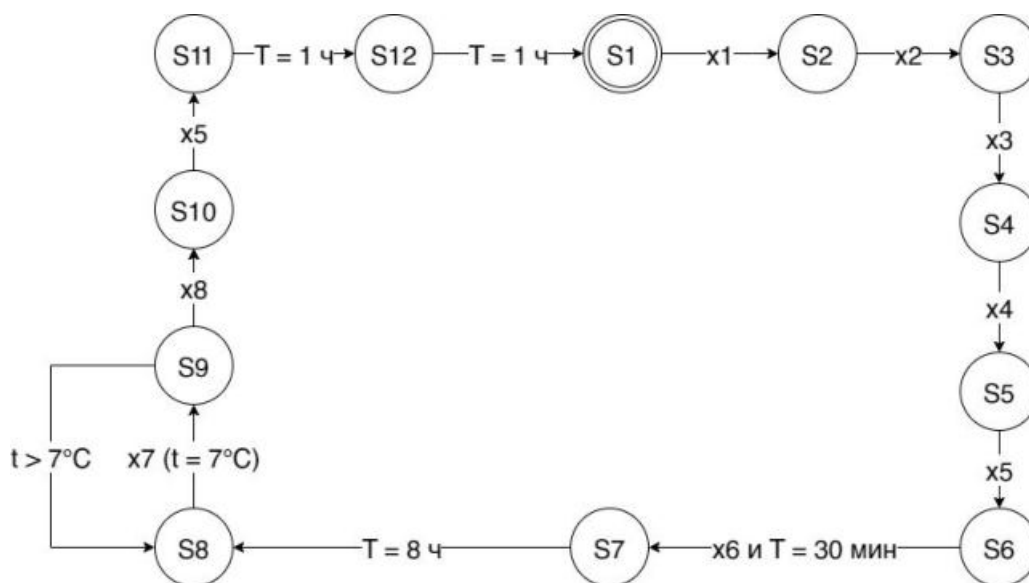


Рис. 5. Конечный автомат

**Система управления и разработка программы.** Для регулирования параметров была разработана САУ. На рис. 6. представлена структурная схема САУ, где описано взаимодействие объекта регулирования, датчиков и ПЛК.

Разработка программы для управления велась в CoDeSys V2.3. Для написания кода основной программы был выбран язык *Sequential Function Chart* (SFC), который позволяет осуществить последовательное управление процессов. Блоки действий и блоки переходов написаны на языке *Ladder Diagram* (LD). Язык SFC основан на системе условий, которые передают управление с одной операции на другую. На рис. 7 представлено объявление переменных для программы управления БКА.

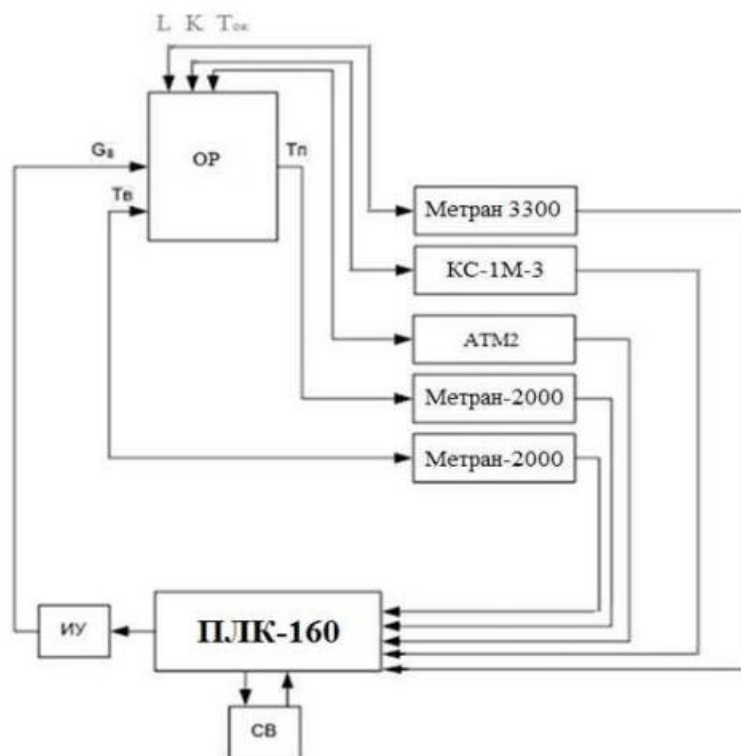


Рис. 6. Структурная схема САУ

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     Start: BOOL;
0004     ValveWater: BOOL;
0005     ValveGyle: BOOL;
0006     ValveFerment: BOOL;
0007     ValveSyrup: BOOL;
0008     SenW: REAL;
0009     SenG: REAL;
0010     SenF: REAL;
0011     SenS: REAL;
0012     Mixer: BOOL;
0013     MixingTimer: TON;
0014     TimeM: TIME;
0015     SenT: REAL;
0016     tempg: BOOL;
0017     templ: BOOL;
0018     ValveCoolant: BOOL;
0019     TimeFermentation: TON;
0020     StartBlending: BOOL;
0021     TimeBlending: TON;
0022     TimeBl: TIME;
0023     TimeStanding: TON;
0024     TimeSt: TIME;
0025 END_VAR
    
```

Рис. 7. Объявление переменных для программы  
 На рис. 8-9 представлена программа для ПЛК.



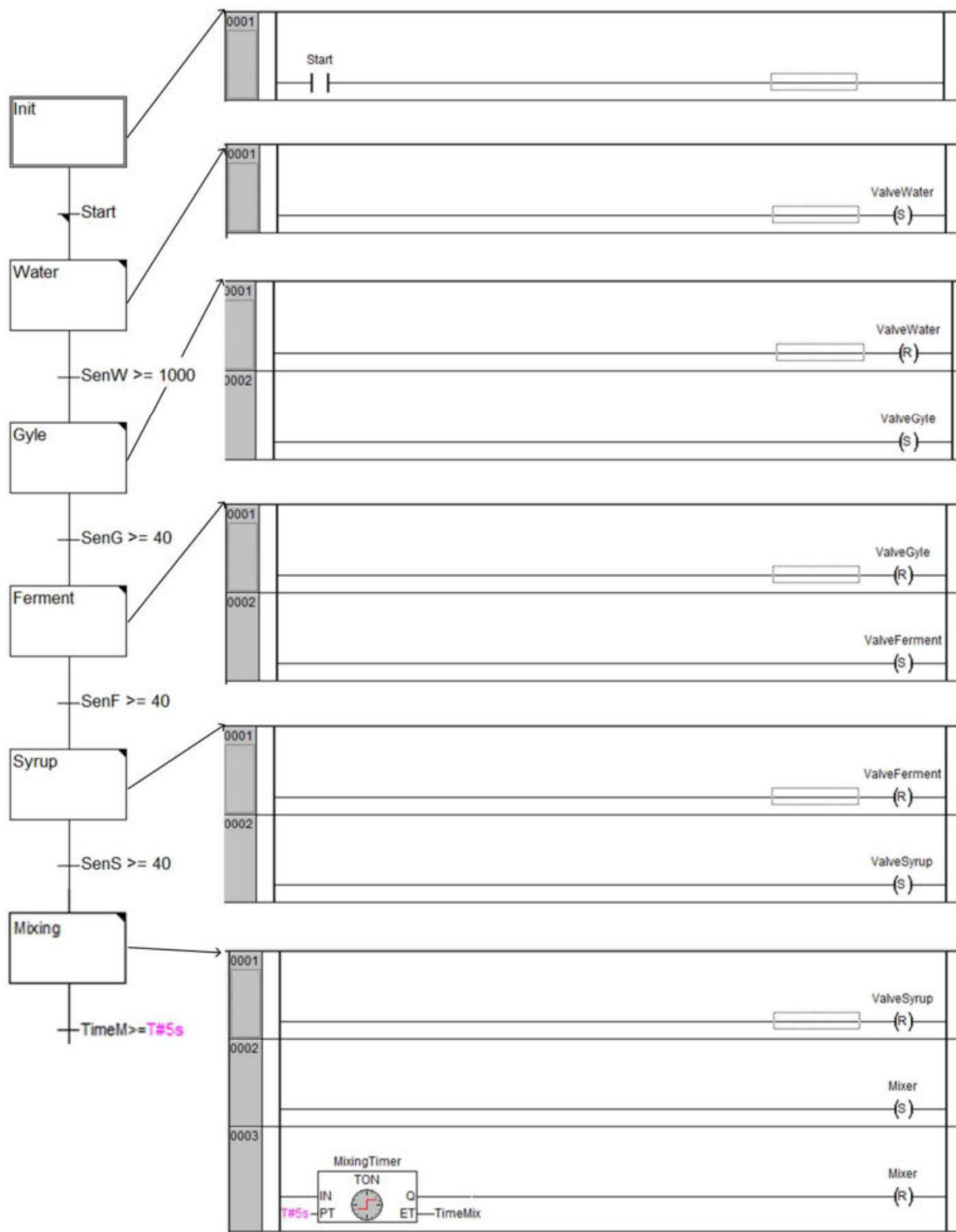


Рис. 8. Программа для ПЛК (начало)

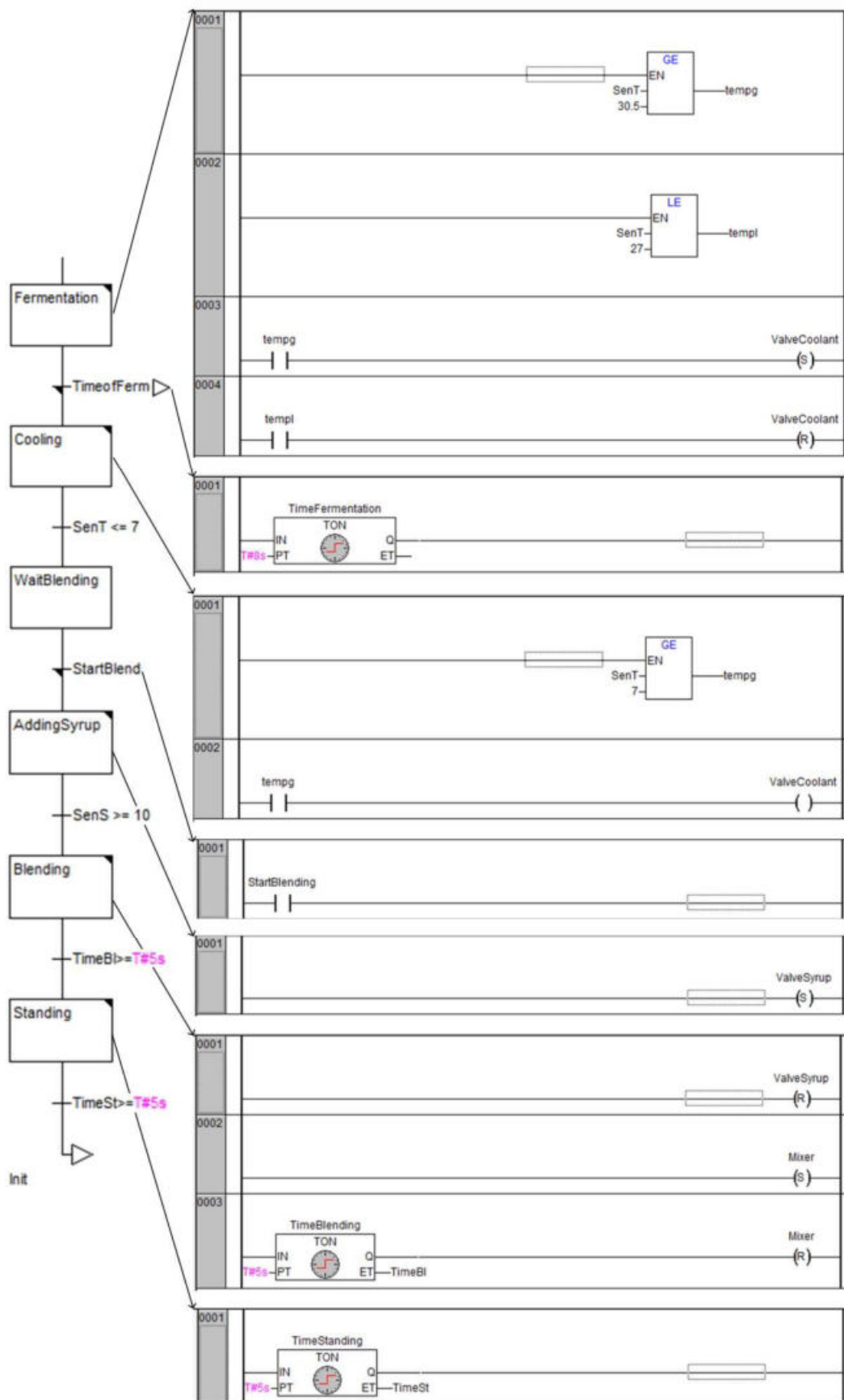


Рис. 9. Программа для ПЛК (конец)

**Заключение.** В результате проделанной работы был проанализирован процесс производства кваса, а именно процесс брожения и купаживания, и в соответствии с этим была разработана программа для управления БКА. Проведенные исследования показали, что разработанная система управления позволяет автоматизировать процесс сбраживания и купаживания для производства кваса.

#### Список использованных источников

1. Ермолаева Г.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: Учебник / Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева. – Москва: Academia: ИППО, 2000. – 413, [1] с.
2. Радионова И.Е. Производство кваса: Учеб.-метод. пособие. / И. Е. Радионова – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. 39 с.
3. Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах [Текст]: ГОСТ 21.208-2013. – Изд. июль 2020 с Поправкой (ИУС. 2–2015). – Взамен ГОСТ 21.404–85; введ. 01.11.2014.
4. Единая система программной документации (ЕСПД). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения [Текст] ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85). – Переизд. январь 2010. – Взамен ГОСТ 19.002–80, ГОСТ 19.003–80; введ. 26.12.90.

УДК 681.5

**Лавринов Д.С.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: texlavrds@gmail.com

## **ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТОИР**

**Lavrinov D.S.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: texlavrds@gmail.com

## **VIRTUAL MODELING, VISUALIZATION, AND PROTOTYPING IN MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS**

*Аннотация.* В статье рассматриваются методы и алгоритмы виртуального моделирования, визуализации и прототипирования систем управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР). Особое внимание уделено возможным решениям по улучшению процесса разработки виртуальных моделей, а также анализу их применения для оптимизации работы систем ТОиР.

*Ключевые слова:* виртуальное моделирование, системы ТОиР, прототипирование, техническое обслуживание, прогнозирование.

*Abstract.* This article explores methods and algorithms for virtual modeling, visualization, and prototyping of maintenance management systems (MMS). The focus is on possible solutions to improve the development of virtual models and their application in optimizing MMS processes.

*Keywords:* virtual modeling, MMS, prototyping, maintenance, prediction.

### **Введение**

На сегодняшний день системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) играют важную роль в поддержании работоспособности сложных технических объектов. В связи с усложнением самих систем и их обслуживания, возникает потребность в эффективных методах моделирования и прототипирования, которые позволили бы снизить затраты, повысить точность и предсказуемость процессов.

Цель статьи - определение возможных путей решения проблем разработки методов и алгоритмов для создания и применения виртуальных моделей и прототипов в системах ТОиР.

### **Основы виртуального моделирования в системах ТОиР**

Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование систем управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) - это важные аспекты современных подходов к управлению сложными техническими системами. Виртуальное моделирование представляет собой процесс создания цифровых двойников объектов или процессов, что позволяет тестировать различные сценарии без физического вмешательства. Если говорить о системах ТОиР, виртуальные модели дают возможность не только прогнозировать поведение оборудования, но и оценивать его текущее состояние, а также планировать обслуживание. Это позволяет значительно сокращать количество неожиданных отказов и уменьшить время простоя техники. Преимущества виртуального моделирования очевидны: оно снижает расходы на физические тесты, увеличивает точность предсказаний неисправностей и позволяет многократно тестировать различные сценарии эксплуатации

Применение данных методов особенно полезно для оценки состояния деталей, которые работают в условиях значительного износа.

#### **Методы создания виртуальных моделей**

Создание виртуальных моделей невозможно без разработки специализированных алгоритмов, учитывающих физические свойства, структуру и функциональные характеристики объектов ТОиР. Важнейшей задачей является разработка алгоритмов моделирования физических процессов, таких как деформации, температурные воздействия и другие влияния на состояние оборудования (см. Рис. 1.). Используются методы конечно-элементного анализа и математического моделирования для более точного представления реальных процессов, происходящих в системах. К примеру, моделирование деформаций позволяет предсказать, когда именно деталь может выйти из строя из-за перегрузок.

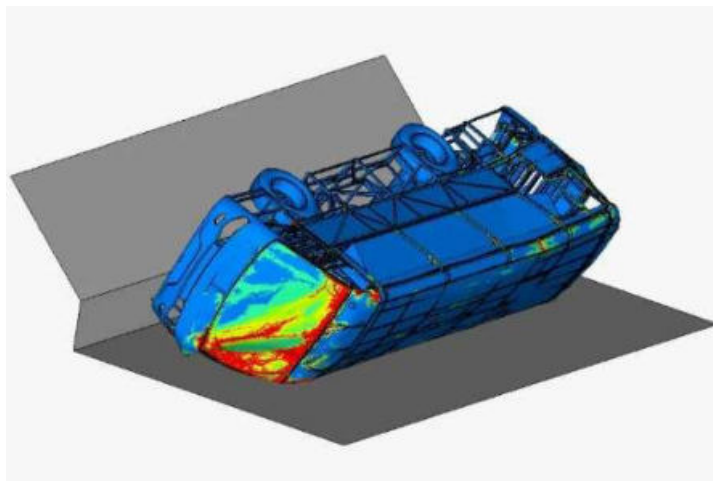


Рис.1. Моделирование деформаций детали в процессе эксплуатации

Другое важное направление - это применение алгоритмов прогнозирования на основе данных. С использованием методов машинного обучения можно проводить анализ исторических данных о поломках и условиях эксплуатации оборудования, что позволяет строить предиктивные модели. Алгоритмы на основе данных помогают с

высокой точностью предсказать возможные неисправности за счет анализа вибрационных сигналов, температуры, давления и других показателей (см. Рис.2.).

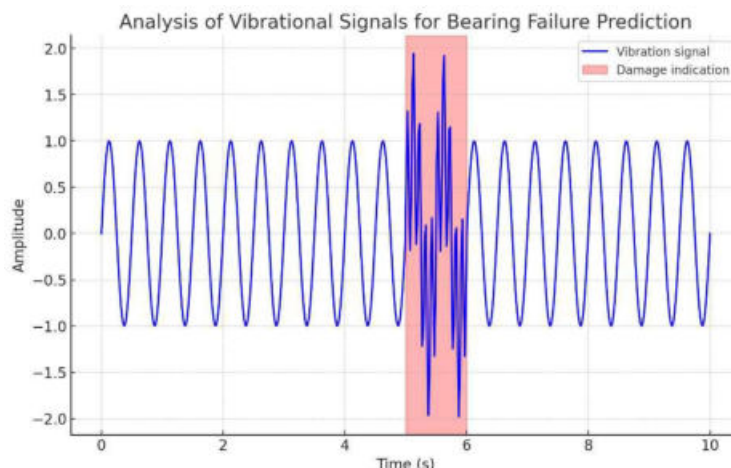


Рис.2. Анализ вибрационных сигналов для предсказания поломки подшипников

### Визуализация результатов моделирования

Визуализация результатов моделирования - это важная часть процесса создания и применения виртуальных моделей. Визуализация дает возможность операторам и инженерам наглядно увидеть состояние объектов, текущие и будущие проблемы, а также возможные сценарии их устранения. Внедрение интерактивных панелей для управления ТОиР способно обеспечить возможность создания визуальных моделей состояния оборудования с возможностью динамического изменения параметров для моделирования различных сценариев. К примеру, в реальном времени можно наблюдать за состоянием износа компонентов оборудования на основе данных с датчиков, что значительно упрощает работу по прогнозированию отказов и предотвращению аварийных ситуаций.

Также следует упомянуть, что графические отчеты и дашборды предоставляют инженерно-техническому персоналу наглядные метрики состояния системы (см. Рис. 3.). Данные инструменты позволяют отслеживать ключевые параметры состояния оборудования, а также оценивать риски возникновения поломок на различных этапах эксплуатации.



Рис.3. Пример дашборда с ключевыми метриками состояния оборудования

Это помогает своевременно принимать меры чтобы предотвратить неисправности и планировать необходимые работы по ТОиР.

### **Прототипирование систем управления ТОиР**

Прототипирование систем управления ТОиР - это важный этап в разработке и внедрении новых решений. Прототипирование позволяет проверять эффективность разработанных алгоритмов и методов на ранних стадиях их разработки, не дожидаясь внедрения в реальные системы. В системах ТОиР может включаться создание прототипов систем мониторинга состояния оборудования, а также систем автоматического планирования ремонтов и обслуживания.

### **Решение проблем разработки методов и алгоритмов**

Моделирование процессов обслуживания в рамках прототипирования позволяет тестировать работу цепочек поставок запасных частей, графиков обслуживания и ремонта, а также проводить оценку загрузки обслуживающего персонала. В качестве примера можно привести следующее: прототипирование автоматизированной системы планирования ТО на основе состояния оборудования может значительно повысить эффективность и точность планирования, минимизируя простои и снижая затраты на обслуживание (см. Рис.4.).

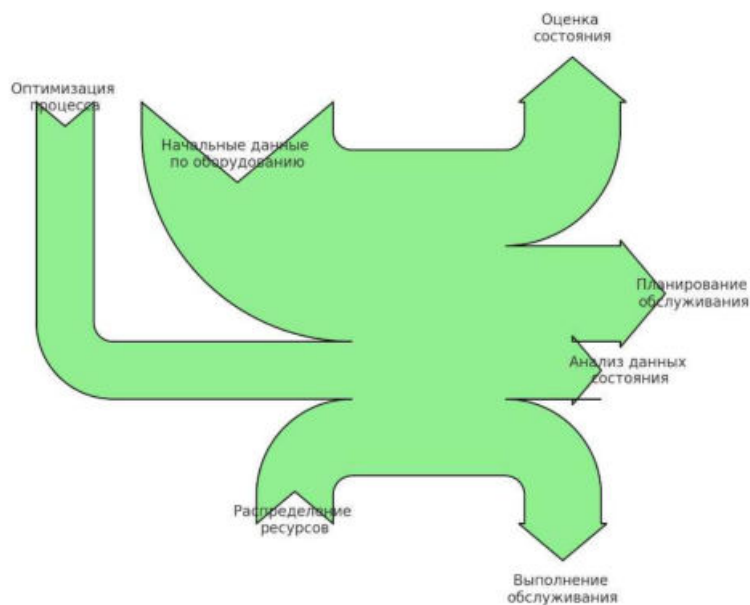


Рис.4. Моделирование процессов обслуживания с учетом состояния оборудования

Не смотря на очевидные преимущества, разработка методов и алгоритмов для виртуальных моделей в системах ТОиР сталкивается с рядом проблем. Одна из главных - это отсутствие достаточного объема данных для обучения моделей. Это особенно актуально для новых систем, где еще нет достаточного объема статистики о неисправностях и их причинах. Одним из решений может стать применение методов синтеза данных или внедрение цифровых двойников, которые позволят накапливать данные, имитируя реальные условия эксплуатации (см. Рис.5.).

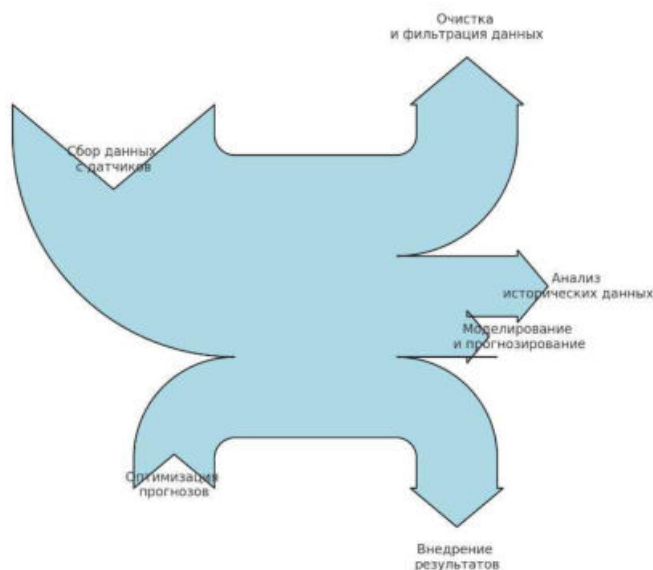


Рис.5. Синтез данных для улучшения прогнозирования

Следующая проблема заключается в высокой сложности моделей, которые должны учитывать множество факторов и взаимосвязей. Решение этой проблемы можно достичь за счет упрощения моделей через сегментацию систем, что позволит сосредоточиться на моделировании критически важных компонентов и процессов, без значительного ущерба для точности прогнозов. Использование гибридных методов моделирования также может повысить точность, так как они сочетают в себе несколько подходов к моделированию, что дает более полную картину поведения системы.

Следует также отметить трудности валидации моделей. Для успешного использования виртуальных моделей в системах ТОиР нужно, чтобы они точно отражали реальные процессы и состояния оборудования. Применение методов имитационного моделирования и обратной связи от реальных объектов позволяет более эффективно валидировать модели, сравнивая результаты моделирования с данными, полученными в ходе эксплуатации оборудования.

Таким образом, виртуальное моделирование и прототипирование в системах ТОиР открывают новые возможности для оптимизации процессов обслуживания и ремонта. Решение проблем разработки методов и алгоритмов создания виртуальных моделей нуждается в комплексном подходе, включающем разработку новых методов синтеза данных, упрощение моделей и использование гибридных методов, а также внедрение имитационных тестов для валидации.

### **Заключение**

Виртуальное моделирование и прототипирование открывают новые возможности для систем ТОиР. С их помощью можно оптимизировать процессы обслуживания и ремонта, снизить затраты и повысить надежность оборудования. Однако для успешного использования таких технологий необходимо решить ряд проблем, связанных с разработкой эффективных методов и алгоритмов моделирования.



Список использованных источников

1. Железняков, А. О. Имитационная модель системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронного оборудования [Электронный ресурс] / А. О. Железняков, В. П. Сидорчук, С. Н. Подрезов // Труды МАИ. – 2022. – №123. URL: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=165538> (дата обращения: 19.10.2024).
2. Моделирование в среде AnyLogic процесса технического обслуживания и ремонта автомобилей / В. В. Побединский [и др.] // Научно-технический вестник: технические системы в АПК. – 2023. – №2. – С. 59–63.
3. Орлов, С. П. Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств / С. П. Орлов, С. В. Сусарев // Онтология проектирования. – 2023. – №3 (49). – С. 424–436.
4. Любченко, А. А. Статистическое моделирование качественных показателей эксплуатации и технического обслуживания средств железнодорожной электросвязи в среде AnyLogic / А. А. Любченко, Е.Ю. Копытов, А.А. Богданов // Доклады ТУСУР. – 2018. – №4. – С. 98–108.

УДК 520.628

**Тришаков А.А., Белоусов О.А., Паршкова М.М.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: trishakov2016@yandex.ru

**СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИГНАЛОВ В  
СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5 ПОКОЛЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИИ MU-MIMO И BEAMFORMING С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМ**

**Trishakov A.A., Belousov O.A., Parshkova M.M.**

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: trishakov2016@yandex.ru

**METHODS FOR GENERATING SPATIAL SIGNALS IN 5TH GENERATION  
MOBILE COMMUNICATION NETWORKS WHEN IMPLEMENTING MU-MIMO  
AND BEAMFORMING TECHNOLOGIES USING HIGHLY EFFICIENT ANTENNA  
SYSTEMS**

*Аннотация.* статья рассматривает методы формирования пространственных сигналов в сетях мобильной связи пятого поколения (5G). Описываются технологии MU-MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) и Beamforming, которые позволяют увеличить пропускную способность и качество связи за счёт более эффективного использования доступных ресурсов и направленного излучения сигналов. Особое внимание уделяется применению высокопроизводительных антенных систем, которые обеспечивают точное формирование и управление сигналами. Статья может быть полезна специалистам в области телекоммуникаций и радиосвязи, а также студентам соответствующих специальностей.

*Ключевые слова:* MU-MIMO, Beamforming, пятое поколение, высокоэффективные антенные системы, телекоммуникация и радиосвязь

*Abstract.* The article examines the methods of spatial signal generation in fifth-generation (5G) mobile communication networks. MU-MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) and Beamforming technologies are described, which allow increasing the bandwidth and quality of communication due to more efficient use of available resources and directional signal emission. Special attention is paid to the use of high-performance antenna systems that ensure accurate signal generation and control. The article may be useful to specialists in the field of telecommunications and radio communications, as well as students of relevant specialties.

*Keywords:* MU-MIMO, Beamforming, fifth generation, high-performance antenna systems, telecommunications and radio communications

С развитием технологий мобильной связи растёт потребность в увеличении скорости передачи данных и улучшении качества связи. В рамках этого прогресса

важную роль играют передовые методы формирования пространственных сигналов, направленных на оптимизацию и устойчивость связи в сложных условиях.

Одним из решений этой задачи стало внедрение в сетях пятого поколения (5G) технологий MU MIMO (Multi-User MIMO) и beamforming, а также использование высокоэффективных антенных систем. [1]

В данной статье мы рассмотрим способы формирования пространственных сигналов в сетях 5G при реализации технологии множественного доступа с пространственным мультиплексированием (MU-MIMO) и формирования луча (beamforming) с использованием высокоэффективных антенных систем.

MU-MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) – это технология, которая позволяет одновременно передавать данные нескольким пользователям. Это достигается за счёт использования нескольких антенн на базовой станции и нескольких антенн на мобильных устройствах. [2]

При реализации MU-MIMO в сетях 5G используются различные способы формирования пространственных сигналов (рис. 1). Рассмотрим некоторые из них:

- Формирование луча с использованием фазированных антенных решёток. Фазированные антенные решётки позволяют формировать направленные лучи сигнала, что позволяет увеличить скорость передачи данных и улучшить качество связи.
- Использование многолучевых антенн. Многолучевые антенны позволяют формировать несколько лучей сигнала, что позволяет увеличить пропускную способность и улучшить качество связи.

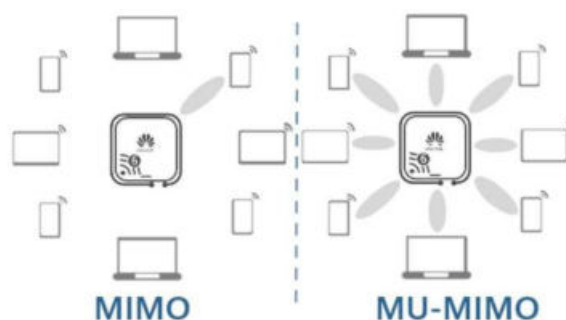


Рис. 1. Сравнение работы MIMO и MU-MIMO

Beamforming (формирование луча) – это технология, которая позволяет направлять сигнал в определённом направлении (рис. 2). Это достигается за счёт использования алгоритмов формирования луча, которые позволяют оптимизировать направление и интенсивность сигнала.

При реализации beamforming в сетях 5G используются следующие способы формирования пространственных сигналов:

- Использование алгоритмов формирования луча с обратной связью. Алгоритмы формирования луча с обратной связью позволяют адаптировать направление и интенсивность сигнала в зависимости от условий распространения сигнала и характеристик мобильных устройств.

- Применение адаптивных антенных систем. Адаптивные антенные системы позволяют автоматически адаптировать направление и интенсивность сигнала в зависимости от условий распространения сигнала. Ссылки на источники даются в квадратных скобках [1].

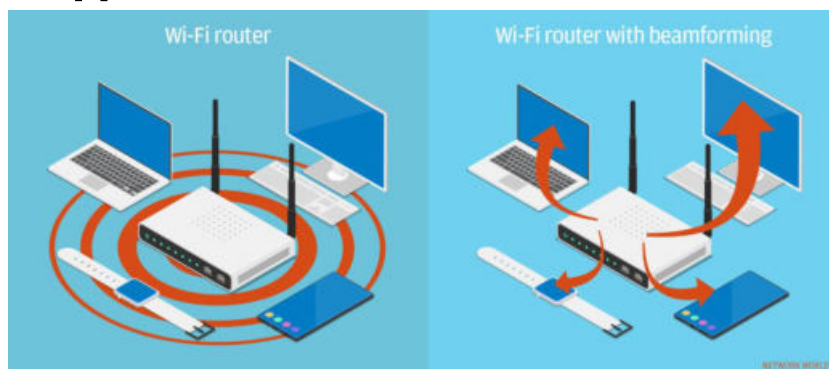


Рис. 2. Сравнение работы Wi-Fi без Beamforming и с Beamforming

Высокоэффективные антенные системы – это системы, которые позволяют увеличить скорость передачи данных, увеличить пропускную способность и улучшить качество связи. [3] К высокоэффективным антенным системам относятся:

- Фазированные антенные решётки. Фазированные антенные решётки позволяют формировать направленные лучи сигнала, что позволяет увеличить скорость передачи данных и улучшить качество связи.
- Многолучевые антенны. Многолучевые антенны позволяют формировать несколько лучей сигнала, что позволяет увеличить пропускную способность и улучшить качество связи.

Таким образом, способы формирования пространственных сигналов в сетях 5G при реализации технологии MU-MIMO и beamforming с использованием высокоэффективных антенных систем позволяют увеличить скорость передачи данных, увеличить пропускную способность и улучшить качество связи. Это делает сети 5G более эффективными и удобными для пользователей.

#### Список использованных источников

1. Воробьев, Н.В. Многочастотные антенные решетки и их применение в радиотехнических системах / Н.В. Воробьев, В.А. Грязнов. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2024. – 204 с.
2. Тихвинский, В.О. Сети мобильной связи 5G. Технологии, архитектура и услуги 5G mobile networks. Technologies, architecture and services: 5G mobile networks. Technologies, architecture and services / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, В. А. Коваль. – Москва: Медиа Паблицер, 2019. – 375 с.
3. Тихвинский, В.О. Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, В.А. Коваль, Е.Е. Девяткин. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 528 с.

УДК 520.628

**Карих Р.Д., Белоусов О.А., Зуева Е.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: KarikhRD@yandex.ru

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ**

**Karikh R.D., Belousov O.A., Zueva E.A.**

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: KarikhRD@yandex.ru

### **FEATURES OF THE USE OF ULTRA-WIDEBAND ANTENNA ARRAYS IN NEW GENERATION RADIO COMMUNICATION SYSTEMS**

*Аннотация.* В статье рассматриваются особенности применения сверхширокополосных антенных решёток в системах радиосвязи новых поколений. Обсуждаются преимущества и недостатки таких антенн, их характеристики и возможности применения в различных областях радиосвязи. Особое внимание уделяется вопросам оптимизации параметров антенных решёток для достижения максимальной эффективности передачи и приёма сигналов. Статья может быть полезна специалистам в области радиосвязи, а также студентам и исследователям, интересующимся данной тематикой.

*Ключевые слова:* сверхширокополосные антенные решетки, радиосвязь нового поколения, UWB антенны, 5G, MIMO.

*Abstract.* The article discusses the features of the use of ultra-wideband antenna arrays in new generation radio communication systems. The advantages and disadvantages of such antennas, their characteristics and possibilities of application in various fields of radio communication are discussed. Special attention is paid to optimizing the parameters of antenna arrays to achieve maximum efficiency of signal transmission and reception. The article may be useful to specialists in the field of radio communications, as well as students and researchers interested in this topic.

*Keywords:* Ultra-wideband antenna arrays, new generation radio communications, UWB antennas, 5G, MIMO.

Сверхширокополосные антенные являются важным компонентом современных систем радиосвязи, благодаря своим уникальным характеристикам и возможностям. Они находят широкое применение в различных областях, включая телекоммуникации, системы позиционирования и мультимедийные приложения, так же играют важную роль в системах радиосвязи новых поколений благодаря своей способности передавать информацию на очень широких частотах. Использование беспилотных автомобилей,

дронов и других автономных систем, где требуется постоянная связь с управляющими центрами, также является инициатором разработок в области антенн нового поколения.

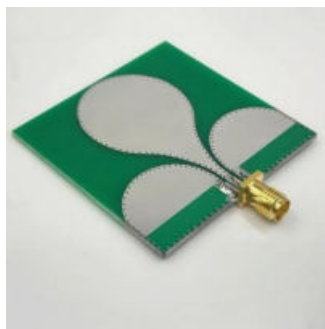


Рис. 1. Сверхширокополосные UWB антенны

Данные антенны способны работать в диапазоне частот от 3.1 до 10.6 ГГц, что позволяет передавать и принимать сигналы на множестве частотных каналов одновременно. Это ведет к высокой скорости передачи данных и уменьшению интерференции., что особенно важно для современных сетей 5G и дальнейших поколений.

Скорость передачи данных сверхширокополосных антенн является одной из основных причин их популярности в беспроводных технологиях. В сетях 5G скорость передачи данных может достигать до 1 Гбит/с и выше в оптимальных условиях. Это возможно благодаря использованию спектра высокой частоты, а также технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output), которая позволяет одновременно передавать данные с нескольких антенн. Даже в условиях максимальной нагрузки пользователи могут рассчитывать на скорость передачи данных не менее 50-100 Мбит/с, что также является значительным улучшением по сравнению с 4G. Ожидается, что сети 6G смогут обеспечить скорость передачи данных до 100 Гбит/с и даже более.

Современные технологии изготовления позволяют создавать компактные и легкие антенны, что упрощает интеграцию в мобильные устройства и стационарные системы. Кроме того, их низкое энергопотребление делает их подходящими для работы от аккумуляторов.

Одним из основных преимуществ является высокая точность позиционирования. Благодаря широкому спектру сигналов можно добиться разрешения до 10 см или даже менее в зависимости от условий использования. Использование сложных алгоритмов обработки данных, таких как машинное обучение, может значительно повысить точность и надежность позиционирования. Кроме определения местоположения, системы позиционирования 5G способны обеспечивать информация о движении объектов в реальном времени, что полезно для приложений дополненной и виртуальной реальности, а также для логистики и умных городов.

Сверхширокополосные антенны обладают высокой устойчивостью к электромагнитным помехам, что делает их идеальными для работы в условиях городского окружения, насыщенного радиочастотными сигналами. Наличие продвинутых алгоритмов обработки сигналов, таких как адаптивный фильтр и методы подавления помех, позволяет минимизировать влияние нежелательных сигналов.

Использование многоантенных систем позволяет увеличить размывание сигнала и улучшить его устойчивость к радиопомехам. Это достигается за счет пространственного кодирования и обработки сигналов на нескольких антенных элементах. Внедрение систем машинного обучения и аналитики позволяет эффективно выделять доступные частоты и управлять нагрузкой в системе, что дополнительно снижает вероятность воздействия помех.

Для передачи данных сверхширокополосные антенны используют несколько методов модуляции, включая импульсную модуляцию и OFDM (действие частотно-управляемой многопользовательской передачи), что позволяет улучшить эффективность использования спектра и снижает влияние интерференции.

Сверхширокополосные технологии находят применение не только в телекоммуникациях, но и в здравоохранении, автомобилестроении, умных домах, охране и мониторинге. Например, использование сверхширокополосных антенн в медицинских устройствах позволяет отслеживать состояние пациентов в реальном времени.

Системы сверхширокополосных антенн могут быть интегрированы с существующими стандартами радиосвязи, такими как WLAN, Bluetooth и другие. Это дает возможность создания гибридных систем, которые могут адаптироваться к различным условиям и требованиям.

Таким образом, сверхширокополосные антенны представляют собой важный компонент современного радиосвязного оборудования. Их широкие возможности и высокая производительность делают их ключевыми для развития современных технологий и обеспечения эффективной связи в условиях постоянно меняющегося радиочастотного окружения. Важно продолжать исследовать и развивать эту технологию, чтобы максимально эффективно использовать её потенциал в будущем.

#### Список использованных источников

1. Применение ультраширокополосных излучателей в системах радиосвязи шестого поколения / Тришаков А.А., Смирнов А.О., Караваев Д.А., Кочетов И.Н., Карих Р.Д. // В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах. Материалы VIII Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. 2021. С. 83-84.

2. Кирюпин, М.М. Перспективы развития стандарта высокоскоростного широкополосного доступа в сетях пятого поколения / Кирюпин М.М., Бабкин С.В. // В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах. Материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. Тамбов. – 2018. – С. 123-124.

3. Тришаков, А.А. Особенности применения ультраширокополосных излучателей в системах радиосвязи / А.А. Тришаков, Д.А. Караваев, В.И. Тетюхин // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития: сборник трудов. – 2021. – С. 252-255.

УДК 621.9.41

**Мартынов М.С.<sup>1</sup>, Немтинов В.А.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: mikelife2000mok@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЕ УЗЛА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

**Martynov M.S.<sup>1</sup>, Nemtinov V.A.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: mikelife2000mok@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

## **PROCESS IMPROVEMENT MANUFACTURING OF HYDRAULIC DRIVE UNIT**

*Аннотация.* В работе рассмотрены вопросы совершенствования технологического процесса узла гидропривода и рациональной загрузки станков их производства.

*Ключевые слова:* гидропривод, совершенствование, экономическая целесообразность.

*Abstract.* The paper considers the issues of improving the technological process of the hydraulic drive unit and the rational loading of machine tools of their production.

*Keywords:* hydraulic drive, refinement, economic feasibility.

Совершенствование технологического процесса гидропривода — совмещение в одну операцию обработку пазов и отверстий гидропривода с целью рациональной загрузки станков и уменьшение количества дефектов при переносе операций на разные станки, а также ускорение всех ступень производства [1- 2].

Целью работы являлось задача совершенствования и упрощения производства гидропривода: сделать прототип, внедрить в производство простую методику модернизации технологического процесса путем подбора решений: универсальных, бюджетных, менее энергозатратных.

На производствах есть проблемы, которые требуют решения. Такими проблемами является: загрузка оборудования, простой оборудования и не рациональное распределение операций в технологическом процессе [3 – 4].



Повышение эффективности до запланированного уровня финансовых показателей (и их дальнейший рост) – основная и конечная цель оптимизации деятельности предприятия. Компания часто способна годами приносить стабильную прибыль, но «сыплется» по всем показателям в момент наступления кризиса или негативных форс-мажорных обстоятельств.

Нами было предложено: обработать приспособление для блоков и запрессовать туда палец для более простой выверки, и возможность перенести данную операцию на 3-х осевой станок с дальнейшим улучшением технологического процесса, а именно: изготовления пазов и отверстий. Это было сделано с целью упрощения изготовления детали и рационального использования ресурса производства [5].

При переносе операций между станками, была проблема выверки приспособления для обработки пазов на 3-х осевых станках, из-за невозможности выставить нули приспособления, так как это можно было сделать на 5-ти координатном станке. Был высок шанс совершить ошибку при выверке приспособления и детали, а также высок риск дефекта. Чтобы этого избежать, нами был предложен данный проект решения, для устранения этой проблемы.

На рис. 1 приведен один из узлов гидропривода, для которого предложено совершенствование технологического процесса его изготовления.



Рис. 1. Элемент гидропривода

На рисунке 2 приведен фрагмент программного кода для изготовления детали на станке с ЧПУ.

```

33 ;
34 TOOL CALL 0
35 * - T1047 R4 L55 3 AHR 080 025 080 obrnizh
36 ;-----
37 TOOL CALL 44 Z S4500
38 ;
39 * - pazy cheyn
40 ; 1047 3 AHR 080 025 080 obrnizh R4 L55
41 CALL LBL 1
42 FN 0: 02 =+420 ; XY FEED RATE
43 FN 0: 03 =+294 ; Z FEED RATE
44 FN 0: 04 =+294 ; RED. FEED RATE
45 CYCL DEF 32.0 DOPUSK
46 CYCL DEF 32.1 T0.05
47 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:1
48 L Z+0 R0 FMAX M91
49 L X+100 FMAX M91
50 L Y+200 FMAX M91
51 ; A-15 C90
52 ; ---
53 ; ---
54 CYCL DEF 7.0 SMESCHENJE NULJA
55 CYCL DEF 7.1 X+0
56 CYCL DEF 7.2 Y+0
57 CYCL DEF 7.3 Z+0
58 PLANE SPATIAL SPA-15 SPB+0 SPC+90 TURN FMAX
   SEQ- TABLE ROT
59 L X-23.405 Y-16.44 R0 FMAX M13
60 L Z+30 R0 FMAX
61 L Z+21.132 R0 FMAX
62 L Z-1.5 F5000
63 L Z-3.3 F04

```

Рис. 2. Фрагмент программного кода для изготовления детали на станке с ЧПУ

#### Список использованных источников

1. Блумберг, В.А. Справочник Фрезеровщика/ В.А. Блумберг., Е.И. Зазерский 1984., 288 с. <https://tehnavigator.ru/Biblioteka/181.pdf> [Дата обращения 18.10.2024]
2. Хитоси Такеда Система синхронизированного производства / Хитоси Такеда Хитоси. 2008. - 289 с. [https://books.google.ru/books?id=Tmh1nPEVhqwC&printsec=frontcover&source=gbs\\_atb&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ru/books?id=Tmh1nPEVhqwC&printsec=frontcover&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) [Дата обращения 18.10.2024]
3. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
4. Modernization of a Chemical Nickeling Unit for Metal Products / A. Borisenko, V. Khramtsov, V. Nemtinov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 346. – P. 01027. – DOI 10.1051/matecconf/202134601027. – EDN GARFNJ.
5. Минин, А. А. Автоматизированная разработка технологических процессов механической обработки с использованием алгоритма муравьиных колоний / А. А. Минин, В. А. Немтинов // Моделирование энергоинформационных процессов : Сборник статей XII национальная научно-практическая конференция с международным участием, Воронеж, 26–28 декабря 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2024. – С. 100-105. – EDN NHLOGU.

УДК 004.04

**Вехтева Н. А., Побединский Д. А., Меркурьев Я. В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: magician.loner@yandex.ru

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ЦИФРОВОГО ЧЕРТЕЖА ПЕРЕД ФОРМИРОВАНИЕМ НАБОРА КОМАНД ДЛЯ FDM ПЕЧАТИ**

**Vehteva N. A., Pobedinsky D. A., Merkurjev Ya. V.**

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Russia, Tambov

magician.loner@yandex.ru

## **TRANSFORMING A 3D DIGITAL DRAWING BEFORE GENERATING A COMMAND SET FOR FDM PRINTING**

*Аннотация.* В данной статье рассматривается совершенствование процессов аддитивного производства по технологии моделирования методом наплавления через постановку задач преобразования пространственной ориентации трехмерного цифрового чертежа, а также приводятся решения некоторых из них.

*Ключевые слова:* аддитивное производство, многокритериальная оптимизация, точность печати, пространственная ориентация, трехмерный цифровой чертеж.

*Abstract.* This article discusses the improvement of additive manufacturing processes using fused deposition modeling technology by setting the tasks of transforming the spatial orientation of a three-dimensional digital drawing, and also provides solutions to some of them.

*Keywords:* additive manufacturing, multi-criteria optimization, printing accuracy, spatial orientation, 3D digital drawing.

Аддитивное производство в настоящее время стало широкодоступным за счет различных устройств и материалов для трехмерной печати. Наиболее распространенной технологией в этой области является моделирование методом наплавления (FDM), отличающееся низкой стоимостью материалов, а также простотой в использовании и обслуживании оборудования.

Процесс печати можно разделить на четыре этапа: разработка САД модели трехмерного цифрового чертежа (ТЦЧ) изделия, его настройка и преобразование в набор команд для устройства печати; процесс печати изделия; постобработка. В данной статье будет сделан упор на второй этап, который осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения – слайсера.

Программа-слайсер получает на вход трехмерный цифровой чертеж, чаще всего в формате STL. Этот формат содержит множество данных о треугольной геометрии проектируемого изделия, представленных в виде координат вершин, а также нормалей к треугольникам.

После этого можно настраивать расположение и пространственную ориентацию ТЦЧ в пределах области печати выбранного устройства по необходимости. Если наклон элемента изделия превышает 45 градусов относительно плоскости печати, то для его корректной печати требуется дополнительные опорные конструкции в виде вертикальных столбцов или древовидных структур. В некоторых слайсерах есть возможность автоматически или вручную расставить опоры для нависающих элементов.

Последним этапом работы в программе-слайсере является формирование набора команд для управления печатающим устройством: преобразованный ТЦЧ разрезается на слои с интервалом, установленным в выбираемых настройках, после чего формируется G-код для выбранного устройства печати.

В зависимости от расположения и ориентации ТЦЧ изменяется и G-код для печати. Пространственная ориентация также оказывает влияние на скорость печати и объем материала, затрачиваемого на создание дополнительных опорных конструкций. Выбор оптимального расположения ТЦЧ является одной из проблемных задач в области аддитивной печати. На данный момент решениями являются использование инструментов автоматической ориентации без какой-либо настройки желаемых характеристик финального результата, предоставляемых функционалом слайсера, и предыдущий опыт печати аналогичных текущему изделию.

Одной из целей улучшения аддитивного производства является разработка алгоритмов и методов преобразования пространственной ориентации трехмерного цифрового чертежа до процесса формирования набора команд, определяющих порядок работы устройства трехмерной печати, для повышения точности печати изделий, снижения временных и материальных затрат на аддитивном производстве. Для достижения этой цели необходимо решить нижеописанные задачи.

Первостепенной задачей является исследование существующих алгоритмов и методов используемых при автоматической пространственной ориентации ТЦЧ, определение их преимуществ и недостатков. Также необходимо проанализировать факторы, влияющие на точность и время печати, а также на расход материала для печати опорных конструкций.

Второй задачей является разработка математической модели, которая позволит оценить точности и время печати, и расход материала в зависимости от конкретных углов поворота ТЦЧ.

Третьей задачей является формулирование многокритериальной задачи оптимизации, определение критериев и разработка методов для поиска оптимальных решений.

Четвертой задачей является сбор экспериментальных данных об точности печати при различных вариациях пространственной ориентации определенных геометрических форм элементов цифрового чертежа (отверстия, возвышения, плоскости и др.) и разработка алгоритмов решение поставленных задач.

Последними задачами будут проведение экспериментов для проверки эффективности разработанных алгоритмов с помощью сравнения с существующими методами, и дальнейшая их корректировка, в зависимости от полученных результатов.

Исследования факторов, влияющих на процесс печати в зависимости от ориентации ТЦЧ представлены, например, в научных трудах [1-2].

Математическая модель, связывающая углы поворота ТЦЧ, время и точность печати представлены в статье [3]. Объем опорных конструкций зависит от углов поворота и от геометрической формы объекта, поэтому взаимосвязь между этими параметрами сложно описать полностью с помощью математических моделей. Для расчета объема материала при любой пространственной ориентации ТЦЧ была разработана следующая математическая модель.

Пусть:

$S_p$  – площадь острова из поверхности, для которых необходимы поддержки;

$\rho_p$  – количество поддержек на 1 квадратный сантиметр, константа;

$n_p = \frac{S_p}{\rho_p}$  – количество поддержек для острова поверхности;

$M_p \{V_1, V_2, \dots, V_{n_p}\}$  – массив координат точек на поверхности островов, находящиеся на расстоянии  $\frac{\sqrt{S_p}}{\rho_p}$  друг от друга;

$h_p \{h_1, h_2, \dots, h_{n_p}\}$  – массив высот каждой поддерживающей конструкции, где  $h_i = M_p[i][z], i=1 \dots n_p$ ;

$v_p$  – объем материала на 1 мкм высоты поддержки, константа;

$N_p$  – количество островов поддержек;

$O \{O_1, O_2, \dots, O_{N_p}\}$  – массив векторов данных о каждом острове поддержек.

Приблизительный объем материала, который требуется для печати опорных конструкций можно рассчитать по следующей формуле (1):

$$V = \sum_{j=1}^{N_p} O[j] \sum_{i=1}^{n_p} h_p[i] * v_p. \quad (1)$$

Одним из способов уменьшения объема материала, может быть, разделение исходного чертежа на составные части. Для подсчета объема затраченного материала при печати с разделением геометрических элементов исходного ТЦЧ, следует добавить информацию о соединительных конструкциях, в зависимости от необходимости разреза и создания соединительных крепежей:  $V_{con}$  – условный объем на 1 соединение, константа;  $Cut$  – бинарная переменная, принимающая значения 0 – недопустимость сегментации цифровой модели; 1 – можно выполнить разделение модели на сегменты;  $J\{j_1, j_2, \dots, j_{N_{f*2}}\}$  – вектор бинарных значений для k-ой поверхности цифрового чертежа,

$k = 1 \dots N_f$ , где  $N_f$  – количество поверхностей, образованных в результате сегментации цифрового чертежа.

Тогда общая формула нахождения объема материала затрачиваемое на дополнительные элементы печати будет следующей (2):

$$V = \sum_{j=1}^{N_p} (O[j] \sum_{i=1}^{n_p} h_p[i] * v_p) + Cut * \left( \sum_{k=1}^{N_f} (J[k] * V_{con}) \right). \quad (2)$$

Сформулированная многокритериальная задача может звучать следующим образом (3).

Пусть характеристики пространственной ориентации  $R_x, R_y, R_z$  – углы поворота трехмерного чертежа по локальным осям OX, OY, OZ трехмерного цифрового чертежа. Критериями оптимизации для решения третьей поставленной задачи будут  $K(R_x, R_y, R_z)$  – значение соответствия напечатанного изделия его трехмерному чертежу (точность печати);  $T(R_x, R_y, R_z)$  – значение времени печати;  $V(R_x, R_y, R_z)$  – объем затрачиваемого материала.

Тогда необходимо найти такие  $R_x, R_y, R_z$ , при которых:

$$\begin{aligned} K(R_x, R_y, R_z) &\rightarrow \max; \\ T(R_x, R_y, R_z) &\rightarrow \min; \\ V(R_x, R_y, R_z) &\rightarrow \min; \end{aligned} \quad (3)$$

При этом должны быть соблюдены следующие ограничения:  $H < H_{pr}$ ;  $W < W_{pr}$ ;  $L < L_{pr}$ , где  $W, L$  – ширина и длина границ трехмерного цифрового чертежа в области печати,  $H_{pr}, W_{pr}, L_{pr}$  – высота ширина и длина области печати. Одним из способов решения этой задачи может стать метод эффективности по Парето.

Решение четвертой и последующих поставленных задач представляет собой следующий этап описанного исследования. Для его реализации потребуется провести экспериментальные исследования с целью сбора недостающих данных, что может занять значительное количество времени.

При успешной разработке и внедрении алгоритмов преобразования пространственной ориентации в зависимости от необходимых требований к изготавливаемому изделию будет увеличена эффективность аддитивного производства.

#### Список использованных источников

1. Васильев Ф. В. Исследование факторов, влияющих на процесс послойного синтеза методом лазерной стереолитографии: дис. ... канд. тех. наук. – Москва, 2011. – С.70–116.
2. Елисейкин, Е. И. Влияние особенностей подготовки цифровой модели на качество поверхностей изделия в FDM 3D-печати / Е. И. Елисейкин, О. Н. Калачев // Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России : Материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара. (Нижевартовск, 06 апреля 2018 г.) – Нижевартовск, 2018. – С. 120-123.
3. Вехтева, Н. А. Повышение точности напечатанных изделий на фотополимерном принтере за счет преобразования положения в области печати / Н. А. Вехтева, Ю. В. Литовка, А. Д. Обухов // Труды МАИ. – 2024. № 137.

УДК 621.91.01

Бондаренко Н.В., Соколов М.В.  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г.Тамбов  
e-mail: nikbon.2015@yandex.ru

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ПРИПУСКА ДЛЯ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON**

Bondarenko N.V., Sokolov M.V.  
Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: nikbon.2015@yandex.ru

**A FUNCTIONAL SYSTEM FOR CALCULATING THE ALLOWANCE FOR  
MACHINING PARTS USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE**

*Аннотация.* В статье представлено описание системы, предназначенной для решения одной из задач инженеров-технологов - расчета припуска на механическую обработку деталей из металлов. Система разработана на языке программирования Python.

*Ключевые слова:* система, программа, код, алгоритм, машиностроение

*Abstract.* The article discusses The article describes a system designed to solve one of the tasks of process engineers - calculating the allowance for machining metal parts. The system is developed in the Python programming language.

*Keywords:* system, program, code, algorithm, mechanical engineering

Процесс изготовления деталей из металлов подразумевает их механическую обработку – токарную, фрезерную, шлифовальную и другие. Во время такой обработки с детали срезается припуск, то есть слой материала, подлежащий удалению. Удаление припуска позволяет получить из заготовки готовую деталь с заданными чертежом размерами, параметрами шероховатости и геометрической формы.

Одной из задач, решаемых инженерами-технологами при разработке технологических процессов, является расчет припуска, который непосредственно влияет на стоимость изготовления детали. Большая величина припуска приводит к увеличению времени обработки детали, и, соответственно, к удорожанию продукции. Недостаточная толщина припуска может не обеспечить требуемую шероховатость или требуемую величину размеров, что приводит к браку.

Существует два метода определения припуска – справочный и аналитический. Первый метод подразумевает использование уже определенных значений из справочной литературы, что существенно сокращает время на определение припуска,

но ведет к повышенному расходу материала. Второй метод требует много времени для расчетов по формулам, но дает самый оптимальный результат [1]. Оба метода являются устаревшими, поэтому магистрами Тамбовского государственного технического университета была разработана система для расчета припуска, которая одновременно подбирает коэффициенты из справочников, переведенных в электронный вид, и выполняет расчеты припусков для нескольких операций. Алгоритм работы системы представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Алгоритм работы программы.

Разработанная система позволяет выполнять расчет припуска для токарных операций при обработке наружной и внутренней цилиндрической поверхности, подрезке торца (рис. 2 и 3), для фрезерных операций при обработке плоских и цилиндрических поверхностей. Предусмотрены варианты разных способов закрепления заготовок на станке, а также различные варианты заготовок, например, литьё, прокат, штамповка. Подробный процесс разработки программы описан в книге [2].

```

9 #выбираем тип операции
10 type_operacii = str(input("Выберите тип операции:\n"
11                          "[1] Токарная операция, обработка наружных поверхностей вращения.\n"
12                          "[2] Токарная операция, обработка внутренних поверхностей вращения.\n"
13                          "[3] Токарная операция, обработка торца.\n"
14                          "[4] фрезерование плоской поверхности.\n"
15                          "[5] фрезерование наружной цилиндрической поверхности.\n"
16                          "[6] фрезерование внутренней цилиндрической поверхности.\n"))
17
    
```

Рис. 2. Выбор операции, для которой будет выполняться расчет припуска.



```

20 #получаем данные о диаметре, линейном размере, верхнем и нижнем отклонениях диаметра от пользователя:
21 D = float(input("Укажите диаметр детали в мм: "))
22 Vd = float(input("Укажите верхнее отклонение диаметра в мм: "))
23 Nd = float(input("Укажите нижнее отклонение диаметра в мм: "))
24 L = float(input("Укажите длину заготовки в мм: "))
25 Td = float
26 Td = Vd-Nd
27 print("Допуск на диаметр детали: ", Td, "мм", "\n")
28
29 Z = float(input("Укажите размер заготовки в мм: "))
30 Vz = float(input("Укажите верхнее отклонение размера в мм: "))
31 Nz = float(input("Укажите нижнее отклонение размера в мм: "))
32 Tz = float
33 Tz = Vz-Nz
34 print("Допуск на размер заготовки: ", Tz, "мм", "\n")
35
36 eto = float
37 eto = Tz/Td
38 print("Требуемое уточнение: ", eto, "\n")
39
40 print("-----")

```

Рис. 3. Запрос данных для токарной обработки.

Программа тестировалась на нескольких размерах для токарных и фрезерных операций. На рис. 4 представлен результат расчетов, проведенных во время тестирования, для размера  $\varnothing 195$  мм.

```

['Лист1']
Укажите диаметр детали в мм: 195
Укажите верхнее отклонение диаметра в мм: 0
Укажите нижнее отклонение диаметра в мм: -0.185
Укажите длину заготовки в мм: 60
Допуск на диаметр детали: 0.185 мм

Укажите размер заготовки в мм: 200
Укажите верхнее отклонение размера в мм: 0
Укажите нижнее отклонение размера в мм: -0.5
Допуск на размер заготовки: 0.5 мм

Требуемое уточнение: 2.703

-----
Качител: 10
Выполняется подбор операций
2.703 2.703
Операции определены верно
Определение операций завершено.

-----
Укажите заготовку (прокат, поковка, штамповка, литье): штамповка
Укажите массу штамповки (от 0 до 200 кг): 10
Rz = 200 мкм; h = 250 мкм.

-----
Укажите на чем изготавливалась штамповка (молоч/пресс): молоч
Укажите точность штамповки (повышенная/нормальная): нормальная
Укажите, как закреплена заготовка:
[1]Вал ступенчатый в патроне, без поджатия задним центром
[2]Вал ступенчатый в центрах
[3]Деталь типа диск с протачиваемым центральным отверстием с установкой по наружному диаметру и торцу
[4]Деталь типа диск с протачиваемым центральным отверстием с установкой по наружному диаметру и торцу при обработке торцевой поверхности
3
dk = 1200 мкм.
Δ = 1843.9088914585775 мкм.
ε = 0 мкм.

-----
Минимальный припуск для черновой обработки: 4.5878177829171545 мм
Минимальный припуск для получистовой обработки: 0.46726906697502935 мм
Минимальный припуск для чистовой обработки: 0.15506345334875146 мм
Максимальный припуск для черновой обработки: 6.287817782917155 мм
Максимальный припуск для получистовой обработки: 2.067269066975029 мм
Максимальный припуск для чистовой обработки: 0.7400634533487516 мм
Номинальный припуск для черновой обработки: 5.0878177829171545 мм
Номинальный припуск для получистовой обработки: 1.6672690669750292 мм
Номинальный припуск для чистовой обработки: 0.5550634533487515 мм
Рекомендуемый диаметр заготовки: 202.31015030324093 мм
>>> |

```

Рис. 4. Результат работы программы.

Разработанная система позволят существенно облегчить работу инженеров-технологов за счет автоматизации выполняемых расчетов, при этом обеспечивается высокая точность выполняемых расчетов, что сказывается на повышении качества

изготавливаемых деталей и сокращении времени на их изготовление, что в свою очередь приводит к удешевлению стоимости готовой продукции. На представленную программу было оформлено свидетельство о регистрации [3].

#### Список использованных источников

1. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов / Я. М. Радкевич, В. А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М. С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева.-М.: Высш. шк., 2004.-272 с.: ил.
2. Бондаренко, Н. В. Автоматизированная система расчета припусков на механическую обработку деталей : монография / Н. В. Бондаренко, М. В. Соколов. – Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 132 с. : ил., табл.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023663752. Автоматизированная система расчета припуска на механическую обработку (Automated calculation of the processing allowance) / Бондаренко Н.В. (RU), Соколов М.В. (RU) Заявитель и правообладатель: Федеральное Государственное Учреждение Высшего Образования «Тамбовский Государственный Технический Университет» (RU) Заявка №2023661993; заявл. 06.06.2023; зарег. 27.06.2023.

УДК 536.2

**Губарева К. В.**

Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара  
e-mail: r.kristina2017@mail.ru

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ  
ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С УПОРЯДОЧЕННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
МАКРОСТРУКТУРОЙ**

**Gubareva K. V.**

Samara State Technical University, Russia, Samara  
e-mail: r.kristina2017@mail.ru

**NUMERICAL MODELING OF THE TEMPERATURE STATE OF A POROUS  
MEDIUM WITH AN ORDERED SPATIAL MACROSTRUCTURE**

*Аннотация.* В настоящей работе представлено исследование теплопроводящих характеристик в элементарной ячейке трижды периодических минимальных поверхностей типа Неовиуса, сгенерированной методом граничных условий. Целью исследования было изучение теплопроводящих свойств этих элементарных ячеек. Исследование проводилось методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS.

*Ключевые слова:* пористый материал, температурное поле, трижды периодическая минимальная поверхность, теплопроводность, метод конечных элементов.

*Abstract.* This paper presents a study of heat-conducting characteristics in an elementary cell of triply periodic minimal surfaces of the Neovius type, generated by the boundary conditions method. The aim of the study was to investigate the heat-conducting properties of these elementary cells. The study was carried out by the finite element method in the ANSYS software package.

*Keywords:* porous material, temperature field, triply periodic minimum surface, thermal conductivity, finite element method.

Разработка материалов с прогнозируемыми теплофизическими характеристиками представляет собой ключевую задачу для различных областей науки и техники, включая энергетику [1], аэрокосмическую промышленность [2], электротехнику [3], машиностроение [4], строительство [5] и другие. Теплопроводность материалов считается одним из наиболее важных теплофизических свойств, поскольку она определяет способность материала передавать тепло. Прогнозирование этого параметра играет существенную роль в решении разнообразных инженерных задач, связанных с

созданием систем охлаждения, проектированием зданий, разработкой теплообменных устройств и многим другим.

Решение задачи создания материалов с прогнозируемыми характеристиками происходит на двух уровнях - макро и микро. На уровне микроструктур разработка инновационных материалов включает в себя формирование структур на основе наночастиц, полимерных нанокомпозитов и композитов с наночастицами металлов. Такие материалы обладают уникальными свойствами, включая высокую термостойкость, стойкость к истиранию, высокую проводимость и другие. На уровне макроструктур новые материалы могут быть созданы путем сочетания различных материалов, таких как стекловолокно, углеродное волокно или полимеры, а также через создание упорядоченных и неупорядоченных решеток для формирования пористых структур.

Трижды периодические минимальные поверхности (ТМП) – это класс поверхностей, которые обладают тремя периодами симметрии и имеют минимальную площадь среди всех поверхностей, удовлетворяющих определенным условиям. Моделирование таких материалов упрощается при использовании различных численных [6] и аналитических методов [7]. ТМП-материалы состоят из двух объемов, разделенных стенкой с минимальной площадью при определенных ограничениях.

На рисунке 1, изображен один из видов ТМП – ячейка типа Неовиус, которая является основой данного научного исследования. Эта поверхность, первоначально обнаруженная финским математиком Эдвардом Рудольфом Неовиусом [8].

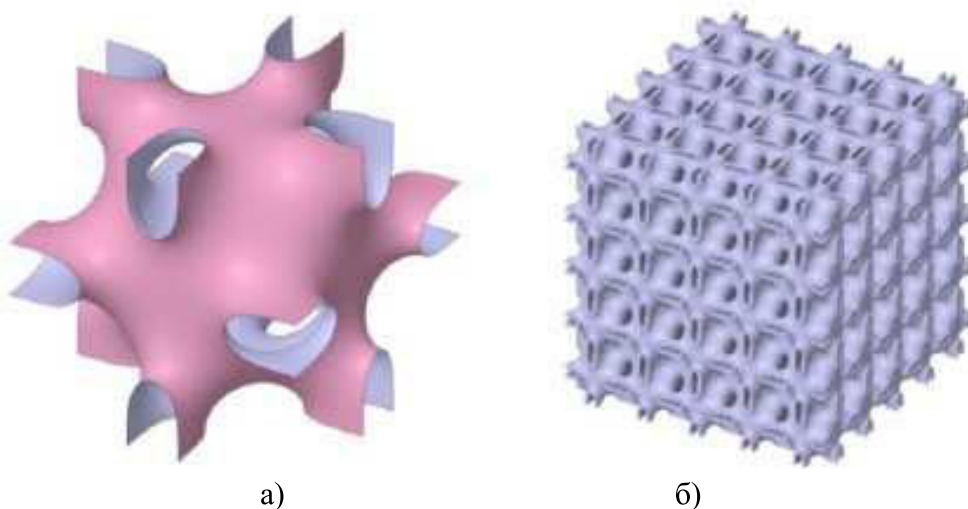


Рис. 1. Трижды периодическая минимальная поверхность:  
 а) элементарная ячейка; б) пористый материал

Для анализа теплопроводности материала Неовиуса использовались кубическая ячейка с толщиной стенки 0,2 мм и длиной ребра  $a = 10$  мм. На стенках ячейки установлены граничные условия со значениями  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  и  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ . Материал ячейки - алюминий с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 202,4$  Вт/(м °С), а мощность

внутренних источников теплоты составляет  $q_V = 100 \text{ Вт/м}^3$ . Решение задачи теплопроводности проводилось с использованием модуля Steady-State.

Программный комплекс ANSYS Thermal представляет собой средство для анализа и моделирования инженерных задач. Он способен исследовать различные характеристики пористых материалов, включая проницаемость, механические свойства и теплопередачу. Модуль Steady-State Thermal в ANSYS использует метод конечных элементов для решения задач теплопроводности.

В результате решения задачи методом конечных элементов были получены контуры распределения температуры в исследуемой ячейке (см. рис. 2).

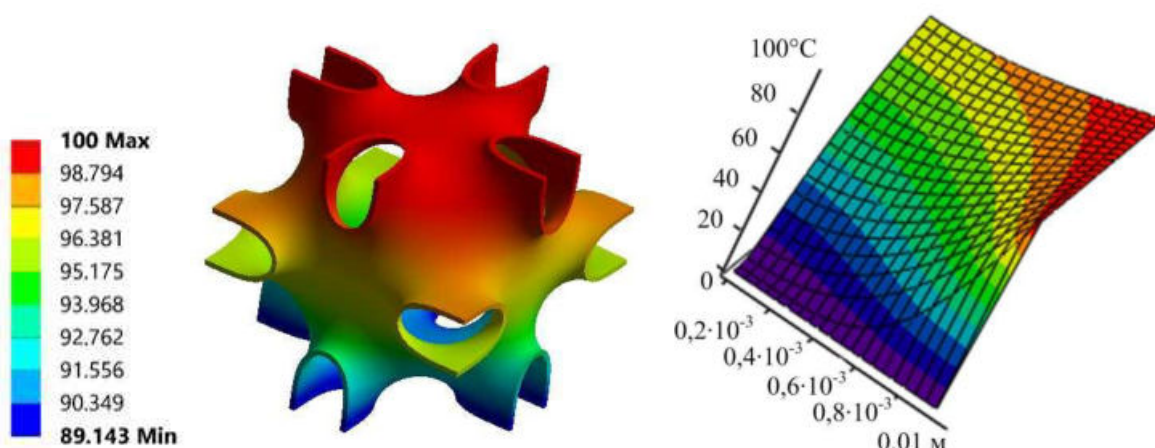


Рис.2. Контурные распределения температуры в элементарной ячейке Неовиуса

На рисунке 3 представлена сетка для решения задачи теплопроводности методом конечных элементов содержит пять миллиона элементов.

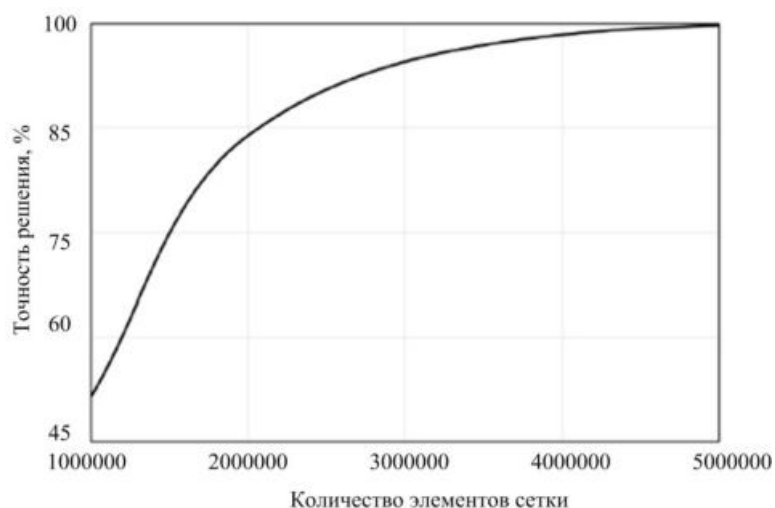


Рис.3. Сеточная сходимість.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект №23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>).*

## Список использованных источников

1. Рыдалина Н. В. Применение пористых материалов в теплообменных аппаратах системы теплоснабжения / Н. В. Рыдалина, Б. Г. Аксенов, О. А. Степанов, Е. О. Антонова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22 (3). – С. 3 – 13. – DOI: 10.30724/1998-9903-2020-22-3-3-13.
2. Прохорчук Е.А. Перспектива применения пеноалюминия для изделий авиакосмической техники (обзор) / Е. А. Прохорчук, А. А. Леонов, К. А. Власова, А. В. Трапезников, В. И. Никитин, К. В. Никитин // Труды ВИАМ. – 2021. – № 12 (106). – С. 21 – 30. – DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-21-30.
3. Гирин, О. Б. Особенности пористой структуры электроосажденных материалов / О. Б. Гирин, А. Л. Чуприна // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №. 10 (59). С. 7 – 10.
4. Белов, С.Б. Пористые металлы в машиностроении / С.Б. Белов. – М.: Машиностроение, 1976. – 183 с.
5. Мурзакова, А. Р. Разработка технологии получения эффективного строительного пористого тепло- и звукоизоляционного конструкционного материала / А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, К. А. Васин, Бакунов В.С. // Строительные материалы. – 2011. – №5. – С. 65 – 67.
6. Есьман, Р. И., Устимович В. А. Численное решение задачи нестационарной теплопроводности в многослойных телах / Р. И. Есьман, В. А. Устимович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – №. 6. – С. 32 – 36.
7. Gubareva, K. V. Studying the heat transfer process in a porous medium with a Fischer–Koch S TPMS structure / K.V. Gubareva, A.V. Eremin // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. – 2024. – Iss. 4. – P. 70 – 82. – DOI: 10.17804/2410-9908.2024.4.070-082.
8. Neovius, E. R. Bestimmung Zweier Spezieller Periodischer Minimalflächen. – Helsingfors: Akad. Abhandlungen, 1883.

УДК 621.9.06

**Фидаров В.Х.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: fidval@mail.ru

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ МУФТ**

**Fidarov V.Kh.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: fidval@mail.ru

### **EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTROMAGNETIC HIGH-SPEED COUPLINGS**

*Аннотация.* Проведены испытания быстродействующих электромагнитных муфт. Установлены причины отклонения реальных характеристик муфт от нормализованных значений. Разработана методика и схема автоматизации исследования характеристик быстродействующих электромагнитных муфт.

*Ключевые слова:* электромагнитные муфты; быстродействие; порошковый тормоз; система управления; осциллограф, испытание.

*Abstract.* Tests of high-speed electromagnetic couplings have been carried out. The reasons for the deviation of the real characteristics of the couplings from the normalized values have been established. A method and a scheme for automating the study of the characteristics of high-speed electromagnetic couplings have been developed.

*Keywords:* electromagnetic couplings; Performance; powder brake; control system; Oscilloscope, test.

В металлорежущих станках широко используются электромагнитные фрикционные муфты (ЭМ) в приводах главного движения и подач, в следящих приводах копировальных станков и приводах точного позиционирования. В приводах главного движения и приводах подач применяют, как правило, электромагнитные фрикционные муфты с магнитопроводящими дисками, работающие в условиях обильной смазки маслом. Быстродействие таких ЭМ сравнительно невелико, но они удовлетворяют предъявляемым требованиям.

В следящих же приводах и приводах позиционирования для обеспечения точности обработки устанавливают электромагнитные фрикционные быстродействующие муфты (ЭМб) сухого трения. К быстродействию ЭМб предъявляют повышенные требования по быстродействию при включении и отключении муфты так как от этого зависит



точность и производительность обработки на станке. Для повышения быстродействия такие муфты включают с кратковременным (12 – 15) кратным форсированием по напряжению. Типовая механическая характеристика муфты представлена на рис. 1 [1, 4].



Рис. 1. Механическая характеристика быстродействующей муфты при включении и отключении

$M^+ = \frac{M(t)}{M_{ном}}$ ;  $I^+ = \frac{I(t)}{I_{ном}}$  - относительные значения передаваемого момента муфты и тока.  $t_0$  – время от подачи сигнала на включение муфты до окончания движения якоря («запаздывание»).  $t_n$  – время от подачи сигнала на включение муфты до установления номинального момента.

Значения  $t_0$  относятся к форсированию процесса включения муфты импульсом 12-15 кратного напряжения от номинального. Для этого могут использоваться станции полупроводниковых ключей управления СПКУ-2М, разработанные ЭНИМС.

$$M(t) = M_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T_3}}\right).$$

где  $M_n$  - номинальный вращающий момент муфты.

При отключении момент муфты изменяется

$$M_0(t) = \begin{cases} M_n \left(1 - 1.58 \frac{\sqrt{t}}{\tau}\right) & \text{при } M_0(t) > (0.3 - 0.4)M_n \\ 0.8 M_n \cdot e^{-\frac{2t}{T_3}} & \text{при } M_0(t) < (0.3 - 0.4)M_n \end{cases}$$

где  $T_3$  - эквивалентная постоянная времени;  $\tau$  - параметр быстродействия.



Поставляемые предприятиями муфты серии ЭТМб как правило не обеспечивают заявленных характеристик по быстродействию и передаваемому моменту, поэтому их испытывают, регулируют и «доводят» их параметры [2, 3].

Проведенные автором испытания партии из 7 муфт типа ЭТМ073б, конструкция которой представлена на рисунке 2, выявили следующее.

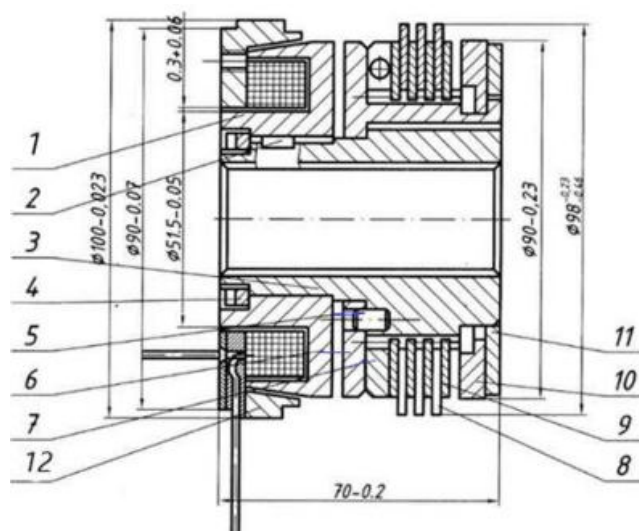


Рис.2. Электромагнитная быстродействующая муфта ЭТМ 073б

1) корпус; 2) шпонка; 3) втулка; 4) запорная гайка; 5) штифт направляющий; 6) якорь; 7) регулировочная гайка; 8) диск наружный (изготовлен из стали 65Г); 9) диск внутренний (со стальным основанием и металлокерамическим покрытием); 10) нажимной диск; 11) стопорный диск; 12) катушкадержатель.

1. Непараллельность торца регулировочной гайки 7 (рис.2) плоскости полюсов, что приводит к перекосу якоря относительно полюсов при включенной муфте, т.е. в неравномерности зазора между якорем и полюсами. Неравномерность зазора в свою очередь, ухудшает статические (силовые) и динамические характеристики муфты.

2. Неплоскостность (изогнутость) дисков, особенно внутренних с металлокерамическим покрытием, из-за неотработанности технологии по изготовлению.

После нанесения на поверхность дисков покрытия из металлокерамики они коробятся и их необходимо шлифовать. При шлифовке диска ставятся на магнитную плиту и под действием сильного магнитного поля выправляются, а после шлифовки восстанавливают в определенной степени свою прежнюю форму.

Неплоскостность дисков приводит при включенной муфте к уменьшению площади поверхностей трения дисков, а, следовательно, и к уменьшению номинального момента муфты [5].

Кроме того, увеличивается осевой размер пакета дисков, что приводит к увеличению хода якоря, а, следовательно, и к уменьшению быстродействия при включении.

Вследствие этого потребитель вынужден «доводить» муфту, чтобы она передавала номинальный момент. «Доводка» заключается в дополнительной шлифовке всех дисков и различного рода регулировках и пригонках. Так, например, все быстродействующие муфты для завода «Станкоконструкция» каждый раз (в течение нескольких лет) «доводятся» в лаборатории автоматизированного механического привода, где имеются различные испытательные стенды для муфт.

Однако не все заводы имеют такую возможность, что ставит их в худшие условия.

3. Магнитопровод муфты изготавливается из стали «АРМКО» магнитное сопротивление у которой по сравнению с предусмотренным по ТУ в 3 раза меньше и составляет  $\rho = 0,15 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/$

Это приводит к уменьшению коэффициента затухания вихревых токов в массивном магнитопроводе, вследствие чего ухудшается быстродействие муфты как при включении, так и отключении.

По нормали МН 5656-65 – МН 5665-65 «Муфты фрикционные многодисковые» ЭТМ073б должны обеспечивать при включении  $t_0 - 3 \text{ мс}$ ,  $t_{0,9} - 6 \text{ мс}$ , а при проведенных испытаниях партии муфт без дополнительной «доводки» было установлено, что  $t_0 = (5-6) \text{ мс}$ ,  $t_{0,9} = (4-10) \text{ мс}$ .

Испытания проводились на специальном стенде конструкции ЭНИМС (экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков), принципиальная схема которого представлена на рисунке 3.

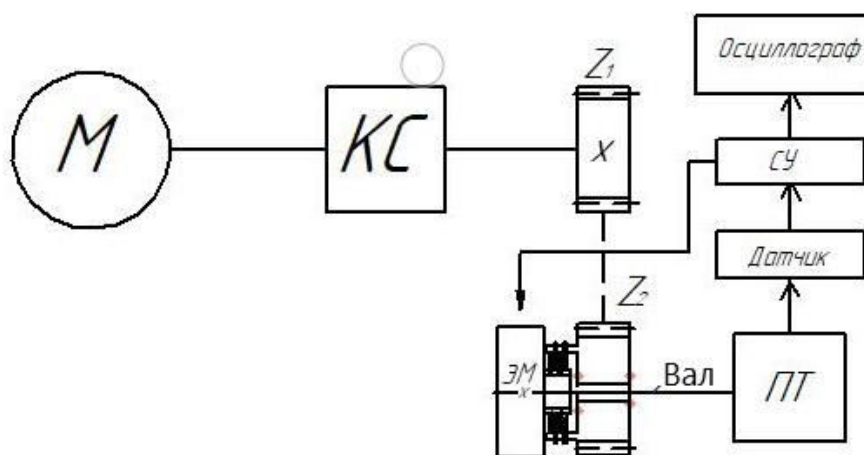


Рис. 3. Принципиальная схема стенда для испытания электромагнитных муфт

Вращение от электродвигателя М через коробку скоростей КС и ведущую шестерню  $Z_1$  передается на ведомое зубчатое колесо  $Z_2$  свободно вращающегося относительно вала при отключенной муфте ЭМ, которая жестко сидит на валу, а ее наружные диски взаимодействуют с поводками колеса  $Z_2$  и вращаются вместе с ним скользя относительно внутренних дисков при отключенной неподвижной муфте. При включении муфты ее диски сцепляются и вращение от колеса через вал передается на вал электромагнитного порошкового тормоза ПТ. На ПТ посредством подаваемого напряжения устанавливается тормозной момент, превышающий предельный момент муфты. При включении муфты развиваемый ею крутящий момент посредством вала

передается на ПТ, снабженный динамометром камертонного типа, на гибкий элемент которого был наклеен тензодатчик. Сигнал от тензодатчика через систему управления подается на осциллограф и записывается на фоточувствительную бумагу.

Характерная осциллограмма приведена на рисунке 4.

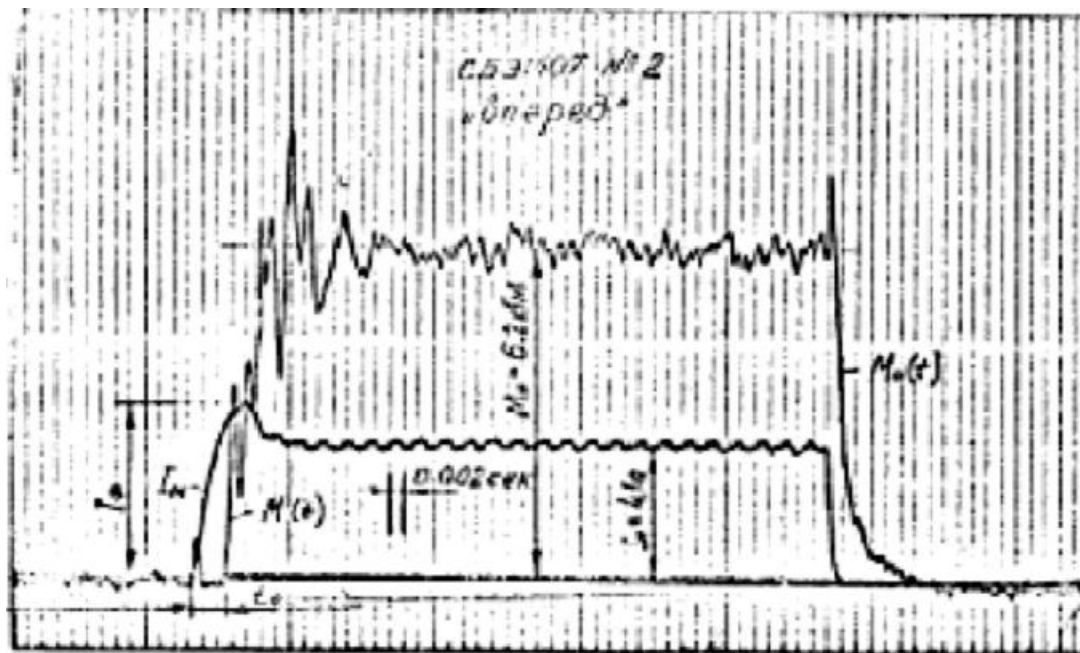


Рис. 4. Осциллограмма переходных процессов в муфте ЭТМ0736.

Динамические характеристики снимались на осциллографе при скорости прогонки фотобумаги 1000 мм/с. Поэтому при ручном управлении осциллографом и муфтой неизбежны большие перебеги фотобумаги, а сами кадры циклов получаются слишком длинными и неудобными при обработке.

В связи с этим была разработана схема автоматического управления съемкой циклов работы муфты [2].

При одновременном включении и отключении осциллографа и муфты на фотобумаге отдельные кадры разграничиваются засвеченной полосой, которая поглощает начало нарастания и конец спада момента муфты.

Поэтому автоматизация осциллографирования предусматривает определенную программу коммутации осциллографа и муфт.

На рисунке 5 показана схема автоматизации осциллографирования циклов работы быстродействующих муфт.

При включении выключателя В и кратковременном нажатии на кнопку «съемка» включается реле Р1, которое своими нормально открытыми (н.о.) контактами включает реле Р2 и подключает генератор прямоугольных импульсов Г1 и цепь управления транзистора Т1.

Нормально открытые н.о. контакты реле Р2 включают механизм протяжки бумаги осциллографа Н107, что соответствует началу процесса осциллографирования а также

включают реле P3, которое, в свою очередь, своим н.о. контактом P3 шунтирует н.о. контакт P2 в цепи осциллографа.

При включении генератора Г1 в цепь транзистора Т1 последний периодически открывается и замыкает один из сигнальных входов СПКУ-2М управляя тем самым включением и отключением муфты ЭМ.

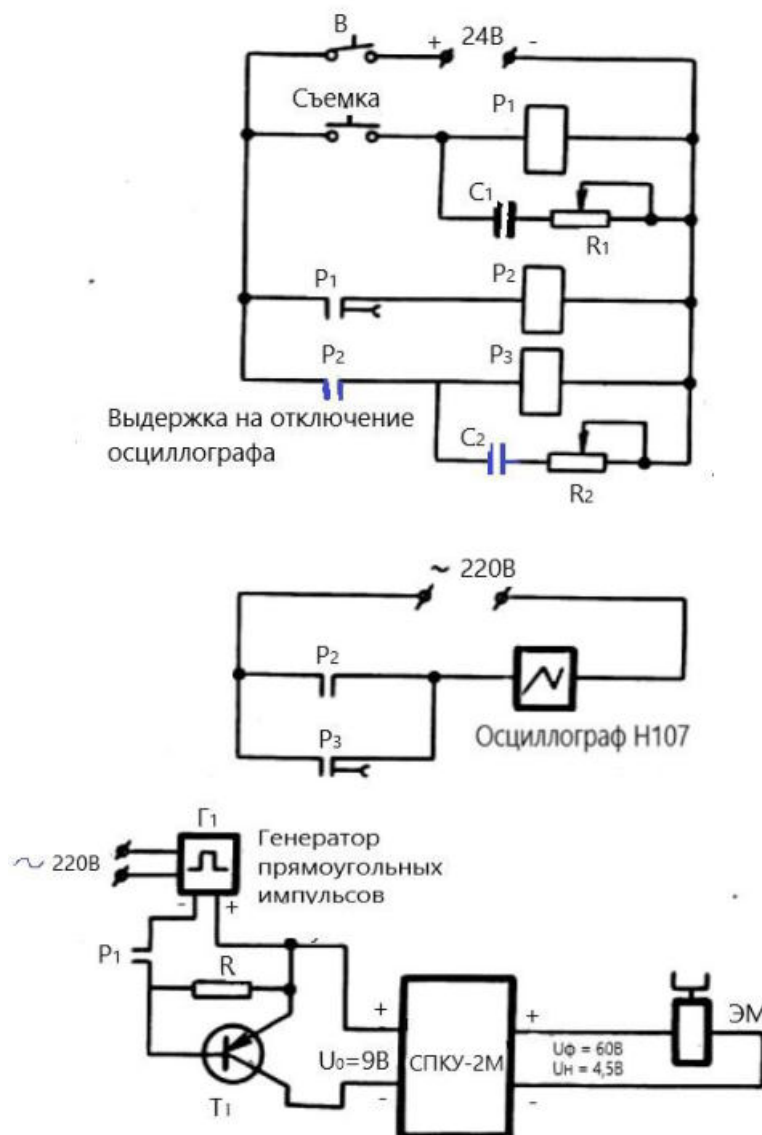


Рис. 5. Схема автоматизации осциллографирования переходных процессов в быстродействующих муфтах при испытании.

Время включенного и отключенного состояния муфты регулируется и зависит от частоты и связанности импульсов генератора Г1, которые, в свою очередь, выбираются из двух соображений.

1. Чтобы за время включенного и отключенного состояния муфты успели закончиться все переходные процессы в муфте;
2. Чтобы на одном кадре (за одну прокатку) уместились 2-3 цикла включения и отключения муфты.

Длительность подключения генератора  $G_1$  в цепь управления определяется длительностью нажатия кнопки «съемка» и постоянной времени  $R_1C_1$ , которая может регулироваться потенциометром  $R_1$ .

Выдержка на отключение осциллографа определяется постоянной времени  $R_2C_2$ , регулируется потенциометром  $R_3$  и составляет менее одной секунды.

Изменение тока и вращающего момента при коммутациях муфты записывались на ультрафиолетовую фотобумагу «Kodak Linagraph Direct Print Paper, T, 1895» шириной 120 мм с отметками времени 0,001с. Это позволяет достаточно точно производить обработку осциллограмм.

#### Список использованных источников

1. Фидаров В.Х. Испытание токарного станка с экспериментальной конструкцией привода подачи. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2022. с 46 - 51
2. Фидаров В.Х. Динамика следящего привода с электромагнитными муфтами токарно – копировального станка. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2021.- 211 с.
3. Фидаров В.Х. Повышение быстродействия электромагнитных фрикционных муфт. 5-ая Научная конференция. Краткие тезисы докладов.- Тамбов, Изд-во ТГТУ, 2000.-352 с.,
4. Татур О.Н., Флидлидер Г.М. Динамические характеристики быстродействующих электромагнитных муфт. М. Вестник электропромышленности, №7, 1963.
5. Цифровое машиностроение [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, М. В. Соколов и др. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

УДК 004.9

**Мокрозуб В.Г.<sup>1</sup>, Скворцова А.А.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: excel.love.avril@gmail.com

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КРИСТАЛЛИЗАТОРА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ**

**Mokrozub V.G.<sup>1</sup>, Skvortsova A.A.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: excel.love.avril@gmail.com

## **INFORMATION MODEL OF A MOLD WITH A MIXING DEVICE**

*Аннотация.* Представлена информационная модель кристаллизатора с перемешивающим устройством, построенная на основе 3D-модели. Информационная модель определяет позиционирование элементов кристаллизатора в пространстве друг относительно друга.

*Ключевые слова:* автоматизированное проектирование, кристаллизатор с перемешивающим устройством, 3D-модель.

*Abstract.* An information model of a crystallizer with a mixing device based on a 3D model is presented. The information model determines the positioning of the crystallizer elements in space relative to each other.

*Keywords:* computer-aided design, a mold with a mixing device, a 3D-model.

Процессы кристаллизации широко используются во многих отраслях промышленности. Существует много способов кристаллизации и много типов аппаратов для их проведения. Одним из таких аппаратов являются емкостные аппараты с перемешивающим устройством и рубашкой. Кристаллизация в них осуществляется за счет охлаждения насыщенного раствора.

Разработка таких аппаратов включает в себя создание 3D-модели аппарата и получения из нее конструкторской и технологической документации, необходимой для изготовления аппарата.

Авторами разработана 3D-модель кристаллизатора с мешалкой и рубашкой, рис. 1.

Основными элементами кристаллизатора являются корпус, рубашка, привод (рис. 2) и перемешивающее устройство (рис. 3).

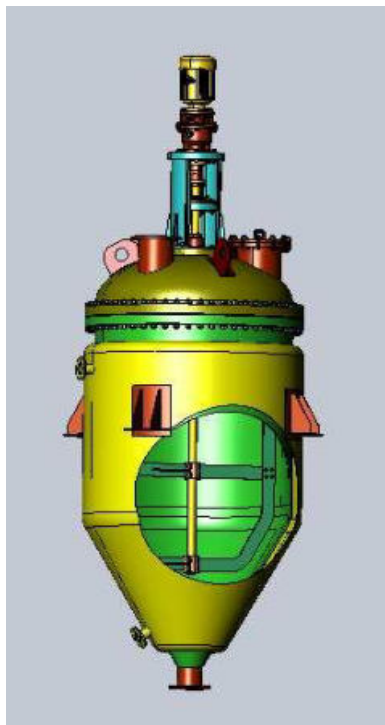


Рис. 1. Кристаллизатор с перемешивающим устройством

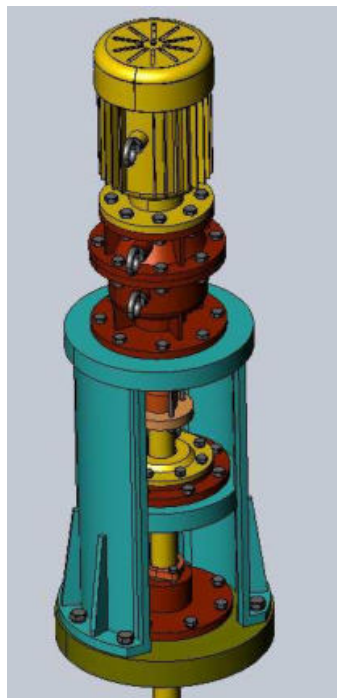


Рис.2. Привод перемешивающего устройства

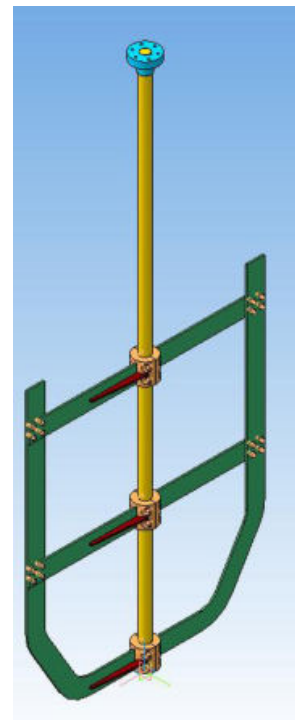


Рис. 3. Перемешивающее устройство

Создание 3D-модели довольно сложный процесс, одним из этапов которого является сопряжение элементов друг с другом или позиционирование элементов в пространстве друг относительно друга. Формализация этого процесса требует разработки информационной модели, задающей расположение элементов кристаллизатора в пространстве.

Информационную модель позиционирования рассмотрим на примере расположения элементов перемешивающего устройства.

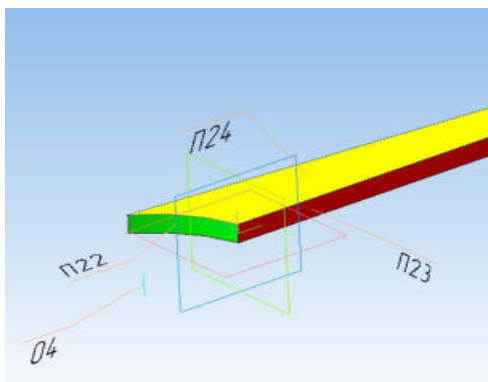


Рис. 4. Ребро жесткости

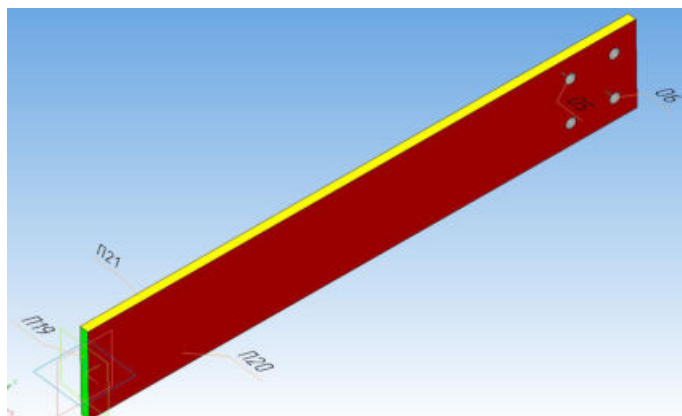


Рис. 5. Перекладина



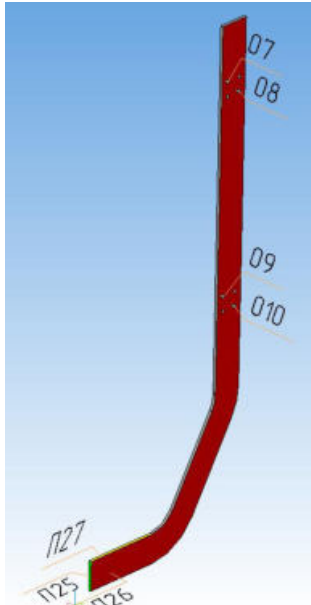


Рис. 6. Лопасть мешалки

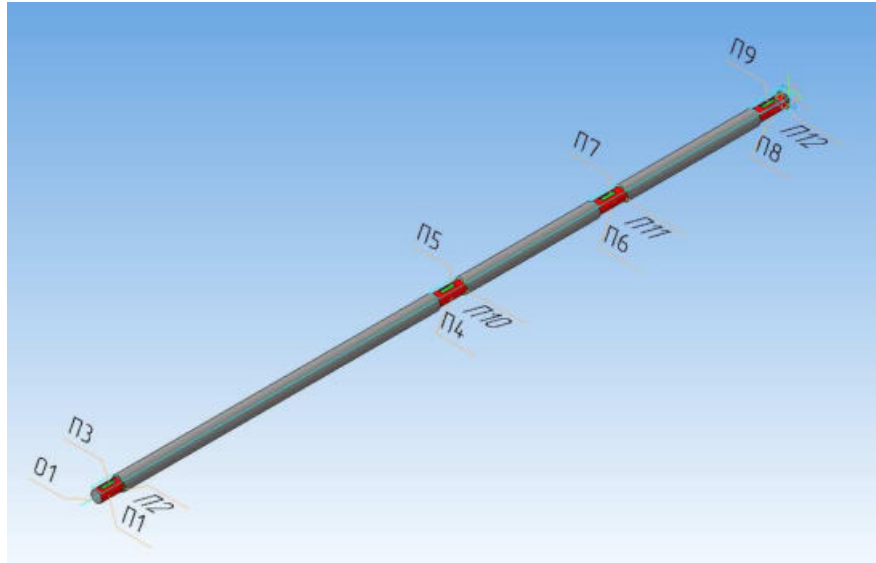


Рис. 7. Вал мешалки

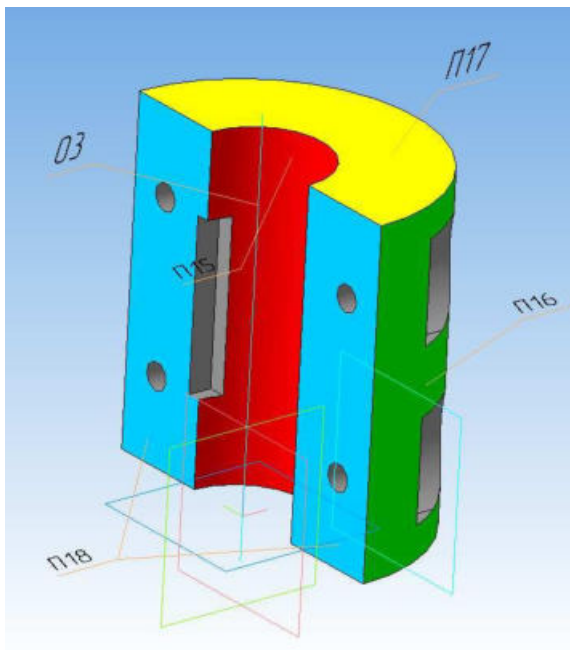


Рис. 8. Ступица

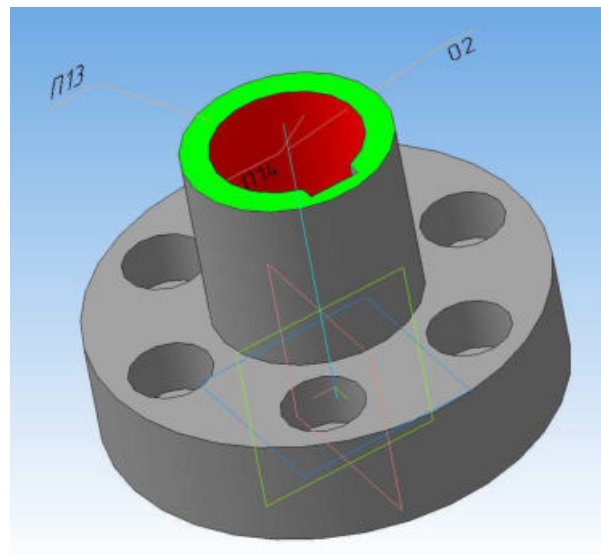


Рис. 9. Полумуфта

На рис. 4-9 представлены элементы перемешивающего устройства, на которых условные обозначения:  $\odot$  - соосность элементов;  $\subset$  - сопряжение элементов; Пп – плоскость; Оп – ось; Рп – ребро.

Информационная модель позиционирования элементов перемешивающего устройства с учетом введенных обозначений представлена таблице 1.



Таблица 1. Информационная модель позиционирования элементов перемешивающего устройства

Сборка	Сопряжение
Вал + Полумуфта	Вал.О <sub>1</sub> ⊙ Полумуфта.О <sub>2</sub> Вал.П <sub>1</sub> ⊂ Полумуфта.П <sub>14</sub> Вал.П <sub>2</sub> ⊂ Полумуфта.П <sub>13</sub>
Вал + Ступица(6 шт)	Вал.О <sub>1</sub> ⊙ Ступица.О <sub>3</sub> Вал.П <sub>4</sub> ; П <sub>6</sub> ; П <sub>8</sub> ⊂ Ступица.П <sub>15</sub> Вал.П <sub>10</sub> ; П <sub>11</sub> ; П <sub>12</sub> ⊂ Ступица. П <sub>17</sub>
Переключатель (4 шт) + Ступица (4 шт)	Переключатель.П <sub>19</sub> ⊂ Ступица.П <sub>16</sub> Переключатель.П <sub>21</sub> ⊂ Ступица.П <sub>17</sub> (совпадение на расстоянии 10 мм)
Ступица (4 шт) + Ребро (4 шт)	Ступица.О <sub>3</sub> ⊙ Ребро.О <sub>4</sub> Ступица.П <sub>16</sub> ⊂ Ребро.П <sub>22</sub> Ступица.П <sub>17</sub> ⊂ Ребро.П <sub>24</sub> (совпадение на расстоянии 46 мм)
Ребро (4 шт) + Переключатель (4 шт)	Ребро.П <sub>23</sub> ⊂ Переключатель.П <sub>20</sub> Ребро.П <sub>24</sub> ⊂ Переключатель.П <sub>20</sub>
Лопасть мешалки (2 шт) + Ступица (2 шт)	Лопасть мешалки.П <sub>25</sub> ⊂ Ступица.П <sub>16</sub> Лопасть мешалки.П <sub>27</sub> ⊂ Ступица.П <sub>17</sub> (совпадение на расстоянии 10 мм)
Лопасть мешалки (2 шт) + Ребро (2 шт)	Лопасть мешалки.П <sub>26</sub> ⊂ Ребро.П <sub>23</sub> Лопасть мешалки.П <sub>24</sub> ⊂ Ребро.П <sub>26</sub> (совпадение; перпендикулярность)
Лопасть мешалки (2 шт) + Переключатель (6 шт)	Лопасть мешалки П <sub>26</sub> ⊂ Переключатель П <sub>20</sub> Лопасть мешалки.О <sub>7</sub> ; О <sub>9</sub> ⊙ Ребро.О <sub>5</sub> ; Лопасть мешалки. О <sub>8</sub> ; О <sub>10</sub> ⊙ Ребро.О <sub>6</sub>

Представленная 3D-модель и информационная модель являются элементами разрабатываемой с участием авторов системы автоматизированного проектирования технологического оборудования [1,2], которая используется в том числе и для целей обучения [3].

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31-34. – EDN ULTIQF.
2. Матрохин, М. А. Информационная поддержка принятия решений по выбору вида погружного барабана в установке гальванического покрытия деталей в насыпном виде / М. А. Матрохин, В. А. Немтинов, С. Я. Егоров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 53-65. – DOI 10.17277/vestnik.2024.01.pp.053-065. – EDN OIUPVU.
3. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.

УДК 004.9

**Альсаиди А.А.М.**

Республика Ирак, Багдад

e-mail: abbas.atwan@gmail.com

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА КОЖУХОТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА**

**Alsaedi A.A.M.**

Republic of Iraq, Baghdad

e-mail: abbas.atwan@gmail.com

### **AUTOMATED DETERMINATION OF THE TYPE OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER**

*Аннотация.* Представлена структура реляционной базы данных, позволяющей определять тип кожухотрубчатого теплообменника в зависимости от исполнения по материалу, температуре кожуха и труб, разности температур кожуха и труб.

*Ключевые слова:* автоматизированное проектирование, кожухотрубчатый теплообменник, определение типа теплообменника.

*Abstract.* The structure of a relational database is presented, which allows determining the type of shell-and-tube heat exchanger depending on the material design, the temperature of the casing and pipes, the temperature difference of the casing and pipes.

*Keywords:* computer-aided design, shell-and-tube heat exchanger, determination of the type of heat exchanger.

Процессы, связанные с нагревом или охлаждением веществ, присутствуют на всех химических предприятиях независимо от выпускаемой ими продукции. Существует много различных типов теплообменных аппаратов, но самыми распространенными из них являются кожухотрубчатые теплообменники, тепло в которых передаются от одного теплоносителя другому через стенки трубок. В зависимости от материалов, используемых в деталях теплообменника, температуры внутри теплообменника и разности температур кожуха и труб используются разные типы теплообменников, например, с неподвижными трубными решетками, с компенсатором на кожухе или с U-образными трубками.

В ТУ 3612-024-00220302-02 «Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе» выбор типа теплообменника осуществляется на основании температуры в теплообменнике, исполнения по материалу (см. рис. 1.)

Таблица 10

**Область применения аппаратов типов ТН, ТК, ХН, ХК, КН, КК, ИН, ИК  
в зависимости от диаметра кожуха, длины труб, исполнения по материалу  
и температурному пределу**

Тип аппарата	Исполнение по материалу	Температурный предел применения, °С	Диаметр кожуха											
			159				273				325			
			длина труб											
			1000	1500	2000	3000	1000	1500	2000	3000	1500	2000	3000	4000
ТН, ТК ИН, ИК	М1	от минус 40 до плюс 350	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
		от минус 20 до плюс 300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ХН, ХК КН, КК	М3	от минус 20 до плюс 200	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
		от минус 70 до плюс 350	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
ТН, ТК ИН, ИК	М8	от минус 70 до плюс 350	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
		от минус 40 до плюс 200	(+)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
ТН, ТК ИН, ИК	М9	от минус 40 до плюс 200	(+)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		от минус 20 до плюс 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТН, ТК ИН, ИК	М10	от минус 40 до плюс 200	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
		от минус 20 до плюс 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТН, ТК ИН, ИК	М11	от минус 40 до плюс 200	(+)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		от минус 20 до плюс 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТН, ТК ИН, ИК	М12	от минус 20 до плюс 300	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
		от минус 60 до плюс 350	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+

Рис. 1. Пример области применения теплообменников

Наибольшая допустимая разность температур кожуха ( $t_k$ ) и труб ( $t_T$ )  
для аппаратов типа ТН

Таблица 11

Диаметр кожуха, мм		Давление в кожухе и трубах, Р, МПа	$t_k - t_T$ и $t_T - t_k$ при температуре труб, °С											
			до 250	250-350 <sup>1)</sup>	до 250	250-350 <sup>1)</sup>	до 250	250-350 <sup>1)</sup>	до 250	250-300 <sup>2)</sup>	до 200 <sup>2)</sup>	200-300 <sup>3)</sup>		
наруж-ный	внутрен-ний		для исполнения по материалу											
			М1; М17		М8, М10		М9; М11		М12		М19; М20; М21; М22		М23; М24	М21; М22
159	—	1,6					20	20						
273	—	2,5; 4,0	30	20	20	20	—	—	20	20	—	—	—	—
325	—	1,6; 2,5					20	20						
426	400	4,0	20						30	20	30	30	20	20
630	600	1,6	40			30			30	—	—	40	40	30
		2,5; 4,0	30			20	30		20	—	—	30	30	20
		1,0; 1,6	40	30	30	30	30		30	—	—	40	40	30
—	800	2,5; 4,0	30			20			20	—	—	30	30	20
		0,6; 1,0	60	50	50	40	50	40	—	—	60	60	40	40
		1,6	50	40	40	30	40	30	—	—	50	50	30	30
—	1000	2,5; 4,0	30	20	30	20	30	20	—	—	30	30	20	20
		0,6; 1,0	60	50	50	40	50	40	—	—	60	60	40	40
		1,6	50	40	40	30	40	30	—	—	50	50	30	30
—	1200	2,5	40	30	30	20	30	20	—	—	40	40	20	20

Рис. 2. Пример допустимой разности температур кожуха и труб

Структура реляционной базы данных, позволяющей выбирать тип теплообменника представлена на рис. 3. Исходные данные для запроса находятся в таблице Задание, где

T\_кожуха, T\_труб – температура кожуха и труб, Код\_Исполнения – код исполнения по материалу из таблицы Исполнение\_по\_материалу, где наименование – исполнение по материалу, например, М1, М3, М8 и т.д. В таблице Область\_применения находятся данные таблицы на рис. 1, а в таблице допускаемая разность температур – данные таблицы на рис. 2. В таблице Тип\_теплообменника находится обозначение и наименование теплообменника, например, ТН, Теплообменник кожухотрубчатый с неподвижными трубными решетками.

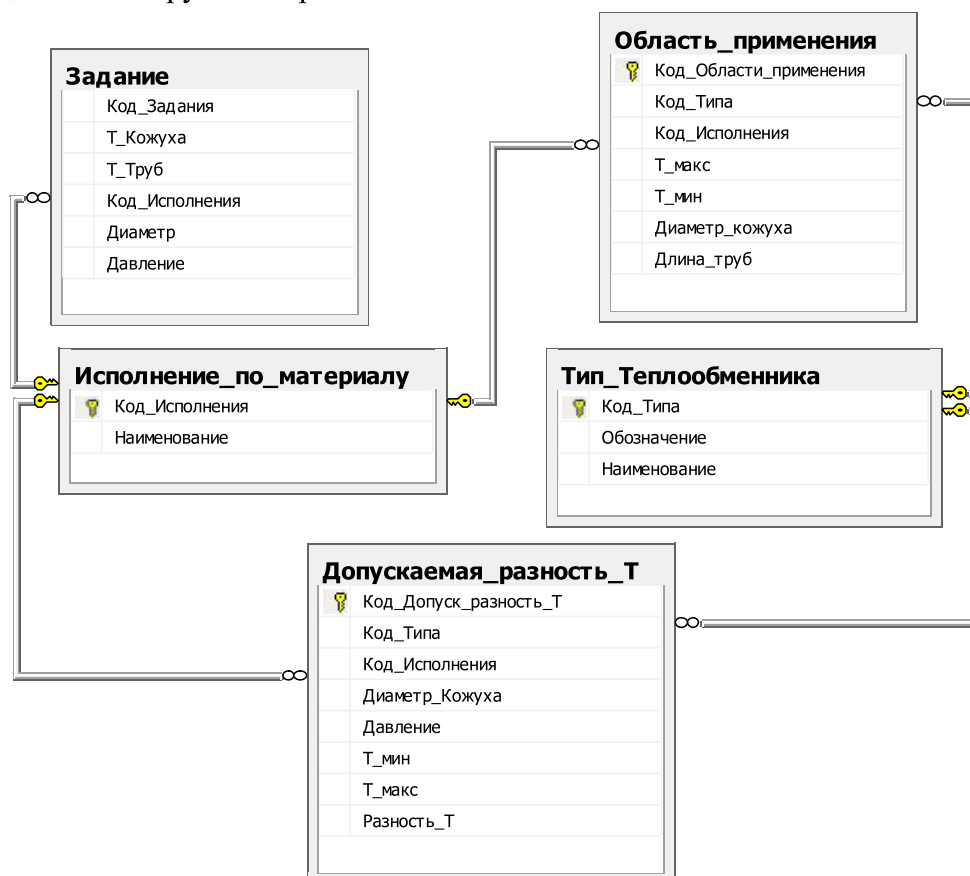


Рис. 3. Структура базы данных, позволяющей выбрать тип теплообменника

Представленная база данных является элементом разрабатываемой с участием авторов системы автоматизированного проектирования технологического оборудования [1], которая предназначена, в том числе и для целей обучения [2].

#### Список использованных источников

1. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31-34. – EDN ULTIQF.
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.

**Секция**

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И  
ПРОТОТИПИРОВАНИЕ  
СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ**



УДК 004.921

**Шах А. В.<sup>1</sup>, Абдыров А. Т.<sup>2</sup>**

Барановичский государственный университет, Республика Беларусь, г. Барановичи

<sup>1</sup>e-mail: shah.al.vas@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: kafedra.ist@mail.ru

## **СОЗДАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЖИЛОГО БЛОКА СТУДЕНЧЕСКОГО ОБЩЕЖИТИЯ В SKETCHUP**

**Shakh A. V.<sup>1</sup>, Abdyrov A. T.<sup>2</sup>**

Baranovichi State University, Republic of Belarus, Baranovichi

<sup>1</sup>e-mail: shah.al.vas@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: kafedra.ist@mail.ru

## **CREATION AND VISUALIZATION OF A STUDENT DORMS RESIDENTIAL BLOCK IN SKETCHUP**

*Аннотация.* В статье рассматривается создание трехмерной модели блока в общежитии с использованием программного обеспечения SketchUp. Исследование направлено на построение детализированной модели, включающей архитектурные элементы, интерьер и планировку помещения. Осуществляется оптимизация модели для улучшения производительности при визуализации и рендеринге, с целью получения фотореалистичных изображений. Проект демонстрирует практическое применение 3D моделирования в архитектуре и дизайне интерьеров, а также его образовательное значение.

*Ключевые слова:* 3D-моделирование, SketchUp, рендеринг, оптимизация модели, полигональная сетка, планировка помещения.

*Abstract.* This article examines the creation of a three-dimensional model of a dormitory block using SketchUp software. The study focuses on constructing a detailed model that includes architectural elements, interior design, and room layout. The model is optimized to enhance performance during visualization and rendering, aiming to achieve photorealistic images. The project demonstrates the practical application of 3D modeling in architecture and interior design, as well as its educational significance..

*Keywords:* 3D-modeling, SketchUp, rendering, model optimization, polygon mesh, room layout.

Создание трехмерных моделей жилых помещений играет важную роль в архитектуре и дизайне интерьеров, позволяя лучше понять и визуализировать

конечный результат до начала ремонтных или строительных работ. Моделирование блоков в общежитиях имеет особое значение для улучшения условий проживания и планирования пространства.

Современные технологии моделирования, такие как SketchUp, значительно расширили возможности проектирования. Рендеринг позволяет создавать фотореалистичные изображения, что является наглядным и доступным способом демонстрации по сравнению с традиционными методами, такими как чертежи.

Цель данного исследования – создание детализированной 3D модели блока в общежитии и визуализация её через рендеринг. Это включает в себя моделирование всех элементов блока, а также оптимизацию модели для визуализации.

Эта модель должна включать в себя следующие элементы:

- Архитектурные элементы (внешние и внутренние стены, окна, двери и перегородки).
- Интерьер (мебель, бытовая техника и декоративные элементы).
- Планировка помещения.

Модель должна быть визуалью правдоподобной и технически корректной, что позволит эффективно её использовать для последующей визуализации. Важно учесть реальные размеры и пропорции всех элементов, чтобы модель была максимально приближена к реальному объекту.

Кроме того, необходимо провести оптимизацию модели для уменьшения количества полигонов, что позволит улучшить производительность при визуализации и рендеринге. Оптимизация также включает проверку модели на наличие перекрытий, достаточность толщины стен и других параметров, влияющих на качество и стабильность визуализации.

Вся модель была создана в SketchUp, из-за его удобства и простоты в использовании [1].

Для начала была взята схема блока, показанная на рисунке 1, и перенесена в конструкторское программное обеспечение для точного указания размеров и разметки, на рисунке 2.

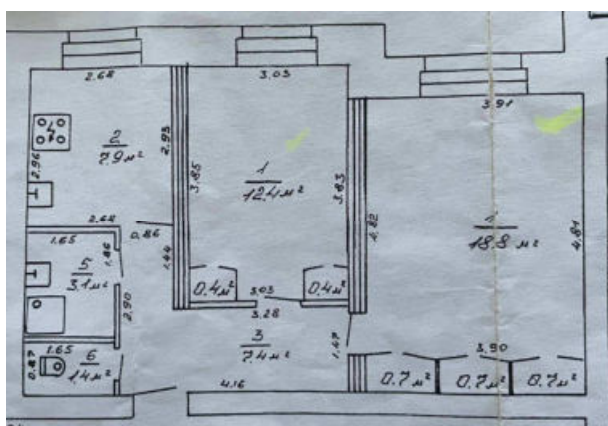


Рис. 1. Схема блока



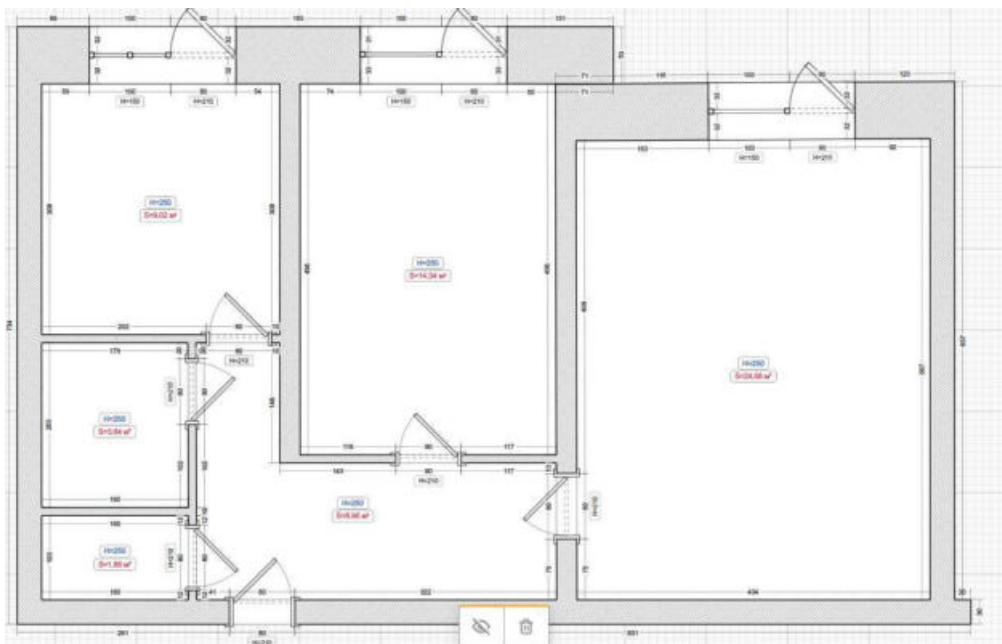


Рис. 2. Перенос схемы в SketchUp

Основные этапы построения модели включали в себя:

1. Создание стен на основании разметки, указанных в конструкторском ПО, в SketchUp были построены внешние и внутренние стены блока. Это позволило создать точную архитектурную структуру помещения.

2. Расстановка дверей и окон после создания стен, в модели были размещены двери и окна согласно планировке блока. Это обеспечило правильное распределение пространственных элементов и улучшение визуализации.

3. Расстановка мебели, большая часть мебели была создана вручную в SketchUp. Это включало создание кроватей, столов, стульев и других предметов интерьера. Для удобства и экономии времени такие элементы, как унитаз, раковина, плита и душ, были скачаны с официального сайта SketchUp, где другие пользователи выкладывают свои работы в открытый доступ. Это позволило быстро и эффективно заполнить модель необходимыми элементами.

4. После размещения всех элементов интерьера, началась работа с наложением текстур. Были выбраны подходящие текстуры для стен, пола и мебели, чтобы модель выглядела реалистично и соответствовала реальному объекту.

5. Освещение на заключительном этапе было добавлено, что позволило создать фотореалистичную визуализацию модели. Были настроены источники света, учитывая естественное и искусственное освещение, чтобы достичь максимального реализма.

Расстановка стен была выполнена на основании схемы блока. Все внешние и внутренние стены были взяты и построены согласно планировке, чтобы создать точную архитектурную структуру помещения. Результат проектирования представлен на рисунке 3.



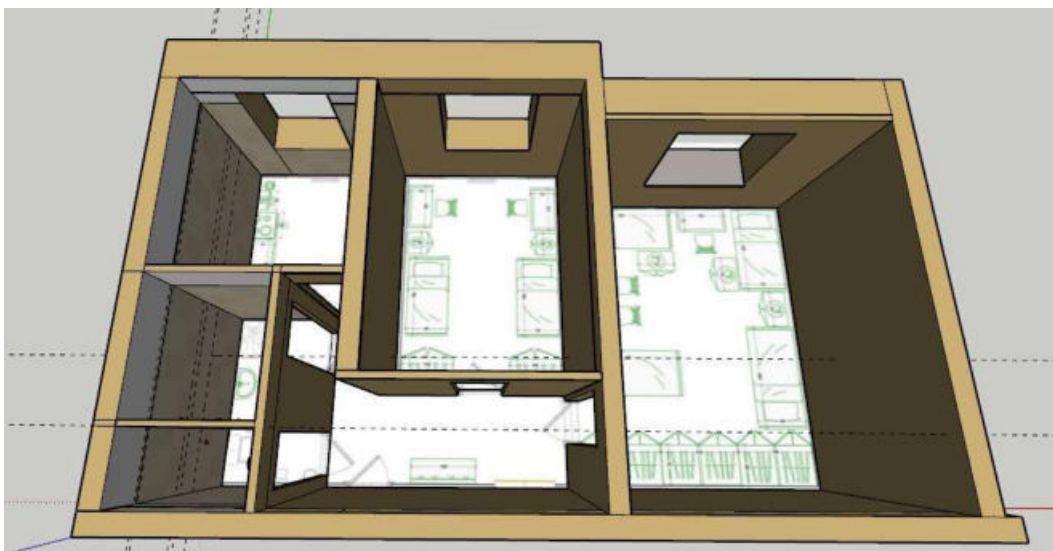


Рис.3. Расстановка стен

Большая часть мебели была создана вручную для большей схожести, однако остальная часть интерьера для удобства и экономии времени были скачаны с официального сайта SketchUp и были подобраны максимально похожие элементы интерьера.

После создания стен в модели были размещены двери, окна и остальная часть интерьера согласно планировке блока. Это обеспечило правильное распределение пространственных элементов и улучшение визуализации. Расстановка мебели показана на рисунке 4.



Рис. 4. Расстановка мебели

После завершения построения модели блока в общежитии в SketchUp была проведена её оптимизация для улучшения производительности и качества рендеринга. Оптимизация включала несколько ключевых этапов, направленных на уменьшение количества полигонов и улучшение общей геометрии модели.

Основные этапы оптимизации:

1. Уменьшение количества полигонов. Для оптимизации модели использовалось приложение MeshMixer. Этот этап включал в себя сокращение числа полигонов без потери качества визуализации. Это позволяет значительно снизить нагрузку на систему при рендеринге и улучшить скорость работы с моделью [2].

2. Удаление лишних деталей. Были проведены работы по удалению из модели ненужных и невидимых элементов, которые могли бы увеличивать сложность и размер файла. Это включало удаление мелких деталей, которые не видны на финальных рендерах, и объединение схожих элементов.

3. Оптимизация геометрии. Были проведены работы по улучшению геометрии модели, чтобы сделать её более простой и эффективной для рендеринга. Это включало выравнивание поверхностей, упрощение сложных форм и проверку на наличие ошибок в модели, таких как перекрытия и дублирующиеся элементы.

4. Проверка и корректировка размеров. Были проверены и скорректированы размеры всех элементов модели для обеспечения их точного соответствия реальным размерам и пропорциям. Это важно для достижения максимальной реалистичности при визуализации.

Процесс уменьшения количества полигонов и упрощения геометрии в MeshMixer, представлен на рисунке 5.

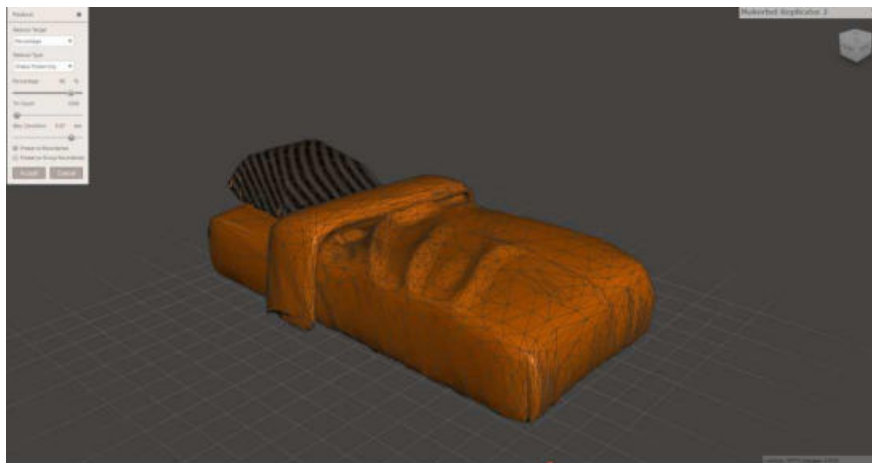


Рис. 5. Оптимизация модели

Таким образом было уменьшено количество полигонов с 41073 до 5951, уменьшив размер моделей и нагрузку на проект, при этом сохранив оптимальный вид.

После завершения построения и оптимизации модели блока в общежитии, следующим этапом стало выполнение рендеринга для получения фотореалистичных изображений. Этот процесс включал настройку материалов, освещения и других параметров рендеринга в SketchUp.

Первым этапом рендеринга было создание изображения пустой комнаты, без мебели и освещения, чтобы показать базовую структуру стен, потолка и естественное освещение, что показано на рисунке 6.

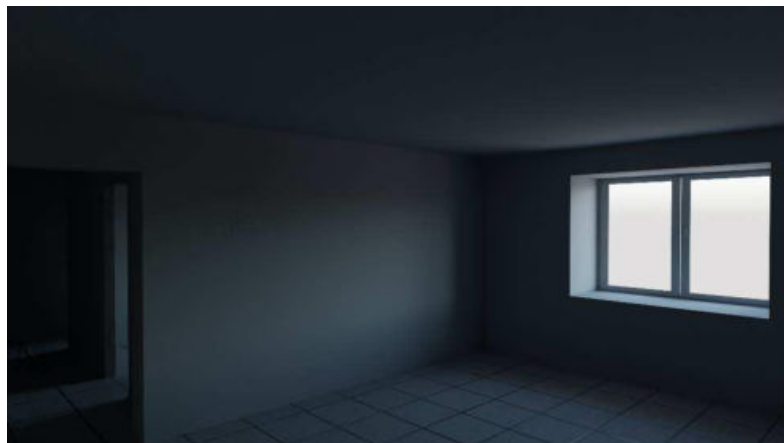


Рис. 6. Рендер пустой комнаты

Далее были выполнены рендеры каждой комнаты по отдельности, начиная со спальни и заканчивая кухней. Эти рендеры демонстрируют детализированное оформление интерьера и использование различных материалов и текстур.

Рендер спальни, рассчитанной на проживание 4 человек, представлен на рисунке 7. Показана детализированная спальня с мебелью, текстурами и освещением.

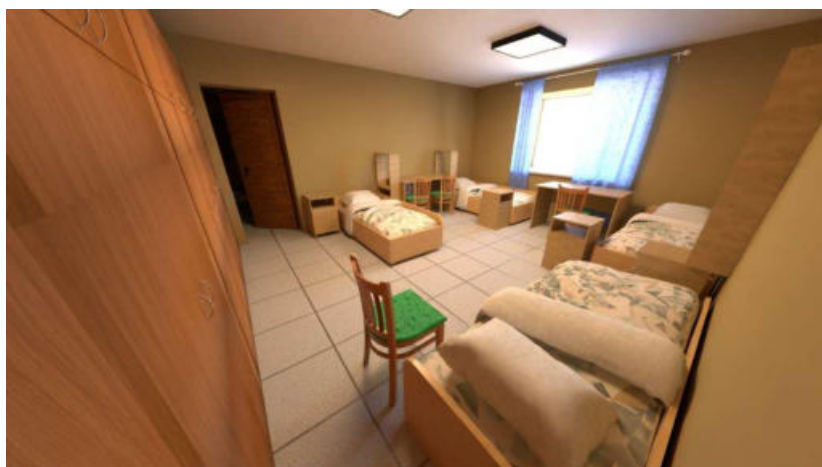


Рис. 7. Рендер спальни на 4 человека

Рендер спальни, рассчитанной на проживание 2 человек, представлен на рисунке 8.



Рис. 8. Рендер спальни на 2 человека

Ванная комната с сантехникой, текстурами и освещением, показана на рисунке 9.



Рис. 9. Рендер ванной комнаты

Кухня с бытовой техникой, мебелью, текстурами и освещением, показана на рисунке 10.



Рис. 10. Рендер кухни

Эти рендеры демонстрируют высокую степень реализма и позволяют получить полное представление о том, как будет выглядеть блок в общежитии после его постройки.

Практическое значение данного проекта заключается в демонстрации возможностей современных технологий 3D моделирования и рендеринга в области архитектуры и дизайна интерьеров. Созданная модель может быть использована для наглядной демонстрации студентам и посетителям, что повышает информативность и привлекательность образовательного процесса. Модель также может служить инструментом для планирования и оптимизации жилых пространств, а её использование в учебных целях способствует развитию навыков проектирования и визуализации у студентов.



Создание и визуализация жилого блока студенческого общежития в SketchUp позволяет наглядно продемонстрировать условия проживания, что повышает привлекательность университета для абитуриентов. Фотореалистичные 3D-модели помогают эффективно представить инфраструктуру и преимущества кампуса, способствуя продвижению образовательных услуг и увеличению набора студентов [3].

Кроме того, данный проект подчеркивает важность использования 3D моделирования в современном образовании. Визуализация позволяет лучше понять архитектурные решения и улучшить взаимодействие между студентами и преподавателями [4]. В будущем, с развитием технологий, такие модели могут стать неотъемлемой частью учебного процесса, способствуя более эффективному обучению и повышению качества образовательных программ.

#### Список использованных источников

1. SketchUp уроки. Уроки для начинающих [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.youtube.com/watch?v=XJU9WBLsx\\_M](https://www.youtube.com/watch?v=XJU9WBLsx_M) — Дата доступа: 28.09.2024.
2. Meshmixer Tutorial [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://medium.com/@makerhacks/meshmixer-tutorial-using-meshmixer-to-delete-and-edit-parts-of-an-existing-stl-32a3ed4faad8> — Дата доступа: 18.09.2024.
3. Шапович, Е. Г. Виртуальная экскурсия как средство повышения имиджа учреждения высшего образования / Е. Г. Шапович, Ю. Е. Горбач, А. В. Шах // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн материалы IX Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». — Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». — 2023. — С. 154 — 159.
4. Шах, А. В. Современные инструменты цифрового маркетинга / А. В. Шах, О. В. Лапицкая // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23-24 апр. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. А. А. Бойко. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. - С. 404-407.

УДК 004.946

**Шах А. В.<sup>1</sup>, Веракса Э.А.<sup>2</sup>**

Барановичский государственный университет, Республика Беларусь, г. Барановичи

<sup>1</sup>e-mail: shah.al.vas@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: kafedra.ist@mail.ru

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПОСЕЩЕНИЯ  
ЛАБОРАТОРИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ И РОБОТОТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ БАРАНОВИЧСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Shakh A. V.<sup>1</sup>, Veraksa E. A.<sup>2</sup>**

Baranovichi State University, Republic of Belarus, Baranovichi

<sup>1</sup>e-mail: shah.al.vas@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: kafedra.ist@mail.ru

**DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR VIRTUAL VISITS TO THE  
LABORATORY OF INFORMATION AND ROBOTIC SYSTEMS AT  
BARANOVICHI STATE UNIVERSITY**

*Аннотация.* В статье рассматривается создание приложения для виртуального посещения лаборатории информационных и роботизированных систем Барановичского государственного университета, которое использует технологии виртуальной реальности для улучшения образовательного процесса. Приложение предоставляет пользователям возможность интерактивно изучать инфраструктуру и оборудование лаборатории, перемещаясь по виртуальному пространству и взаимодействуя с моделями. В разработке были использованы инструменты 3D-моделирования, такие как Blender и Twinmotion, а также язык визуального программирования Blueprint Visual Scripting в Unreal Engine. Приложение совместимо с различными платформами и поддерживает использование VR-гарнитур, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Тестирование производительности приложения показало эффективность использования ресурсов, что подтверждает его способность предоставлять высококачественный визуальный опыт. В итоге, проект демонстрирует инновационные подходы в образовании и развитие навыков у студентов в области информационных технологий.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, 3D-моделирование, Unreal Engine, Blender, Барановичский государственный университет.

*Abstract.* This article discusses the creation of an application for virtual visits to the laboratory of information and robotic systems at Baranovich State University, which uses virtual reality technologies to enhance the educational process. The application allows users

to interactively explore the infrastructure and equipment of the laboratory, navigating through virtual space and engaging with models. The development utilized 3D modeling tools such as Blender and Twinmotion, as well as the visual programming language Blueprint Visual Scripting in Unreal Engine. The application is compatible with various platforms and supports the use of VR headsets, making it accessible to a wide range of users. Performance testing of the application demonstrated effective resource utilization, confirming its ability to provide a high-quality visual experience. Ultimately, the project showcases innovative approaches in education and the development of skills among students in the field of information technology.

*Keywords:* virtual reality, 3D modeling, Unreal Engine, Blender, Баранович State University.

Создание приложения VR-лаборатории информационных и роботизированных систем в Барановичском государственном университете представляет собой актуальный шаг в свете современных тенденций в образовании и технологий. Виртуальная реальность становится важным инструментом, позволяющим студентам погружаться в интерактивные учебные среды, что значительно повышает уровень усвоения материала и мотивацию к обучению.

Виртуальное посещение лаборатории обеспечит возможность изучения ее инфраструктуры и оборудования в интерактивной и увлекательной форме. Пользователи смогут перемещаться по виртуальному пространству, взаимодействовать с различными моделями и системами, что сделает процесс обучения более доступным и наглядным. Это особенно актуально для сложных концепций, которые трудно объяснить без практического опыта. Программный продукт должен позволять виртуальному аватару пользователя перемещаться по виртуальной лаборатории. Также приложение должно запускаться на различных платформах таких как Windows или Android и поддерживать использование гарнитуры виртуальной реальности.

Для моделирования объектов в приложении был использован Blender — программный продукт, предназначенный для создания и редактирования трехмерной графики [1].

Сам Blender предоставляет пользователю следующий функционал:

— 3D моделирование. Пользователю доступно огромное количество инструментов для создания и редактирования 3D моделей самых разных уровней сложности. Причем моделировать объекты можно при помощи доступных примитивов, полигонов, NURBS-кривых и кривых Безье. Дополнительно предусмотрен функционал для формирования метасфер и управления формой при помощи булевых операций. Не стоит забывать и о технологиях Subdivision Surface и наиболее понятных инструментах создания скульптур. По аналогии с профессиональными сборками, тут предусмотрены модификаторы для изменения формы моделей.

— Создание анимации. Несмотря на то, что софт сам по себе рассчитан на моделирование, анимация представлена тоже неплохо. Можно использовать

традиционную скелетную анимацию или риггинг, инверсную кинематику, различные ограничители и многое другое. Все коэффициенты и параметры настраиваются при помощи встроенных инструментов. Дополнительно представлена динамика тел разной твердости и формирование анимации мелких частиц.

— Текстуры. Возможность накладывать сразу несколько текстур на один и тот же объект. Есть масса инструментов для текстурирования, в том числе UV-маппинг и функция частичного настраивания. Значительно облегчает работу настройка шейдеров.

— Игровой движок. Последние версии программы оснащаются собственным игровым движком, с помощью которого можно создавать приложения с интерактивными функциями. При наличии определенных навыков, не составит труда внести изменения в создаваемую игру посредством интерфейса Python API.

Для построения сцены была использована программа Twinmotion предназначенная для трехмерной визуализации в реальном времени, разработанная для профессионалов в области архитектуры, строительства, городского планирования и озеленения. Она позволяет создавать фотореалистичные изображения проектов, панорамы и стандартные или 360° VR-видео за секунды. Twinmotion сочетает в себе интуитивно понятный интерфейс и мощь Unreal Engine от Epic Games, что делает его простым в освоении и использовании, независимо от размера и сложности проекта, материалов, ИТ-знаний пользователя или предпочитаемого им BIM-решения.

Код для взаимодействия пользователя и приложения был написан с помощью языка визуального программирования Blueprint Visual Scripting из-за низких требований к вычислительным мощностям компьютера при обработке команд пользователя.

Система Blueprint Visual Scripting в Unreal Engine — это полноценная система сценариев игрового процесса, основанная на концепции использования интерфейс на основе узлов для создания элементов геймплея из Unreal Editor [2]. Как и многие распространенные скриптовые языки, он используется для определения объектно-ориентированных классов или объектов в движке. При использовании UE5 часто можно обнаружить, что объекты, определенные с помощью Blueprint, в просторечии называются просто «Blueprints».

Эта система является чрезвычайно гибкой и мощной, поскольку она дает возможность дизайнерам использовать практически весь спектр концепций и инструментов, обычно доступных только программистам. В дополнение Специфичная для Blueprint разметка, доступная в реализации C++ в Unreal Engine, позволяет программистам создавать базовые системы, которые могут быть расширены дизайнерами.

Перед непосредственным построением виртуальной лаборатории было необходимо создать объекты, которые будут в ней расположены. Для этого было использовано программное обеспечение для создания трехмерной графики Blender при проектировании простых объектов, таких как: вентиляция, дверь, окна и т.д. Однако в



приложении также присутствуют достаточно сложные объекты, которые были импортированы через сам Twinmotion из готовых CAD или FBX моделей.

После подготовки всех необходимых моделей и текстур для них происходит их размещение на сцене. Поскольку Twinmotion является программой для проектирования архитектуры в неё можно поместить чертеж здания и расставлять объекты по их размерам и расположению на этом чертеже.

После построения сцены переходим к её переносу в Unreal Engine. Для этого был использован плагин предназначенной для непосредственного переноса сцены в игровой движок. Поскольку сцена импортируется целиком, не учитывая расположенные на ней объекты её редактирование через Unreal Engine становится невозможным. Объекты, с которыми у пользователя предусмотрено взаимодействие добавлялись на сцену после её импорта.

Заключительным этапом при проектировании приложения является написание кода для возможности взаимодействия с пользователем. Поскольку программа не подразумевает сложный вычислений, выполняемых кодом, для его написания использовался язык визуального программирования Blueprint Visual Scripting. Пример использования языка представлен на рисунке 1.

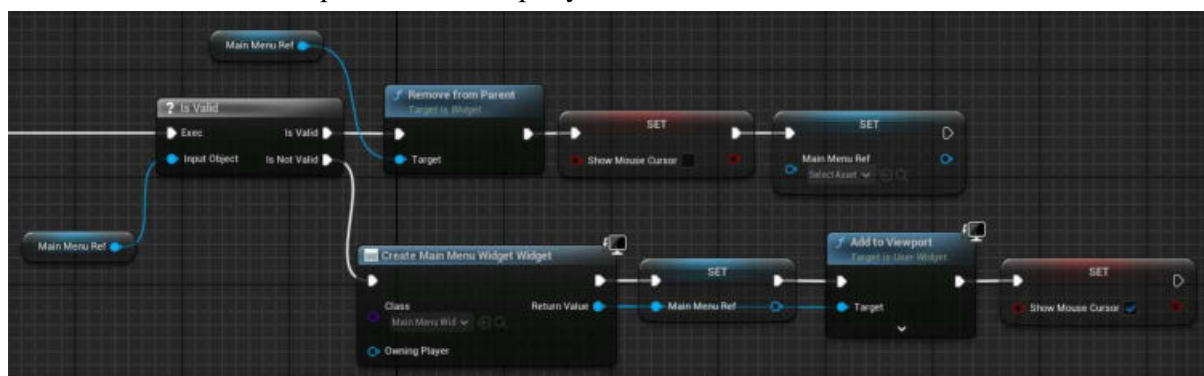


Рис. 1. Вызов главного меню

Данный код используется для вызова виджета главного меню при нажатии на кнопку и его удаления если виджет уже существует на экране.

Тестирование приложения осуществлялось через встроенные в Unreal Engine средства способные анализировать нагрузку на систему, а именно: подсчет использованной памяти, нагрузки на видеокарту, нагрузки на процессор и т.д.

Unreal Engine позволяет не только просматривать сколько ресурсов использует приложение, но и какие объекты их потребляют. Пример тестирования нагрузки на видеокарту представлен на рисунке 2.

При тестировании можно наблюдать сколько миллисекунд необходимо для построения кадра и обработки какого-либо параметра, и наибольшее время занимают: Basepass — рендеринг основных объектов сцены, Shadow Depths — глубина теней, Prerpass — подготовка данных необходимых для последующего рендеринга сцены. Очевидно, что данные показатели могут изменяться в зависимости от производительности видеокарты.

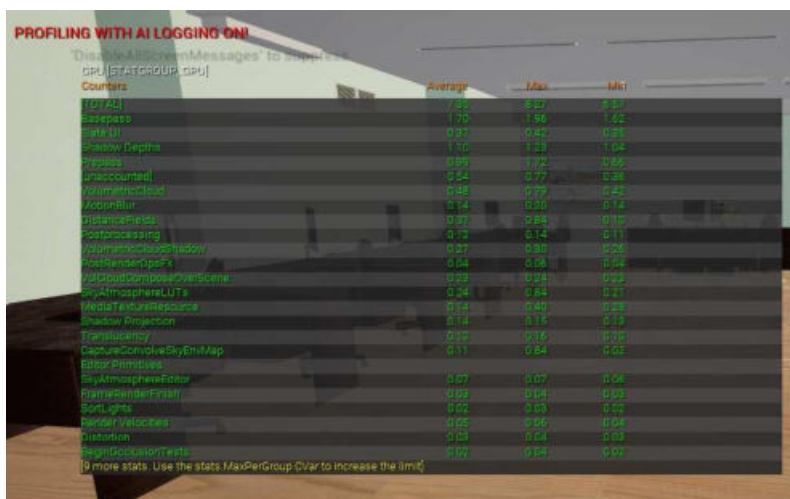


Рис. 2. Анализ времени обработки видекартой

На рисунке 3 представлено использование памяти приложением.



Рис. 3. Тестирование использования памяти

В данном случае можно наблюдать 2 параметра использующих около 3000 Мб. памяти каждый, однако это лишь количество памяти, которое движок может выделить для обработки текстур и может быть изменено в настройке проекта. Реально используемая память перечислена ниже где наибольший объем памяти занят текстурами — 304 Мб., шейдерами — 118 Мб., информацией о StaticMesh объектах — 86 Мб. и памятью, выделенной под потоковую передачу — 76 Мб. Суммарное потребление памяти составляет около 650 Мб.

При запуске приложения пользователю отображается основное меню представленное на рисунке 4 с возможными вариантами выбора действий, а именно:

1. Начать — создаётся виртуальный аватар пользователя, и подгружается уровень с непосредственно смоделированной лабораторией. Пользователь получает возможность перемещаться в пространстве и рассматривать расположенные в ней объекты.
2. Настройки — вызывает меню настроек позволяя пользователю изменять графическую составляющую приложения по заранее созданным пресетам из 5 пунктов от низкого до кинематографического качества.
3. Выход — непосредственно завершение процесса пользования приложением.

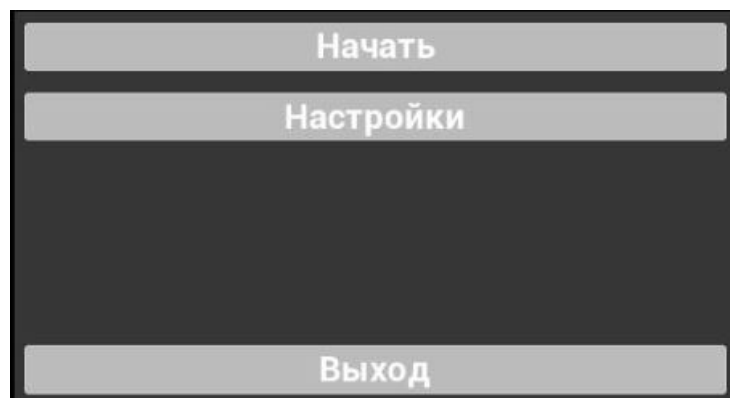


Рис. 4. Главное меню приложения

При нажатии на кнопку «Начать» происходит переход на уровень с расположенной на нем лабораторией. Пример разработанной виртуальной лаборатории можно наблюдать на рисунке 5.



Рис. 5. Вид приложения

Поскольку приложение совместимо с несколькими платформами передвижение и поворот был адаптирован под каждую из них:

1. Клавиатура и мышь — перемещение осуществляется при нажатии на клавиши «W», «A», «S», «D» для продвижения вперед, влево, назад и вправо соответственно. Поворот камеры осуществляется перемещением мыши.

2. Смартфон — на экране устройства появляются 2 джойстика слева и справа по нижней части экрана. Левый джойстик отвечает за перемещение персонажа, а правый за вращение камерой. В добавок изменять направление камеры можно через встроенный в смартфон акселерометр.

3. Геймпад — аналогично управлению со смартфона перемещение персонажа осуществляется через левый стик контроллера, а вращение камерой через правый.

Пример Android интерфейса представлен на рисунке 6.

В результате выполнения проекта было создано приложение с использованием платформы для разработки игр Unreal Engine 5 демонстрирующее возможности игрового движка для создания проектов архитектуры.

В заключение можно отметить, что разработка приложения для виртуального посещения лаборатории информационных и роботизированных систем Барановичского

государственного университета представляет собой значимый шаг к интеграции современных технологий в образовательный процесс [3]. Приложение не только улучшает доступность учебных ресурсов, но и создает новые возможности для интерактивного обучения, позволяя студентам углубленно изучать сложные концепции в безопасной и удобной среде. Использование 3D-моделирования и виртуальной реальности способствует более глубокому пониманию предмета и развитию практических навыков, что, в свою очередь, повышает конкурентоспособность выпускников на рынке труда [4].



Рис. 6. Android интерфейс

Проект демонстрирует потенциал применения технологий в образовании и открывает пути для дальнейших исследований и разработок в этой области. В будущем предполагается расширение функционала приложения, добавление новых модулей и возможностей

#### Список использованных источников

1. Программа Blender 3D [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://junior3d.ru/article/blender-3d.html>— Дата доступа: 02.05.2024.
2. Преимущества Unreal Engine [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://blog.artcraft.net.ua/page11435532html>— Дата доступа: 02.05.2024.
3. Шапович, Е. Г. Виртуальная экскурсия как средство повышения имиджа учреждения высшего образования / Е. Г. Шапович, Ю. Е. Горбач, А. В. Шах // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн материалы IX Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». — Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». — 2023. — С. 154 — 159.
4. Шах, А. В. Современные инструменты цифрового маркетинга / А. В. Шах, О. В. Лапицкая // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23-24 апр. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. А. А. Бойко. - Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. - С. 404-407.

УДК 004.9

**Шипилова А.Д., Дмитриев Н. А., Филатов А. С.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: asshipilova@mail.ru

## **О СОЗДАНИИ ВИРТУАЛЬНОГО ТУРА ПО СЕЛЬСКИМ ПРОСТОРАМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

**Shipilova A.D., Dmitriev N. A., Filatov A. S.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: asshipilova@mail.ru

### **ABOUT THE CREATION OF A VIRTUAL TOUR OF RURAL AREAS WITH THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTING A WELLNESS PROGRAM**

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы создания виртуального тура по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы. Предложена технология создания тура, включающая в себя: выполнение фотосъемки с использованием сферической камеры Insta 360 Pro; создание тура в программной среде системы 3DVista Virtual Tour. Тур создается на примере села с возможностью реализации оздоровительной программы в районе Тамбова.

*Ключевые слова:* виртуальный тур, сельские просторы с возможностью реализации оздоровительной программы, камера Insta 360 Pro, 3DVista Virtual Tour.

*Abstract.* The issues of creating a virtual tour of rural areas with the possibility of implementing a wellness program are considered. The technology of creating a tour is proposed, which includes: taking photos using the Insta 360 Pro spherical camera; creating a tour in the software environment of the 3DVista Virtual Tour system. The tour is based on the example of a village with the possibility of implementing a wellness program in the Tambov region.

*Keywords:* virtual tour, rural spaces with the possibility of implementing a wellness program, Insta 360 Pro camera, 3DVista Virtual Tour.

В настоящее время вовлеченность населения России в активный вид отдыха на природе растет. За 2023 год количество регулярно занимающихся спортом россиян составило 69%, в то время как в 2022 году данный показатель был намного ниже, 48.3% (из статистики «СберСтрахование» и Rambler&Co). Исходя из данной статистики коллектив авторов задумался о создании виртуального тура по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы в районе Тамбова. За основу



виртуального тура было взято село Семеновка, Токаревский муниципальный округ, Тамбовская область. Съемка панорам происходила при помощи панорамной камеры Insta360 Pro.

Несмотря на волну популярности панорамных камер немногие производители смогли предложить рынку решения, позволяющие снимать в ультра высоком разрешении. Модели камер Insta360 Pro и Titan являются одними из самых востребованных камер 360 градусов в мире, снимающих с максимальным разрешением 8K и 11K (как для 2D, так и для 3D), а также поддерживающих прямые трансляции вплоть до 8K. Камеры работают автономно, поддерживают передачу данных по Ethernet, WiFi, HDMI и применимы для профессиональных нужд.

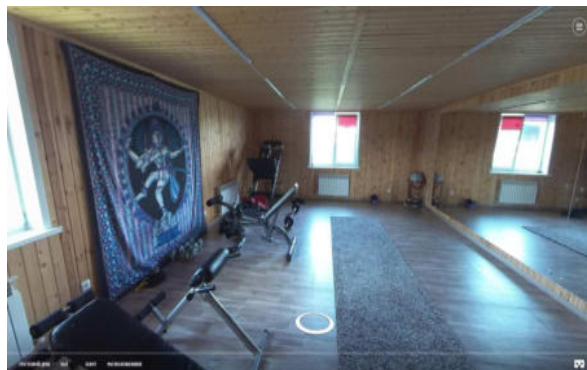
Данный виртуальный тур носит ознакомительный характер и предназначен для людей всех возрастов. Он включает в себя как панорамы местности, так и специальные видео инструкции к видам активного досуга, например йоги, в которых можно найти всю необходимую информацию про них: для каких групп мышц предназначено данное упражнение, как правильно выполнять его и чем оно полезно для организма. Основная цель – познакомить жителей нашего города с виртуальным туром по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы нашей области и заинтересовать их в активном отдыхе на природе.

На рис. 1(а, б) представлены фрагменты сферических панорам виртуального тура по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы.

Виртуальный тур создается в рамках проектной деятельности, реализуемой в Тамбовском государственном техническом университете командой студентов под руководством наставника профессора кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» Немтинов В.А.



а)



б)

Рис. 1(а, б). Фрагменты сферических программ виртуального тура по сельским просторам с возможностью реализации оздоровительной программы.

#### Список использованных источников

1. Шейнбаум, В. С. Компетенция «умение работать в команде» и ее развитие с использованием технологии междисциплинарного деятельностного обучения в

виртуальной производственной среде / В. С. Шейнбаум // Высшее образование сегодня. – 2018. – № 2. – С. 2-9. – DOI 10.25586/RNU.NET.18.02.P.02.

2. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, В. В. Морозов, Ю. В. Немтинова // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. – DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113

3. Комплексное использование различных программных сред для повышения уровня визуализации и восприятия информации / В. А. Немтинов, А. А. Родина, А. Б. Борисенко [и др.] // Научная визуализация. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 1-10. – DOI 10.26583/sv.15.2.01.

4. Виртуальное погружение во временные периоды пребывания в Тамбовском крае представителей рода Чичериных - известных деятелей дипломатической службы России / В. А. Немтинов, А. А. Горелов, Ю. В. Немтинова, А. Б. Борисенко // Былые годы. – 2020. – № 58(4). – С. 2305-2314. – DOI 10.13187/bg.2020.4.2305.

5. Виртуальный исторический экскурс по памяtnому месту В. И. Вернадского в селе Вернадовка Тамбовской области / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, А. А. Горелов [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2021. – № 3(81). – С. 145-152. – DOI 10.17277/voprosy.2021.03.pp.145-152.

6. Создание виртуальной образовательной среды с использованием технологии квестов / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, Ю. В. Немтинова [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 529-539. – DOI 10.17277/vestnik.2020.04.pp.529-539.

7. Информационный анализ памятных мест, связанных с пребыванием и деятельностью ученого, биолога-растениевода И.В. Мичурина в Мичуринске / В. А. Немтинов, А. А. Горелов, А. Б. Борисенко [и др.] // Вопросы истории. – 2021. – № 8-2. – С. 163-171. – DOI 10.31166/VoprosyIstorii202108Statyi43.

УДК 004.9

**Рачкова С.А.**

Тамбовский государственный технический университет  
e-mail: svdighome@mail.ru

## **ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ ПО УДАЛЕННОСТИ ОТ ИДЕАЛЬНОЙ ТОЧКИ**

**Rachkova S.A.**

Tambov State Technical University  
e-mail: svdighome@mail.ru

### **ASSESSMENT OF THE CONDITIONS OF SCHOOL EDUCATION IN RURAL AREAS BY DISTANCE FROM THE IDEAL POIN**

*Аннотация.* Описана программа, созданная в среде системы математических вычислений SMath, позволяющая определить сельский район с наиболее неблагоприятными условиями школьного образования. В качестве критериев оценки приняты: средняя доступность школ для населенных пунктов района; модифицированный коэффициент Джини; относительное число учеников в районе, которые учатся в школах с точками роста. Выбор оптимальной альтернативы осуществляется на основе наименьшего расстояния от точки с самыми неблагоприятными и наибольшего – от точки с самыми благоприятными условиями школьного образования.

*Ключевые слова:* условия школьного образования, критерии оценки, удаленности от идеальной точки

*Abstract.* A program created in the environment of the SMath mathematical computing system is described, which allows to identify a rural area with the most unfavorable conditions of school education. The following assessment criteria are accepted: average school accessibility for the settlements of the district; modified Gini coefficient; the relative number of students in the district who study in schools with growth points. The choice of the optimal alternative is based on the shortest distance from the point with the most unfavorable and the largest from the point with the most favorable conditions of school education.

*Keywords:* school education conditions, assessment criteria, distance from the ideal point

Школьное образование – приоритетное направление деятельности государства, от результатов которого зависит его будущее. Поэтому необходимо постоянно проводить мониторинг условий обучения в разных районах страны с целью выявления мест с неблагоприятными условиями школьного образования.



Оценка условий образования может проводиться по разным критериям [1-2]. Ниже рассматривается оценка условий школьного образования по критериям [3]:

- средняя доступность школ для населенных пунктов района;
- модифицированный коэффициент Джини;
- относительное число учеников в районе, которые учатся в школах с точками роста.

При этом в качестве обобщенного критерия применяется критерий удаленности от идеальной точки, предложенный [4,5].

Программа расчета реализована в среде SMath. Альтернативы представлены тремя векторами:

*Доступность\_средняя\_района* – средняя доступность школ для населенных пунктов района;

*Джини* – модифицированный коэффициент Джини;

*Доступность\_тр* – относительное число учеников в районе, которые учатся в школах с точками роста.

На рис. 1 представлен расчет максимальных и минимальных значений критериев.

```

пределение района_октябрь_24.sm*]
Вид Вставка Вычисление Сервис Листы Помощь
Arial - 10
Поиск наилучшей и наилучшей альтернативы

Доступность_мин := min (Доступность_средняя_района)
Доступность_мин = 0,1566

Доступность_макс := max (Доступность_средняя_района)
Доступность_макс = 0,5639

Джини_мин := min (Джини)
Джини_мин = 0,1533

Джини_макс := max (Джини)
Джини_макс = 0,4574

Доступность_тр_мин := min (Доступность_тр)
Доступность_тр_мин = 0,3137

Доступность_тр_макс := max (Доступность_тр)
Доступность_тр_макс = 0,9376
    
```

Рис.1. Расчет минимальных и максимальных значений критериев

Расчет расстояний по каждому критерию до наилучшего и наихудшего его значения представлен на рис. 2.

Расчет расстояний по каждому критерию до наилучшего и наихудшего его значения представлен на рис. 2.

Расчет расстояний до наилучшей и наихудшей альтернативы представлен на рис. 3. На рисунке 3 представлен также расчет обобщенного критерия *Pomn*.

Результаты расчета передаются в EXCEL, рисунок 4.

```

ver - [1_Определение района_октябрь_24.sm*)
Правка Вид Вставка Вычисление Сервис Листы Помощь
Arial - 10 - В Г Ц A
Расчет расстояний до идеальной точки
Доступность_расстояние_мин := Доступность_средняя_района - Доступность_мин
Доступность_расстояние_минT = [ 0,2146 0,1202 0 0,1562 0,3148 0,2869 0,0829 ...]
Доступность_расстояние_макс := Доступность_средняя_района - Доступность_макс
Доступность_расстояние_максT = [ -0,1927 -0,2871 -0,4073 -0,2511 -0,0925 ...]
Джини_расстояние_мин := Джини - Джини_мин
Джини_расстояние_минT = [ 0,1501 0,1697 0,2979 0,1531 0,0535 0,1198 0,3041 ...]
Джини_расстояние_макс := Джини - Джини_макс
Джини_расстояние_максT = [ -0,154 -0,1344 -0,0062 -0,151 -0,2506 ...]
Доступность_тр_расстояние_мин := Доступность_тр - Доступность_тр_мин
Доступность_тр_расстояние_минT = [ 0,4569 0,6151 0,5731 0,6239 0,5541 ...]
Доступность_тр_расстояние_макс := Доступность_тр - Доступность_тр_макс
Доступность_тр_расстояние_максT = [ -0,167 -0,0087 -0,0508 0 ...]
    
```

Рис. 2. Расчет расстояний по каждому критерию до наилучшего и наихудшего его значения

```

е района_октябрь_24.sm*)
тавка Вычисление Сервис Листы Помощь
Arial - 10 - В Г Ц A
k_доступ := 0,333 k_джини := 0,333 k_точки_роста := 0,333
Дрмин := Доступность_расстояние_мин
Дрмакс := Доступность_расстояние_макс
Джрмин := Джини_расстояние_мин
Джрмакс := Джини_расстояние_макс
Трмин := Доступность_тр_расстояние_мин
Трмакс := Доступность_тр_расстояние_макс
for i ∈ [1..Число_районов]
    РЛучшаяi := √(k_доступ · Дрмаксi2 + k_джини · Джрминi2 + k_точки_роста · Трмаксi2)
    РЛучшаяT = [ 0,1707 0,1925 0,2926 0,1697 0,0736 0,0988 0,4421 0,2143 ...]
for i ∈ [1..Число_районов]
    РХудшаяi := √(k_доступ · Дрминi2 + k_джини · Джрмаксi2 + k_точки_роста · Трминi2)
    РХудшаяT = [ 0,3045 0,3699 0,3307 0,3812 0,3952 0,3995 0,0478 0,2564 ...]
for i ∈ [1..Число_районов]
    Ротнi :=  $\frac{РХудшая_i}{РХудшая_i + РЛучшая_i}$ 
    РотнT = [ 0,6408 0,6577 0,5305 0,692 0,843 0,8018 0,0976 0,5447 0,4815 0,9021 ]
    
```

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Сосновский	Болларский	Гавриловский	Красновский	Пичаевский	Ижавинский	Уваровский	Умётский	Ржакинский	Мучкаевский
1	Показатели										
2	Число детей школьного возраста в районе	1757	759	742	1314	855	1624	510	1097	850	1118
3	Общая мощность школ	5375	2107	1934	2782	2387	3604	2058	1860	3605	2012
4	Нормированная средняя доступность школ	0,37	0,28	0,16	0,31	0,47	0,44	0,24	0,32	0,29	0,56
5	Модифицированный коэффициент Джини	0,30	0,32	0,45	0,31	0,21	0,27	0,46	0,29	0,33	0,15
6	количество детей, получающих образование в школах с точками роста	0,77	0,93	0,89	0,94	0,87	0,92	0,31	0,69	0,66	0,86
7	Расстояние до лучшей	0,17	0,19	0,29	0,17	0,07	0,10	0,44	0,21	0,25	0,05
8	Расстояние до худшей	0,30	0,37	0,33	0,38	0,40	0,40	0,05	0,26	0,23	0,43
9	Обобщенное расстояние	0,64	0,66	0,53	0,69	0,84	0,80	0,10	0,54	0,48	0,90
10											

Рис. 4. Результаты расчета определения сельских районов с неблагоприятными условиями школьного образования по критерию удаленности от идеальной точки

Представленная программа является элементом разрабатываемой с участием автора системы поддержки принятия решений при определении места строительства новой школы или реконструкции существующих [6].

#### Список использованных источников

1. Строкова, Т.А. Качество образования: сущность и критерии мониторинговой оценки / Т.А. Строкова // Образование и наука. –2009. – № 4(61). – С. 36-47.
2. Золотарева, А.В. Сравнительный анализ входного мониторинга условий повышения образовательной результативности городских и сельских школ / А.В. Золотарева, Ю.Н. Сальникова // Педагогика сельской школы. – 2021. – № 1 (7). – С. 44-58.
3. Рачкова, С. А. Теоретико-множественный подход к оценке доступности качественного школьного образования в сельских районах / С. А. Рачкова, В. Г. Мокрозуб, В. В. Алексеев // Системы управления и информационные технологии. – 2024. – № 1(95). – С. 95-99. – EDN USNNWB.
4. Ching-Lai Hwang , Kwangsun Yoon. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1981. 269 s.
5. Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A. et al. Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. SpringerPlus 5, 263 (2016). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1888-z>
6. Рачкова, С. А. Автоматизированная поддержка принятия решений при определении сельского района с неблагоприятными условиями школьного образования / С. А. Рачкова, В. Г. Мокрозуб // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 1. – С. 55-67. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2023/1/55-67.

УДК 004.9

**Лаврик Т.М.<sup>1</sup>, Жирякова И.Г.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет

<sup>1</sup>e-mail: Lavriktan@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: mucb40479@mail.ru

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ЗАКУПКЕ СЫРЬЯ ХИМИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

**Lavrik T.M.<sup>1</sup>, Zhiryakova I.G.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University

<sup>1</sup>e-mail: Lavriktan@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: mucb40479@mail.ru

## **A SYSTEMATIC APPROACH TO THE PURCHASE OF RAW MATERIALS BY A CHEMICAL ENTERPRISE**

*Аннотация.* Представлена функциональная диаграмма закупки сырья, которое необходимо для выполнения плана выпуска готовой продукции химическим предприятием. Определены основные критерии выбора поставщиков сырья.

*Ключевые слова:* химическое предприятие, потребность в сырье, выбор поставщиков сырья.

*Abstract.* A functional diagram of the purchase of raw materials, which is necessary to fulfill the plan for the production of finished products by a chemical enterprise, is presented. The main criteria for selecting suppliers of raw materials are defined.

*Keywords:* chemical enterprise, the need for raw materials, the choice of suppliers of raw materials.

Вопросами автоматизации закупочной деятельности организаций различных форм собственности (частной, муниципальной, государственной) и сфер деятельности (производство, торговля, услуги и др.) занимаются многочисленные авторы.

В работе [1] описываются существующие программные продукты (платформы, системы), предназначенные для организации и проведения закупок, отмечены их достоинства и недостатки. Необходимость использования искусственного интеллекта для организации закупок в сети интернет отмечается в работе [2]. Преимущества и риски автоматизации закупок рассмотрены в [3]. Авторы [4] достаточно подробно описывают существующие практики, которые внедряются в закупочную деятельность (данные о поставщиках и предлагаемых ими товарах, автоматизированное сопоставление предложений и др.).

Закупочная деятельность большинством авторов рассматривается без связи с основной деятельностью организации. Для промышленных предприятий существует обратная связь результатов закупочной деятельности и основного производства, которое должно изменяться по фактическим закупкам.

На рис. 1 представлена функциональная диаграмма планирования выпуска готовой продукции и закупок сырья предприятием химического профиля.

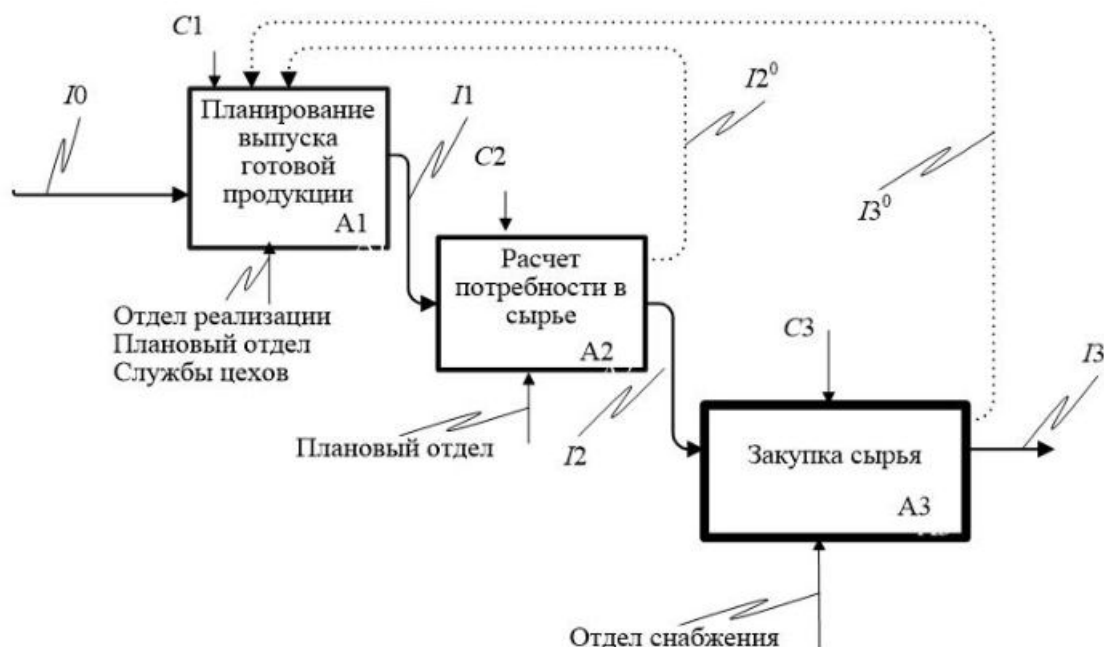


Рис.1. Функциональная диаграмма планирования выпуска готовой продукции и закупок сырья предприятием химического профиля

В блоке A1 осуществляется планирование выпуска готовой продукции на определенный период. Для малотоннажных многоассортиментных химических производств – плановый период три месяца. План выпуска готовой продукции формируется на основании плана продаж и остатков готовой продукции на складе. План продаж в свою очередь формируется на основании заявок потребителей, долгосрочных контрактов, сезонности и д. Эта информация представлена в информационном потоке I0. Здесь же рассчитывается загрузка оборудования. Информационный поток C1 – ограничения, которые включают в себя перечень продуктов, выпускаемых предприятием, статистика продаж прошлых лет и др. Результат работы блока A1 – план выпуска готовой продукции – информационный поток I1.

В блоке A2 на основании плана выпуска рассчитывается потребность в сырье – информационный поток I2. Информационный поток C2 – нормы расхода сырья и остатки на складе. I2<sup>0</sup> – обратная связь, позволяющая корректировать план выпуска по результатам расчета сырья.

Планирование закупки, поиск поставщиков и собственно закупка осуществляется в блоке A3. Информационный поток C3 – предложения поставщиков. Следует отметить

наличие обратной связи  $I3^0$  модуля закупки сырья и модуля планирования выпуска готовой продукции. Здесь речь идет об изменении плана по результатам закупок. То есть корпоративная информационная система предприятия должна быть связана с внешними информационными системами, поддерживающими закупочную деятельность. Это направление использования искусственного интеллекта, который должен осуществлять закупки и их поставки с минимальным участием человека.

Для разработки подобной системы следует формализовать закупочную деятельность. Например, выбор поставщиков – одна из ключевых задач организации закупок. Это многокритериальная задача. Критериями могут быть: выполнение сроков поставки, минимизация расходов, надежность поставщика, качество поставляемого сырья. Решения подобных задач осуществляется на основе нормирования данных, т.е. приведения их к безразмерному виду, и формированию обобщенного критерия. Эта задача будет рассмотрена в дальнейших работах авторов.

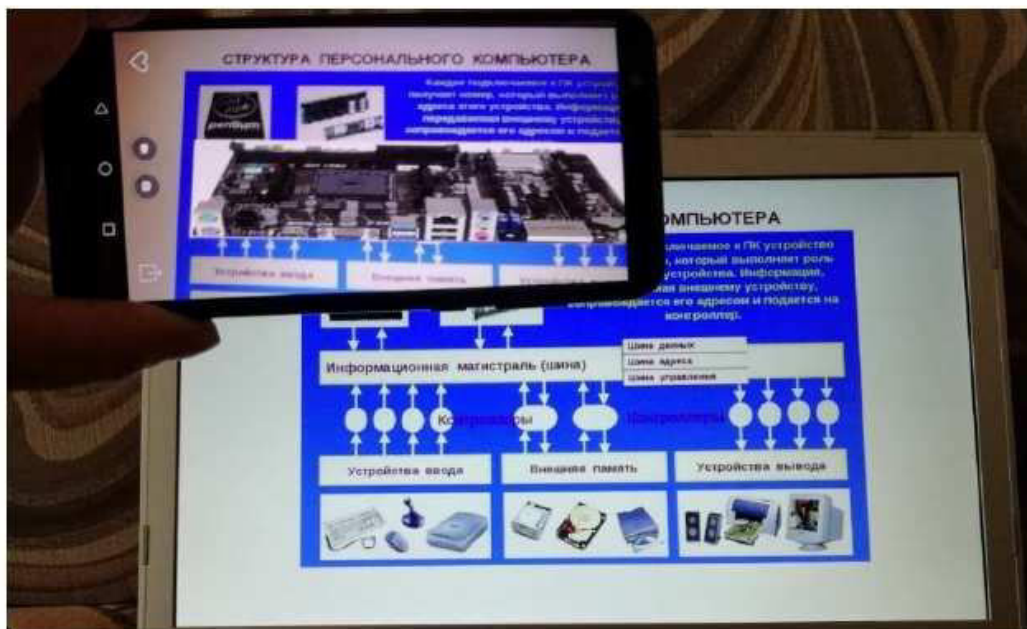
#### Список использованных источников

1. Бойко, М. В. Применение ИИ для автоматизации процессов закупки в Интернет-торговле / М. В. Бойко, Е. В. Ценина // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 4(165). – С. 794-796. – DOI 10.34925/EIP.2024.165.4.155. – EDN HRGZVV.
2. Перельгин, И. М. Анализ программных продуктов и изучение автоматизации процессов в сфере мониторинга закупок и товаров / И. М. Перельгин // Вопросы безопасности. – 2024. – № 1. – С. 71-87. – DOI 10.25136/2409-7543.2024.1.69887. – EDN VLWPDM.
3. Левандовская, А. М. Особенности цифровизации государственных закупок / А. М. Левандовская // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2022. – Т. 3, № 6(126). – С. 75-79. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2022.06.03.011. – EDN UGDGGL.
4. Казанцев, Д. А. Автоматизация закупок как будущее контрактной системы / Д. А. Казанцев, Н. А. Михалева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. – 2020. – Т. 24, № 1. – С. 137-157. – DOI 10.22363/2313-2337-2020-24-1-137-157. – EDN QCUFOT.



## Секция

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ, ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ И СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ



УДК 004.9

**Волков А.А.<sup>1</sup>, Меркурьев Я.В.Х.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup> e-mail: didim@eclabs.ru

<sup>2</sup> e-mail: yaroslavmerkurevmkk@yandex.ru

## **РАСЧЕТ МЕТРИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

**Volkov A.A.<sup>1</sup>, Merkurev Y.V.H.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup> e-mail: didim@eclabs.ru

<sup>2</sup> e-mail: yaroslavmerkurevmkk@yandex.ru

## **CALCULATION OF THE METRIC POSITION OF A HUMAN IN SPACE BASED ON COMPUTER VISION**

*Аннотация.* Задача определения положения пользователя в пространстве является востребованным, особенно в системах на основе VR технологий. Существующие решения для трекинга в виртуальной реальности на основе датчиков сменяются системами компьютерного зрения, как более универсальным инструментом. В работе рассматривается приложение, которое использует компьютерное зрение с использованием Mediapipe Pose для определения метрического положения тела человека относительно точки отсчета.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, Mediapipe Pose.

*Abstract.* The task of determining the user's position in space is in demand, especially in systems based on VR technologies. Existing sensor-based tracking solutions in virtual reality are being replaced by computer vision systems as a more versatile tool. The paper considers an application that uses computer vision using Mediapipe Pose to determine the metric position of the human body relative to the reference point.

*Keywords:* computer vision, Mediapipe Pose.

В настоящее время в сфере технологий виртуальной реальности (VR) большую популярность получают решения по отслеживанию человека и частей его тела на основе компьютерного зрения, так как это позволяет отказаться от дополнительных датчиков. Данный подход востребован при разработке профессиональных систем подготовки, тренажеров, а также в медицине, где зачастую затруднительно использование сторонних датчиков. Поэтому в работе рассматривается приложение,



которое позволяет отслеживать передвижение пользователя по беговой платформе с течением времени и сохранять данные для их последующей обработки. Отсутствие дополнительных датчиков в данной предметной области позволяет улучшить пользовательский опыт, а анализ информации со всего кадра – получить дополнительные данные не только о положении тела, но и отдельных его сегментах за счет алгоритмов распознавания [1, 3]. Целью работы является создание приложения, осуществляющего расчет метрического положения человека на беговой платформе с использованием компьютерного зрения, что позволит получать данные не в относительных единицах, а в приближенных к реальным.

Для разработки приложения в предоставленной работе использован язык программирования python и среда разработки Pycharm, библиотеки opencv — для работы с камерой, numpy — для обработки данных и Mediapipe — для распознавания модели тела человека.

Для системы компьютерного зрения на основе MediaPipe Pose формируется массив из 33 точек, каждой из которой соответствуют координата X, Y, Z. X, Y зависят от положения объекта в кадре и изменяются от 0 до 1, а Z рассчитывается на основе перекрытия от фрагментов, но не имеет физического смысла. Для эксперимента достаточно координат X, Y.

Перед получением данных проводится калибровка. Центр платформы является началом отсчета системы координат, сторона, в которую пользователь обращен лицом — положительная часть оси X, обратная - отрицательная. Камера должна зафиксировать пользователя на краях платформы, эти данные записываются в конфигурацию и необходимы в дальнейших расчетах [3].

После проведения калибровки, начинается сбор данных. Текущее положение пользователя отображается в левом верхнем углу экрана (см. Рис. 1) и сохраняется для дальнейшей обработки.

Результаты эксперимента (Рис. 1) показали, что приложение собирает достаточно точные данные, пригодные для дальнейшей обработки. Общая длина платформы составляет 2м. Рис. 1а — пользователь находится на переднем краю платформы, приложение показало 0.91м, что является нормальным, так как пятки пользователя не касаются края. Рис. 1б — середина платформы, показатель 0.09м достаточно близок к реальности. Рис. 1в — задняя часть платформы, показатель -1.01м. Здесь пятки пользователя максимально приближены к краю, тем самым показав наибольшую точность.

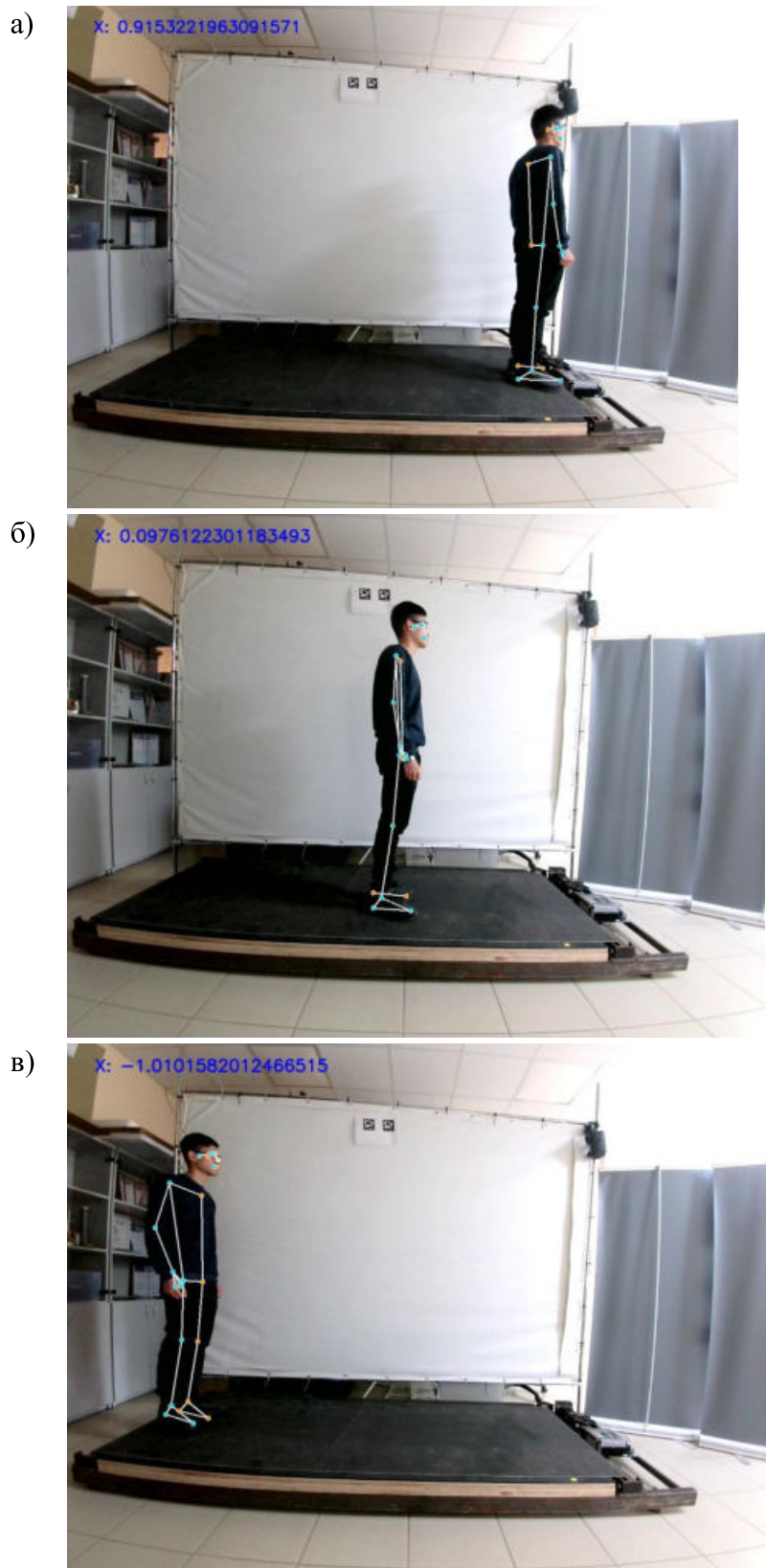


Рис. 1. Результаты эксперимента: передний край платформы (а), центр (б) и задний край (в)

С учетом общей длины рабочей зоны дорожки в 2.4 метра и размера стопы пользователя имеем следующее: разработанное приложение рассчитывает метрическое положение в диапазоне [-1, 1] метр, оставляя небольшой запас на краях дорожки в размере 0.2-0.3м, что в совокупности дает общую длину измерений в 2.2-2.3 метра, близкую к реальным размерам дорожки. Это подтверждает возможность использования разработанного приложения для решения задач позиционирования человека на беговых платформах без использования дополнительных датчиков.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10057, <https://rscf.ru/project/22-71-10057>.*

#### Список использованных источников

1. Obukhov A.D. et al. Examination of the Accuracy of Movement Tracking Systems for Monitoring Exercise for Musculoskeletal Rehabilitation / A.D. Obukhov // Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 19. – С. 8058.
2. Обухов А. Д. и др. Бесстрессовый алгоритм управления беговыми платформами на основе нейросетевых технологий / А. Д. Обухов и др. // Информатика и автоматизация. – 2024. – Т. 23. – №. 3. – С. 909-935.
3. Surkova E. et al. Structural and functional models of adaptive motion control system in virtual reality/ E. Surkova // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – Т. 2910. – №. 1.

УДК 004.9

**Обухов А.Д.<sup>1</sup>, Побединский Д.А.<sup>2</sup>, Меркурьев Я.В.Х.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: obuhov.art@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: pobedinskydmitryaleksandrovich@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: ririfnejfjr@gmail.com

## **ОТСЛЕЖИВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ВСЕНАПРАВЛЕННОЙ ДОРОЖКЕ**

**Obukhov A.D.<sup>1</sup>, Pobedinsky D.A.<sup>2</sup>, Merkurev Y.V.H.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: obuhov.art@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: pobedinskydmitryaleksandrovich@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: ririfnejfjr@gmail.com

## **TRACKING THE USER'S BODY POSITION ON AN OMNIDIRECTIONAL TRACK**

*Аннотация.* В работе рассматривается задача отслеживания положение человека в пространстве. Разработано программное обеспечение на основе компьютерного зрения, позволяющее определить угол поворота тела, что может быть востребовано в системах виртуальной реальности при движении на всенаправленных платформах. В рамках исследования также проведено сравнение технологии компьютерного зрения с трекингом на основе датчиков виртуальной реальности и костюма захвата движений.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, VR-технологии.

*Abstract.* The paper considers the task of tracking the position of a person in space. Computer vision-based software has been developed to determine the angle of rotation of the body, which may be in demand in virtual reality systems when driving on omnidirectional platforms. The study also compared computer vision technology with tracking based on virtual reality sensors and a motion capture suit.

*Keywords:* computer vision, VR technologies.

Системы для отслеживания человека в пространстве предназначены для передачи положения человека в компьютер для последующей обработки в специальных программах [1, 2]. Использование компьютерного зрения является хорошей практикой, когда необходимо получить положения тела пользователя в совокупности с другими

средствами, такими как трекеры и датчики. Эти инструменты позволяют устранить недостатки друг друга, тем самым повысив точность получаемых данных.

Для системы компьютерного зрения на основе MediaPipe Pose формируется массив из 33 точек, каждой из которой соответствуют координата X, Y, Z. X, Y зависят от положения объекта в кадре и изменяются от 0 до 1, а Z рассчитывается на основе перекрытия от фрагментов, но не имеют физического смысла. Для эксперимента достаточно координат X, Y.

Камеру необходимо закрепить над пользователем. Таким образом, получив точки плеч (11 и 12, см. документацию MediaPipe Pose). По формуле Евклида:

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

где  $(x_a; y_a)$  — правое плечо,  $(x_b; y_b)$  — левое плечо,  $d$  — расстояние между точками. Также получаем вертикальную разницу между точками:

$$k = |y_a - y_b| / 2$$

Получив эти данные, становится возможно рассчитать угол на основе синуса соотношения  $k / d$ . Точки плеч пользователя привязываются к системе координат, рассчитав, в каких четвертях они находятся становится возможным получить угол поворота.

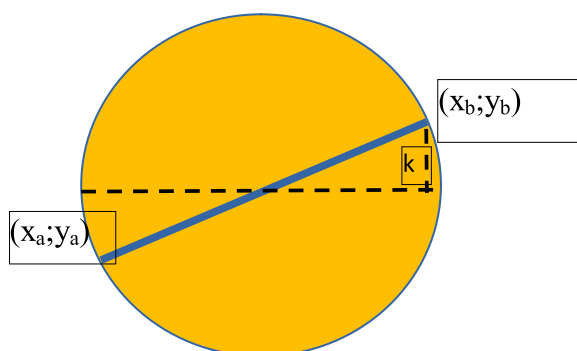


Рис. 1. Визуализация расчетов

В ходе данного эксперимента пользователь последовательно поворачивается от 0 до 270 градусов (рис. 2.), что позволяет понять, насколько точно система фиксирует направление движения; далее пользователь в рамках отдельной сессии записи данных осуществляет поворот на 360 градусов (полный оборот).

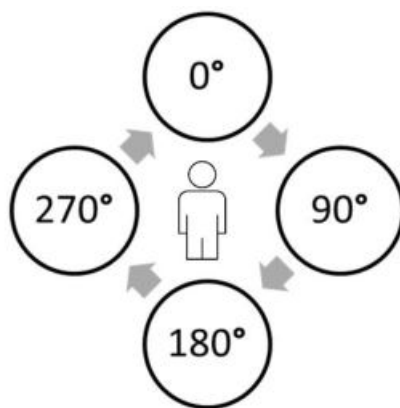


Рис. 2. Основные положения человека в ходе эксперимента

В эксперименте сравнивались 3 метода получения положения пользователя: компьютерное зрение (Computer vision), трекары (Tracker) и костюм с датчиками (Motion capture). Сравнение данных показало, что компьютерное зрение передало только приблизительные данные. В рис. 3 приведены данные, полученные в ходе эксперимента.

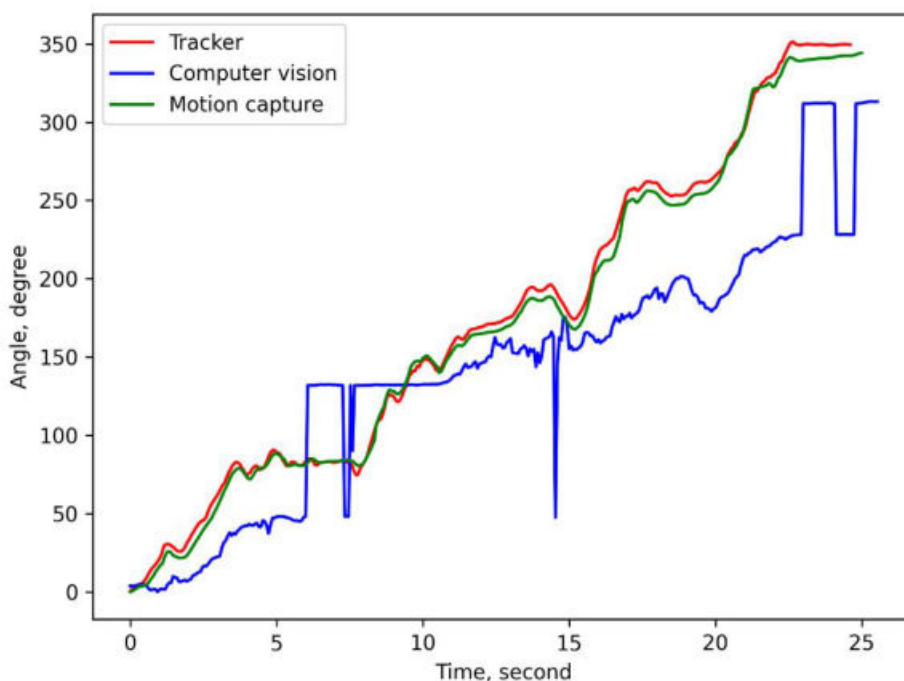


Рис. 3. Результаты эксперимента

По полученным результатам можно сделать вывод, что использование только компьютерного зрения недостаточно для точного определения положения тела пользователя, необходимо использовать какие-либо дополнительные системы [3]. С другой стороны, если требуется приближенное решение, определяющее общее направление движения с некоторой погрешностью, то система компьютерного зрения может быть использована. В качестве направления дальнейших исследований имеет

смысл использования не единственного кадра, а некоторой последовательности, что может положительно сказаться на точности расчетов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005)*

#### Список использованных источников

1. Obukhov A. et al. Examination of the Accuracy of Movement Tracking Systems for Monitoring Exercise for Musculoskeletal Rehabilitation //Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 19. – С. 8058.
2. Nazarova A. et al. Development of a control system for intermodular interaction in a virtual training complex //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2023. – Т. 2910. – №. 1.
3. Обухов А. Д., Теселкин Д. В. Оптимизация систем отслеживания человека в виртуальной реальности на основе нейросетевого подхода //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – №. 4. – С. 786-794.

УДК 004.9

**Обухов А.Д., Круглов В.С.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: obuhov.art@gmail.com,

## **КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

**Obukhov A.D., Kruglov V.S.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: obuhov.art@gmail.com

### **CRITERIA FOR OPTIMIZING VIRTUAL BIOFEEDBACK SIMULATORS**

*Аннотация.* При проектировании виртуальных тренажеров с биологической обратной связью для получения оптимальных режимов их функционирования и характеристик необходимо поставить и решить задачу оптимизации. В данной работе рассматриваются различные критерии оптимизации данного класса систем.

*Ключевые слова:* виртуальные тренажёры, биологическая обратная связь виртуальная реальность, критерии оптимизации.

*Abstract.* When designing virtual simulators with biofeedback, in order to obtain optimal modes of their functioning and characteristics, it is necessary to set and solve the optimization problem. In this paper, various optimization criteria for this class of systems are considered.

*Keywords:* Virtual simulators, biofeedback, virtual reality, optimization criteria.

Концепция виртуального тренажера с биологической обратной связью (БОС) включает следующие составляющие [1-3]: регистрация и цифровая обработка физиологических сигналов, полученных от медицинского оборудования; определение состояния пользователя на основе анализа медицинских данных; адаптация сцены виртуальной реальности к текущему состоянию пользователя с учетом его индивидуальных особенностей и параметров поведения; модуль адаптации виртуального тренажера, включающий необходимое математическое и алгоритмическое обеспечения, позволяющее на основе текущего состояния или динамики его изменения сформировать управляющую команду для виртуальной сцены; множество варьируемых параметров виртуальной сцены, определяющихся на основе управляющих команд модуля адаптации и формирующих итоговое визуальное представление виртуального тренажера; отслеживание динамики изменения значений физиологических сигналов, полученных после адаптации сцены для оценки эффективности внесенных корректив.



Таким образом, виртуальный тренажер с БОС является адаптивной системой, подстраивающейся под текущее состояние пользователя. Функционирование тренажера с БОС реализуется посредством некоторой системы управления, которая варьирует параметры тренажера в зависимости от состояния пользователя. В рамках данного исследования определим основные критерии оптимизации, используемые для обеспечения наилучшего функционирования данного класса систем.

Рассмотрим основные компоненты математической модели VR-тренажера с БОС. Во-первых, это множество медицинских данных  $E$ , представляющих исходные данные, полученные от различного медицинского оборудования и датчиков в каждый момент времени  $t$ . Пусть  $E_q(t)$  – это данные от источника  $q$ . Во-вторых, это функции обработки данных  $f_i$ , которые преобразуют исходные данные  $E_q(t)$  в расчетные характеристики пользователя  $U_i(t)$ . Алгоритмы позволяют сформировать общее состояние  $U(t)$ , которое характеризует пользователя в данный момент времени.

Далее заданы объекты управления  $O(t)$ , являющиеся элементами виртуальной среды тренажера, их параметры могут изменяться для воздействия на пользователя и определяют состояние виртуальной среды  $X(t)$  в момент времени  $t$ . Управление этими объектами и параметрами позволяет системе адаптироваться к пользователю.

Метод управления  $MC$  представляет собой алгоритм, определяющий воздействия  $A(t)$  для достижения оптимального состояния тренажера. Этот метод основывается на целевой функции оценки среды  $Q$ , на основе которой принимаются решения об изменении параметров тренажера для достижения заданных целей.

Функционирование тренажера с БОС также включает ряд процедур, включая сбор и получение исходных медицинских данных  $E_q(t)$  от различных источников  $q$ . Обработка данных посредством функций  $f_i$  преобразует их в расчетные характеристики  $U_i(t)$ , которые используются для оценки состояния пользователя. Калибровка системы осуществляется путем определения эталонных значений характеристик пользователя в состоянии покоя  $U_i^0$  и их допустимых отклонений  $U_i^A$ , что позволяет установить базовый уровень для последующего сравнения.

Целью использования тренажера с БОС является достижение целевых значений характеристик  $U_i^*$  для достижения желаемого состояния пользователя. Это возможно путем вычисления целевой функции  $Q$  для текущего состояния и выбора управляющих воздействий  $A(t)$  для изменения параметров виртуальной среды  $X(t)$  с целью минимизации или максимизации целевой функции  $Q$ .

На основе данной математической модели необходимо произвести решение задачи оптимизации тренажера с БОС, что требует определения и выбора некоторого набора критериев. Рассмотрим некоторые варианты критериев.

Первый критерий заключается в минимизации отклонения прогнозируемых значений характеристик человека от реальных за счет применения прогнозирующей функции для своевременной корректировки управляющих воздействий и повышения

эффективности тренажера. Математически этот критерий формулируется как минимизация суммы квадратов разности между реальными  $U_i(t)$  и прогнозируемыми  $\hat{U}_i(t)$  значениями характеристик:

$$K_1 = \sum_{i=1}^N (U_i(t) - \hat{U}_i(t))^2 \rightarrow \min,$$

где  $\hat{U}_i(t) = f_i(X(t))$  — прогнозируемое значение  $i$ -ой характеристики, полученное с помощью прогнозирующей функции  $f_i$ . Целью оптимизации тогда является нахождение указанных функций  $f_i$ , позволяющий минимизировать  $K_1$ .

Второй критерий направлен на максимизацию производительности тренажера за счет оптимизации параметров и количества виртуальных объектов за счет анализа влияния параметров на производительность системы и последующей оптимизации конфигурации виртуальной среды. Представим критерий как функцию расчета количества кадров игровой сцены  $P(X(t))$ :

$$K_2 = P(X(t)) \rightarrow \max.$$

Третий критерий заключается в выборе оптимального источника данных для БОС, обеспечивающего наибольшую точность управления. Сформулируем этот критерий как взвешенную сумму ошибок данных от различных источников:

$$K_3 = \sum_{q=1}^M (\varepsilon_q w_q) \rightarrow \min,$$

где  $\varepsilon_q$  — ошибка или неопределенность данных от источника  $q$ ,  $w_q$  — весовой коэффициент, отражающий значимость источника, а  $M$  — общее количество доступных источников данных. Оптимальный выбор источников данных способствует повышению точности и надежности системы управления.

Четвертый критерий предусматривает минимизацию стоимости тренажера за счет упрощения БОС при обеспечении необходимой точности управления. Снижение стоимости разработки и эксплуатации тренажера является важным фактором при его внедрении. Обозначим критерий следующим образом:

$$K_4 = C_{total} = C_e + C_d + C_m \rightarrow \min,$$

где  $C_e$  — стоимость аппаратных компонентов (датчики, контроллеры, вычислительные модули и другие устройства, входящие в состав БОС);  $C_d$  — затраты на разработку программного обеспечения, алгоритмов управления, интеграцию системы и тестирование;  $C_m$  — расходы на техническое обслуживание, обновление системы, поддержку пользователей и возможные ремонты.

Кроме того, необходимо обеспечить условие для данного критерия, что  $K_3 \leq K_3^{max}$ , так как это позволяет балансировать между экономической эффективностью и точностью работы системы.

Пятый критерий направлен на оптимизацию времени тренировки, который включает два аспекта. С одной стороны, необходимо достигнуть оптимального значения характеристик пользователя за счет подбора параметров тренажера в процессе

функционирования. С другой стороны, резкие изменения параметров могут привести физиологические характеристики пользователя к их максимальным значениям  $U_i^{\max}$ , что преждевременно завершит тренировку [4]. Поэтому важно установить минимальное время тренировки  $T \geq T_{\min}$ , в течение которого пользователь может безопасно взаимодействовать с виртуальной средой без превышения допустимых физиологических параметров  $U_i(t) < U_i^{\max}$ . Получим:

$$K_5 = T \rightarrow \min,$$

При ограничениях:  $T \geq T_{\min}; U_i(t) < U_i^{\max}; U_i(T) = U_i^*; \forall t \in [0, T], \forall i = 1, \dots, N$ .

Представленные критерии оптимизации позволяют комплексно подойти к повышению эффективности работы виртуального тренажера с БОС, учитывая как технические, так и экономические аспекты. Применение этих критериев в процессе разработки и эксплуатации тренажера обеспечит высокую точность и эффективность за счет минимизации отклонений характеристик пользователя и выбора оптимальных источников данных. Высокая производительность будет достигнута через оптимизацию параметров виртуальной среды и конфигурации системы. Экономическая целесообразность обеспечивается за счет снижения стоимости без ущерба для функциональности и качества, а быстрая адаптация системы достигается посредством минимизации времени тренировки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№124032800018-5).*

#### Список использованных источников

1. Method for Assessing the Influence of Phobic Stimuli in Virtual Simulators / A. Obukhov, M. Krasnyanskiy, A. Volkov [et al.] // Journal of Imaging. – 2023. – Vol. 9, No. 10. – P. 195.
2. Стрекалев, В. О. Система мониторинга иммерсивных виртуальных тренажеров с биологической обратной связью / В. О. Стрекалев, В. В. Грибова // Информатика и системы управления. – 2023. – № 3(77). – С. 83-92.
3. Examination of the Accuracy of Movement Tracking Systems for Monitoring Exercise for Musculoskeletal Rehabilitation / A. D. Obukhov, A. Volkov, A. N. Pchelintsev [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 19. – P. 8058.
4. Дубровская, Ю. А. Применение тренажеров и симуляторов для формирования профессиональных навыков при практической подготовке горноспасателей / Ю. А. Дубровская, Л. В. Пихконен, Г. В. Руденко // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2022. – № 203. – С. 168-176.

УДК 004.89

**Суркова Е.О., Карпушкин С.В., Архипов А.Е.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: esur2506@yandex.ru

## **СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ МОДЕЛИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Surkova E.O., Karpushkin S.V., Arkhipov A.E.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: esur2506@yandex.ru

## **HUMAN BODY MODEL RECOGNITION SYSTEM BASED ON COMPUTER VISION AND MACHINE LEARNING**

*Аннотация.* В работе описывается реализация процесса распознавания и оценки позы. Рассмотрены существующие подходы к реализации алгоритма распознавания позы. Разработана система захвата движения с использованием технологий компьютерного зрения и машинного обучения, которая выполняет получение кадров с камеры, обнаружение человека на них и распознавание его позы.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, машинное обучение, оценка позы.

*Abstract:* This paper describes the implementation of the process of recognition and evaluation of the pose. The existing approaches to the implementation of the pose recognition algorithm are considered. A motion capture system using computer vision and machine learning technologies is developed, which performs acquisition of frames from the camera, detection of a person on them and recognition of his pose.

*Keywords:* computer vision, machine learning, pose estimation.

Задачи распознавания и оценки позы включают в себя интерпретацию и семантический анализ положения и направления суставов и конечностей тела человека исходя из визуальных данных, полученных с изображения. На сегодняшний день оценка и распознавание позы человека широко используется в приложениях виртуальной и дополненной реальности, в различных системах захвата движения.

В качестве решения данных задач сегодня зачастую используют подходы с применением глубокого обучения: свёрточные (CNN) и рекуррентные нейронные сети (RNN). Подходы к решению задачи оценки позы человека можно разделить на нисходящие и восходящие. В нисходящих подходах сначала происходит обнаружение людей в кадре, затем оценка позы каждого найденного человека. Алгоритмы, которые относятся к восходящим подходам, на первом этапе выполняют поиск частей тела в

кадре, затем производят их группировку в позы. Как правило, для этой задачи применяются сверточные нейронные сети, такие как YOLO (You Look Only Once), SSD (Single Shot Detection), R-CNN (Region CNN) и другие [1]. Они позволяют распознавать множество различных объектов, включая человека или отдельные части тела с высокой точностью. Однако одним из недостатков решений, перечисленных выше, можно назвать их медленную работу, из-за чего они не подходят для использования в системах, работающих в реальное время. Для решения этой проблемы существуют специальные фреймворки (MoveNet, MediaPipe, OpenPose), также использующие нейронные сети, оптимизированные для работы в более высокопроизводительных приложениях [2,3].

В данной статье описаны компоненты системы захвата движения, отвечающих за оценку и распознавание позы человека.

Для реализации получения кадра с камеры или из видеофайла был создан базовый класс `BaseCamera`. Класс является базовой реализацией для других классов, реализующих работу с камерами и видеофайлами с помощью, и позволяет расширить свой функционал в случае необходимости. Работа с видеопотоком осуществляется посредством класса `VideoStream` из библиотеки `OpenCV`. `BaseCamera` включает в себя методы, использованные для управления камерой и её настройками. Конструктор класса `BaseCamera` принимает номер камеры и/или имя файла видео. Если имя файла видео задано, то он используется для захвата видео. Если имя файла не задано, то используется камера с указанным номером. Ширина и высота кадра видео могут быть заданы в конструкторе, но если они не заданы, то используются значения по умолчанию.

Захват кадров и их вывод выполняется в отдельном для каждой камеры потоке с помощью метода `process_frames()`. Также были реализованы методы для его управления, а также использован сигнализирующий объект `Event` из библиотеки `threading`.

Для этапа получения кадра для последующей обработки с помощью нейронных сетей (`MediaPipe`) был реализован класс `Camera`, унаследованный от `BaseCamera`. Основное отличие `Camera` от базового класса состоит в том, что он имеет объекты для выполнения детекции пользователя.

Процесс обработки кадра в данном классе включает в себя следующие шаги:

- Получение кадра, реализуется с помощью встроенных методов `OpenCV` `cv2.VideoStream.grab()` для захвата кадра и `cv2.VideoStream.retrieve()` для его получения. Данный способ является более предпочтительным по сравнению с `cv2.VideoStream.read()` для синхронного получения кадров с нескольких камер.
- Обработка полученного кадра нейронными сетями для последующего нахождения объекта и получения его скелетных точек.
- Отправка данных о найденных метках в виде массивов точек в объект класса, отвечающего за синхронизацию данных со всех камер.
- Вывод обработанного изображения.

Так как в работе используются две камеры, необходим объект для синхронизации данных полученных после обработки кадров, полученных с каждой камеры. Данный функционал выполняет класс Expert. Во время запуска приложения инициализируется экземпляр класса Expert, в конструкторе класса выполняется инициализация нескольких важных компонентов, отвечающих за управление камерами, хранение данных, полученных в режиме реального времени, запись результатов трёхмерной реконструкции, визуализацию. Затем, в методе start() выполняется запуск всех камер.

Основной цикл работы класса осуществляется в методе \_watchdog(), который выполняется в отдельном потоке. Данный метод отслеживает наличие данных в объекте camera\_data. При наличии данных выполняется их анализ, посредством реализованного для этого класса Analyzer.

Для того, чтобы выполнять сбор данных со всех камер класс реализует интерфейс PointsListener, предоставляющий абстрактный метод on\_frame\_processed() в котором точки камеры заносятся в словарь для хранения данных полученных от конкретной камеры в текущий момент времени.

За обработку кадров, полученных из видеопотока, отвечает базовый класс Solution и его классы-наследники Pose и Hand. Класс Solution определяет некоторые общие функции для классов Pose и Hand, такие как функции рисования и методы поиска и обработки ориентиров.

Класс Pose использует модель MediaPipe Pose для обнаружения и отслеживания ориентиров человеческого тела в кадре (рисунок 1), а класс Hand использует модель MediaPipe Hands для обнаружения и отслеживания ориентиров рук. Оба класса определяют метод поиска, который принимает входной кадр и возвращает массив координат ориентиров.

Базовая реализация класса Solution включает в себя 3 основных метода:

- find() — детекция и поиск ключевых ориентиров целевого объекта в кадре;
- draw() — метод отрисовки, который можно использовать для отрисовки обнаруженных ориентиров и соединений на входном кадре с помощью утилит рисования MediaPipe;
- get\_vectors() — получение координат векторов целевого объекта;

Взаимодействие между классами Camera и Solution было реализовано посредством композиции. Для каждой камеры в системе создаётся свой объект класса Camera. Он в свою очередь хранит объекты класса Solution. После того, как был получен очередной кадр из видеопотока, он обрабатывается объектами класса Pose и Hand.

Для того, чтобы определить трёхмерные положения ключевых ориентиров в пространстве был использован полиномиальный алгоритм реализованные в классе Analyzer.

После того, как были получены пространственные значения ключевых точек скелета человека, выполняется классификация позы. Для распознавания позы была использована последовательная нейронная сеть, которая состоит из двух скрытых слоёв. Для обучения нейронной сети были предварительно собраны данные для трёх

классов, соответствующих трём состояниям пользователя: положение «стоя», положение «сидя», «Т-поза» (руки в сторону). Для сбора данных были разработаны дополнительные компоненты, отвечающие за работу с файлами .csv. Обучающие данные включают в себя 99 признаков (x-, y- и z- координаты для 33 ориентиров) и одну целевую переменную идентификатора класса положения пользователя.

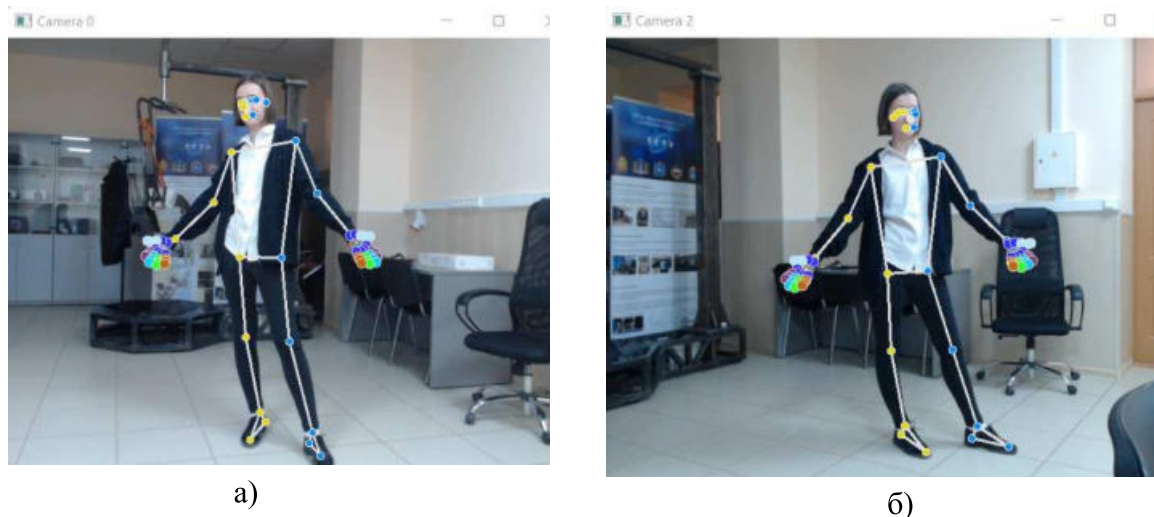


Рис. 1. Обнаружение человека в кадре с первой (а) и второй (б) камеры.

После того, как нейронная сеть обучена, она может быть интегрирована в различные системы для использования в качестве модуля захвата движений [4].

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10057, <https://rscf.ru/project/22-71-10057/>*

#### Список использованной литературы

1. Николюкин, М. С. Адаптивная обработка видеопотока, полученного с камер, при ограничениях на пропускную способность сети передачи данных / М. С. Николюкин, А. Д. Обухов // Информационные технологии. – 2024. – Т. 30, № 5. – С. 252-260.
2. Обухов, А. Д. Архитектура, модели и алгоритмы обработки информации мобильной тренажерной системы для опорно-двигательной реабилитации / А. Д. Обухов, А. О. Назарова, А. А. Волков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2024. – Т. 25, № 8. – С. 415-424.
3. Obukhov, A. Neural network algorithm for predicting human speed based on computer vision and machine learning / A. Obukhov, D. Teselkin, E. Surkova [et al.] // Hybrid Methods of Modeling and Optimization in Complex Systems (HMMOCS-II-2023): Proceedings of the II International Workshop, Krasnoyarsk, 28–30 ноября 2023 года. Vol. 59. – Krasnoyarsk: EDP Sciences, 2024. – P. 3003.
4. Obukhov, A. Development of a stress-free algorithm for controlling active running platforms / A. Obukhov, S. Karpushkin, A. Siukhin [et al.] // Hybrid Methods of Modeling and Optimization in Complex Systems (HMMOCS-II-2023): Proceedings of the II International Workshop, Krasnoyarsk, 28–30 ноября 2023 года. Vol. 59. – Krasnoyarsk: EDP Sciences, 2024. – P. 2004.

УДК 004.89

Дедов Д.Л., Лопатко А.С.

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: m-artkerama@yandex.ru

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Dedov D.L., Lopatko A.S.

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: m-artkerama@yandex.ru

## FORECASTING HUMAN ACTIONS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

*Аннотация.* Рассматривается проблема прогнозирования действий человека в условиях неопределенности с применением нейросетевых технологий. Рассмотрены существующие проблемы использования технологий искусственного интеллекта в условиях неопределенности, возможные пути их решения, архитектуры нейронных сетей, алгоритм решения задачи прогнозирования действий человека.

*Ключевые слова:* нейросетевые технологии, прогнозирование, человеко-машинные системы.

*Abstract.* The problem of predicting human actions in conditions of uncertainty using neural network technologies is considered. The existing problems of using artificial intelligence technologies in conditions of uncertainty, possible solutions, neural network architectures, and an algorithm for solving the problem of predicting human actions are considered.

*Keywords:* neural network technologies, forecasting, human-machine systems.

В системах, основным объектом наблюдения или управления которых является человек, одной из важнейших задач является не только своевременная реакция на его действия, но и их прогнозирование. Актуальность этой задачи обусловлена следующими факторами:

- большинство технических систем, с которыми взаимодействует человек-оператор или человек-пользователь имеет определенную аппаратную или программную задержку, временной интервал между реакцией системы на действия человека и моментом совершения этих действий может иметь критическое значение;
- человек, как объект или субъект для некоторой системы, создает дополнительные условия неопределенности, так как его действия не всегда подчиняются установленному регламенту или заданной в алгоритме функционирования последовательности действий;



- применение некоторой экспертной системы или набора продукционных правил может охватывать большую часть сценариев функционирования технической системы или сценариев деятельности человека, но в случае неопределенного заранее сочетания событий, действий или переменных среды осуществить корректную обработку может быть невозможно.

Перечисленные факторы подводят к необходимости поиска новых подходов и инструментов, способных реагировать на действия человека в условиях неопределенности. Причем, эффективность и скорость принятия решений должна быть как минимум сравнимой или превосходящей показатели человека-оператора.

Нейросетевые технологии в последние годы применяются для решения широкого спектра задач, в ряде областей значительно превосходя существующие решения, однако надежность и устойчивость подобных решений из-за природы функционирования еще оставляет вопросы. Существующие исследования в этой области подтверждают достаточно серьезные проблемы применения нейронных сетей в задачах классификации, сегментации, прогнозирования из-за неустойчивости получаемых прогнозов при доказанной высокой точности. То есть, обладающая высокими показателями на тестовой выборке и в обычных условиях нейронная сеть при ряде сценариев показывает абсолютно некорректные результаты в ряде сценариев. Одни из них создаются искусственно, в ходе так называемых «атак» или состязательных примеров, при которых в исходные данные внедряются едва заметные возмущения (численные, графические артефакты, дополнительные фрагменты информации), кардинально искажающие итоговый прогноз нейронной сети. В условиях неопределенности действий человека такие возмущения могут возникать естественным образом из-за внешних условий, характеристик самого пользователя, даже его внешнего вида (если речь идет о системах, основанных на компьютерном зрении и обработке изображений).

Среди исследователей в качестве основной причины неустойчивой работы нейросетевых технологий выбрана недостаточная обобщающая способность. То есть границы между классами заданы настолько строго и близко, что любое возмущение приводит к ошибочному прогнозу. Расширение данных, различные техники аугментации позволяют снизить этот эффект за счет увеличения обобщающей способности нейронной сети, но не защищают от состязательных примеров и возможных атак на сеть. Другим известным подходом является расширение данных за счет состязательного обучения, при котором часть обучающих примеров, находящихся в граничной зоне, заранее обрабатывается с учетом возможных атак. Впрочем, данный подход не позволяет учесть все возможные виды состязательных примеров.

Следующей проблемой нейронных сетей, помимо низкой устойчивости, является непредсказуемое поведение при поступлении данных, не относящихся ни к одному классу. В технических системах и системах управления, принятия решений зачастую классификаторы используются для выбора окончательного решения или управляющей команды. В случае, когда нейронная сеть выдает равномерно распределенный прогноз

на данные все области обучения, сценарий может быть программным образом обработан, однако в ряде случаев результатом прогноза может быть распределение в один из возможных классов с высокой вероятностью, что может привести к принятию абсолютно некорректных решений. Такие сценарии возможны как в случае преднамеренных атак специально подготовленными данными, так и в случае человеко-машинных систем в процессе выявления не зафиксированного ранее сценария или паттерна действий, а также нестабильность внешних условий, например, освещения или акустики. Таким образом, при реализации нейросетевых подходов необходимо учитывать помимо неопределенных условий, вызванных действиями человека, ряд прогнозируемых условий окружающей среды, которые должны быть учтены в обучающей выборке для формирования необходимого уровня обобщения.

Далее рассмотрим возможные стратегии улучшения нейросетевых технологий для повышения их устойчивости в условиях неопределенности. Эти стратегии в значительной мере пересекаются с подходами к защите от вредоносных атак и состязательных примеров, так как неопределенные или неизвестные данные в человеко-машинных системах будут иметь соответствующие характеристики.

Дистилляция нейронной сети: обучение уменьшенной версии модели с меньшим количеством параметров на основе более сложной модели и использовании не жестко заданных меток, а предсказаний, что приводит к сглаживанию градиентов и некоторому понижению точности, однако положительно сказывается на устойчивости.

Обучение на модифицированных или сгенерированных данных: расширение обучающей выборки для снижения меры неопределенности при последующем функционировании системы; так как не все сценарии, паттерны и действия возможно реализовать в реальном мире, одним из перспективных вариантов является моделирование действий пользователя в виртуальном пространстве и реализация дополнительных действий там с последующей записью данных.

Акцент на объектах: в случае человеко-машинных систем перспективным направлением является переход от изображений человека в кадре к векторам или ключевым точкам человеческого тела; данный переход осуществляется также за счет нейронных сетей и может быть чувствителен к атакам, но, с другой стороны, ее применение для верификации других моделей может быть оправданным.

С учетом вышеперечисленных подходов для повышения устойчивости нейросетевых технологий при прогнозировании действий человека могут быть использованы следующие топологии нейронных сетей:

- сверточные: позволяют сегментировать и выделить контуры/силуэты человека, а также других объектов при использовании компьютерного зрения, а также сверточных слоев;

- рекуррентные: полученные от сверточных сетей наборы точек модели человека могут быть обработаны как последовательности с целью прогнозирования следующих состояний человека, в качестве основных слоев могут использоваться LSTM, GRU, RNN и другие;

- трансформеры: набирающая популярность архитектура нейронных сетей, включающая механизм внимания (Multi-Head Attention) и не использующая рекуррентные слои, что позволяет улучшить производительность и снизить эффект затухания градиента; данные архитектуры могут использоваться и для сегментирования, и для прогнозирования.

Решение задачи прогнозирования действий человека с применением нейросетевых технологий может быть осуществлено по следующему алгоритму [1]:

1. Сбор данных из внешнего мира о пользователях и его окружении, например, посредством компьютерного зрения, датчиков или систем захвата движений.

2. Определение перечня возможных состояний объектов и пользователей, действий пользователей при различных состояниях внешнего окружения, а также перечень действий системы, которые она выполняет при заданных условиях.

3. Извлечение данных о последовательности действий пользователя, состоянии внешнего окружения.

4. Сопоставление последовательности данных с действиями, выполняемыми технической системой или системой управления.

5. Использование полученных упорядоченных пар для обучения нейронных сетей. При обучении необходимо учитывать перечисленные выше рекомендации по выбору топологии нейронной сети и подготовке данных для повышения устойчивости.

6. Обучение нейронных сетей для классификации/сегментирования объектов, определения состояний объектов, прогнозирования.

7. Осуществить прогнозирование действий человека для минимизирования влияния запаздывания и неопределенности за счет обобщающей способности нейронных сетей.

8. Интеграция нейронных сетей в техническую систему для решения задач классификации и прогнозирования, что в условиях неопределенности поведения человека позволит повысить надежность ее функционирования.

В рамках данного исследования рассмотрены основные трудности, возникающие при использовании нейросетевых технологий в задачах прогнозирования, предъявляющих высокие требования к надежности и устойчивости решения. Для обеспечения этих требований проведен анализ существующих подходов из сферы защиты нейронных сетей от атак, которые могут быть применены для снижения величины неопределенности. После их применения возможно применение различных архитектур нейронных сетей для решения задачи прогнозирования действий человека.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10057, <https://rscf.ru/project/22-71-10057/>*

#### Список использованных источников

1. Метод формирования цифровой тени процесса перемещения человека на основе объединения систем захвата движений / А. Д. Обухов, А. А. Волков, Н. А. Вехтева [и др.] // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 168-189.

УДК 004.588

**Никитников Ю.В.<sup>1</sup>, Круглов В.С.<sup>2</sup>, Лопатко А.С.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup> e-mail: yury.nikitnikov@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: nuhnuki@gmail.com

<sup>3</sup> e-mail: m-arkerama@yandex.ru

## **РАЗРАБОТКА VR ТРЕНАЖЁРА ДЛЯ НАЧАЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ЛАБОРАНТОВ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ**

**Nikitnikov Yu.V.<sup>1</sup>, Kruglov V.S.<sup>2</sup>, Lopatko A.S.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup> e-mail: yury.nikitnikov@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: nuhnuki@gmail.com

<sup>3</sup> e-mail: m-arkerama@yandex.ru

## **DEVELOPMENT OF A VR SIMULATOR FOR INITIAL PROFESSIONAL TRAINING OF LABORATORY TECHNICIANS IN THE OIL INDUSTRY**

*Аннотация.* В работе рассматривается разработка виртуального тренажера для работников нефтяных баз, выполняющие задачи по сбору проб для анализа качества. Тренажер представляет из себя приложения для VR гарнитур с виртуальной сценой, изображающей нефтяную базу и необходимое оборудование.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, разработка тренажера.

*Abstract.* The article discusses the development of a virtual simulator for oil depot workers performing sample collection tasks for quality analysis. The simulator is an application for VR headsets with a virtual scene depicting an oil base and the necessary equipment.

*Keywords:* virtual reality, simulator development

При осуществлении работ по сбору проб для анализа топлива работники нефтяных баз могут неверно выполнять последовательность действий. Несоблюдение порядка действий при работе с оборудованием, а также нарушение техники безопасности приводят к чрезвычайным происшествиям [1]. Основываясь на данной проблеме, был разработан виртуальный тренажер, позволяющий сотрудникам предприятия ознакомиться с порядком действий и закрепить знания и навыки.

Виртуальный тренажер – это симуляция реального объекта в виртуальной среде, сценарий взаимодействия с которым заложен в программу обучения [2]. С помощью

шлема виртуальной реальности стажер может полностью погрузиться в нужную ему среду для подготовки и получения опыта, необходимого для эксплуатации реального объекта.

В процессе разработки тренажера реализованы 3D модели сцены и набор программного обеспечения для взаимодействия с объектами виртуального мира. Для данного тренажера разработана система вывода ошибок, предупреждающая пользователя о совершении неверного действия [3].

При запуске тренажера пользователю требуется выбрать режим, от которого зависит какой тип пробы требуется собрать. Всего представлено три режима тренировки:

1. Разные пробы;
2. Смешанный тип;
3. Донная проба.

К каждому режиму имеется текстовая информация, в которой описывается требуемые действия по выполнению работ.

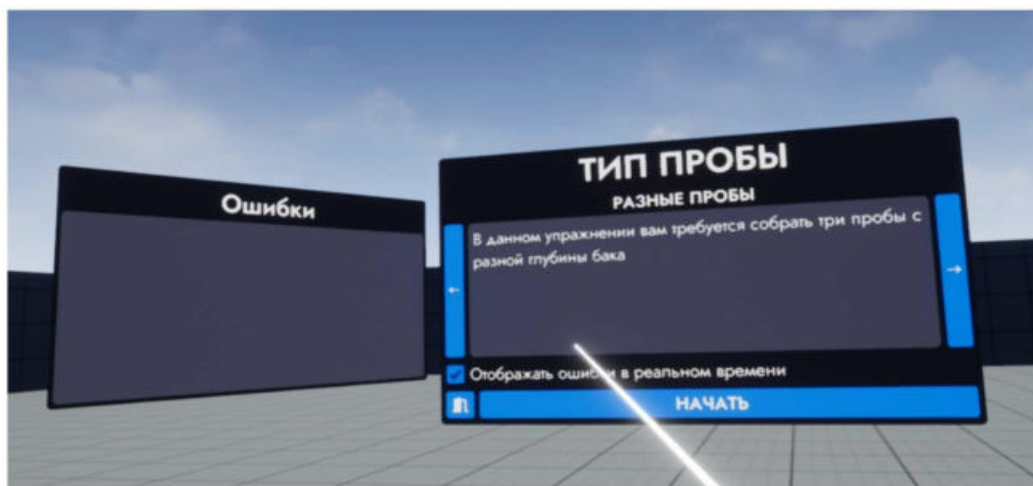


Рис. 1. Выбор режима тренировки

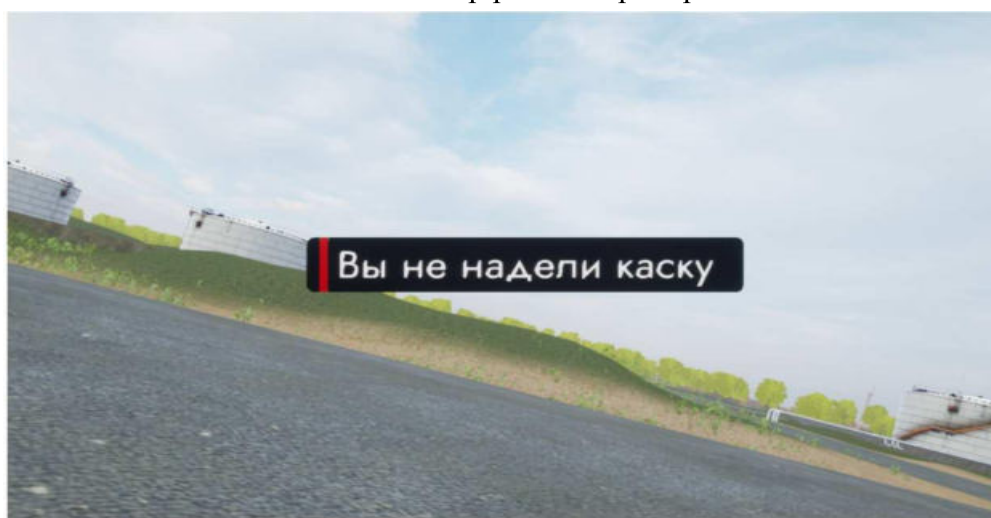


Рис. 2. Предупреждение о неверном действии

Во время выполнения задачи лаборант должен соблюдать порядок действий и соблюдать технику безопасности. При совершении ошибки пользователю будет выведено предупреждение, о неверно выполненном действии.

Лаборанту требуется пройти по нефтебазе до резервуара с топливом. Для сбора необходимых проб, предоставлен весь необходимый инвентарь: пробоотборник, заземление, емкости для проб, воронка, для наполнения емкости. Пользователю нужно опустить пробоотборник на требуемый уровень заполнения резервуара, для сбора конкретной пробы. Для расчета заполнения на резервуаре имеется сенсор, показывающий уровень объема заполнения.

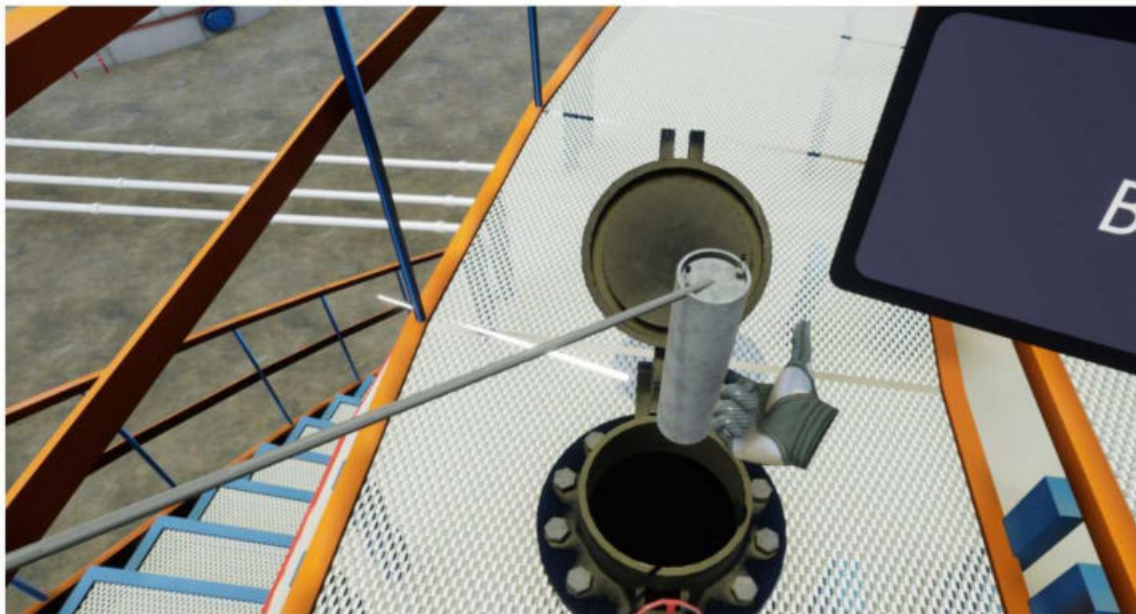


Рис. 3. Сбор проб

После завершения выполнения лаборантом всех необходимых действий, он может покинуть тренировку и увидеть статистику того, какие ошибки и когда он совершил, и приступить к следующим тренировкам.

Для большей иммерсивности тренажёра и правдоподобности действий стажёра были добавлены определенные сценарии действий лаборанта. Например, для заполнения емкости для проб следует снять с нее крышку и установить воронку. При наклоне емкости для проб или пробоотборника из них проливается жидкость, что является нарушением техники безопасности. Покидая тренировочную сцену с оборудованием, пользователь получает об этом предупреждение. Перед началом взаимодействия с тросом пробоотборника лаборанту необходимо подключить заземление. Управление глубиной, на которую опущен пробоотборник осуществляется движением рук вдоль троса, эти движения сделаны наиболее приближенными к реальным.

Виртуальный тренажер обеспечивает развитие необходимых навыков для работников нефтебаз. Пользователь может передвигаться по предприятию при помощи контроллеров, а также с их помощью взаимодействовать с объектами для выполнения поставленных ему задач. Тренажер является хорошей подготовительной базой для

развития профессиональных навыков. При переходе от обучения на виртуальном тренажере к реальной профессиональной деятельности у лаборанта не будет возникать эффекта диссонанса.

Таким образом, разработан виртуальный тренажер для обучения работников нефтяных баз с фиксацией допущенных ошибок.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005).*

#### Список использованных источников

1. Морозов, О. И. Обзор технологий виртуальной реальности и целесообразности их использования / О. И. Морозов, К. А. Баринев, Л. Ф. Макаренко // Интегрированные автоматизированные системы управления в отраслях транспортно-дорожного комплекса : Материалы 78-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 27–31 января 2020 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр", 2020. – С. 125-131.

2. Системный анализ и формализация структуры адаптивных тренажерных комплексов эргатических систем / М. Н. Краснянский, Д. Л. Дедов, А. Д. Обухов, С. Ю. Алексеев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 4(178). – С. 45-52.

3. Разработка системы визуализации виртуальной установки для подготовки специалистов нефтегазовой отрасли / А. Д. Обухов, Н. А. Чеботов, Н. А. Вехтева [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 571-580.



УДК 004.89

ББК 3972

**Теселкин Д. В., Вехтева Н. А., Свешников А. Ю.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: dteselk@mail.ru

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА ПО ЦИФРОВОЙ ТЕНИ ДВИЖЕНИЙ ТЕЛА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Teselkin D. V., Vekheteva N. A., Sveshnikov A. Yu.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: dteselk@mail.ru

## **HUMAN RECOGNITION BY DIGITAL SHADOW OF BODY MOVEMENTS BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES**

*Аннотация.* Рассматривается задача распознавания и идентификации человека по его цифровому слепку, представленному в виде цифровой тени движений его тела. В качестве инструмента решения поставленной задачи рассматриваются нейронные сети типа автоэнкодер. Представлена структурная схема такой сети и алгоритм ее применения. Проведены опытные испытания, доказавшие эффективность предложенного подхода.

*Ключевые слова:* нейронные сети, цифровые тени человека, автоэнкодеры, распознавание движений, цифровая идентификация.

*Abstract.* the problem of recognizing and identifying a person by his digital impression, represented as a digital shadow of his body movements, is considered. Neural networks of the autoencoder type are considered as a tool for solving the problem. A block diagram of such a network and an algorithm for its application are presented. Experimental tests have been carried out, proving the effectiveness of the proposed approach.

*Keywords:* neural networks, digital shadows of human, autoencoders, motion recognition, digital identification.

В современных системах анализа и обработки данных, основанных на технологиях компьютерного зрения, успешно решаются задачи распознавания лиц, силуэтов, объектов в различных вариантах: как с выделением области нахождения объекта, там и сегментацией его на ключевые точки или вектора.

Широкое распространение получили такие обученные нейронные сети, как MediaPipe, OpenPose, MoveNet и другие [1], позволяющие осуществить выделение ключевых сегментов тела человека (рук, ног, головы, пальцев), что позволяет разработчикам реализовывать производительные системы распознавания модели тела



человека в различных условиях. Однако если говорить о распознавании конкретного человека из множества всех пользователей, то это требует тщательного анализа лица, сетчатки или иных уникальных идентификационных признаков. В условиях плохой освещенности или закрытого лица данные подходы могут быть неэффективными.

В рамках предыдущих исследований успешно решена задача формирования цифровых теней процесса перемещения человека за счет применения различных систем захвата движений (камер, костюмов motion capture и датчиков) [2, 3]. С учетом размеров собранного датасета появилась возможность проверить гипотезу о возможности распознавания человека по цифровой тени движений его тела. Для проверки данной гипотезы реализован следующий алгоритм.

На первом этапе осуществляется сбор первичных данных о процессе перемещения человека в типовом сценарии в течение заданного времени  $T$ . Таким образом фиксируется некоторый типовой паттерн, позволяющий однозначно классифицировать пользователя.

Далее формируется набор данных размером  $T \times D$ , где  $D$  - количество точек цифровой тени модели тела человека. Данные поступают на вход нейронной сети типа автоэнкодер с заданным скрытым слоем  $H$ , размещенным в центре нейронной сети. Слой  $H$  представляет сжатое представление цифровой тени процесса перемещения. Таким образом, данный слой будет в общем характеризовать конкретного человека с конкретными характеристиками процессов движений. Схема такой нейронной сети для распознавания представлена на рисунке 1 и базируется на общепринятой архитектуре автоэнкодеров.

Автоэнкодер включает две внутренние модели: энкодер, используемый для шифрования исходных данных (временной последовательности из наборов точек модели тела человека) в скрытое представление слоя  $H$ . Декодер решает обратную задачу, восстанавливая из слоя исходные  $H$  данные. Процесс обучения энкодера и декодера осуществляется одновременно, так как при проектировании нейронной сети они объединены в единую модель. В рамках данного исследования четкое разделение на энкодер и декодер необходимо по причине потребности в получении скрытого слоя  $H$  без последующего восстановления исходного изображения.

Для организации возможности распознавания человека по базе цифровых теней процессов движения необходимо выполнить следующую проверку. Для каждого человека записываются значения скрытого слоя  $H$  после выполнения определенного паттерна движений, которые обозначим как последовательность  $H_1, H_2, \dots, H_N$ . Далее для текущего пользователя осуществляется расчет слоя  $H$ , используя только энкодер обученной нейронной сети. Обозначим его как  $H^*$ . Далее проверяется отклонение вектора  $H^*$  от каждого из записанных в базе значений  $H_i, i = 1..N$ . Если величина отклонения между  $i$ -ым вектором и  $H^*$  меньше определенного порога (обозначим как  $\varepsilon$ ), то вектор  $H_i$  с наименьшим отклонением от  $H^*$  может быть принят как

равнозначный. Тогда текущий пользователь будет соответствовать пользователю с присвоенным вектором  $H_i$ .

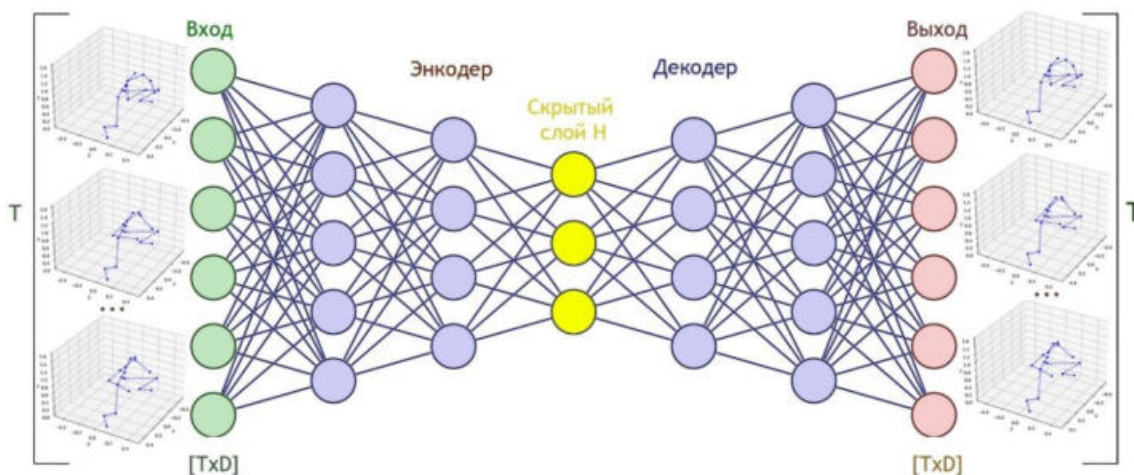


Рис. 1. Схема нейронной сети для распознавания человека по набору данных цифровой тени

Для реализации такого подхода автоэнкодер обучался в течение 50 эпох на собранном датасете цифровых теней, среднеквадратичная ошибка после обучения составила меньше 0,001. Процедура обучения основана на том, что вход и выход модели идентичны, таким образом, веса скрытых слоев подстраиваются для обеспечения соответствия входных данных таким же данным на выходе модели.

После обучения модели нейронной сети были проведены экспериментальные исследования по следующему типовому паттерну: человек стоит ровно, делает два шага вперед, разворачивается, возвращается на исходную позицию, после чего повторяет это действие, но по другой оси. Далее были записаны 5 эталонов от 5 испытуемых, данные скрытых слоев сохранены. Для валидности эксперимента на следующий день были проведены контрольные измерения в течение 10 раз с различными значениями  $\varepsilon$ : 10 и 20% отклонения от значений записанного ранее эталона. Результаты данных испытаний представлены на рисунке 2.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Величина  $\varepsilon$  напрямую определяет чувствительность автоэнкодера, большее значение позволяет (с учетом небольшого объема тестовой выборки) классифицировать конкретного человека. С другой стороны, на большой выборке это может привести к ошибочным распознаваниям.

В итоге получена средняя точность распознавания в размере 66% для  $\varepsilon=10\%$  и 78% для  $\varepsilon=20\%$ , что подтверждает возможность использования собранных в цифровую тень данных в качестве идентификатора пользователя при выполнении им определённого паттерна действий, однако данный показатель может быть улучшен в ходе дополнительных исследований по выбору паттернов движения, архитектуры автоэнкодера.

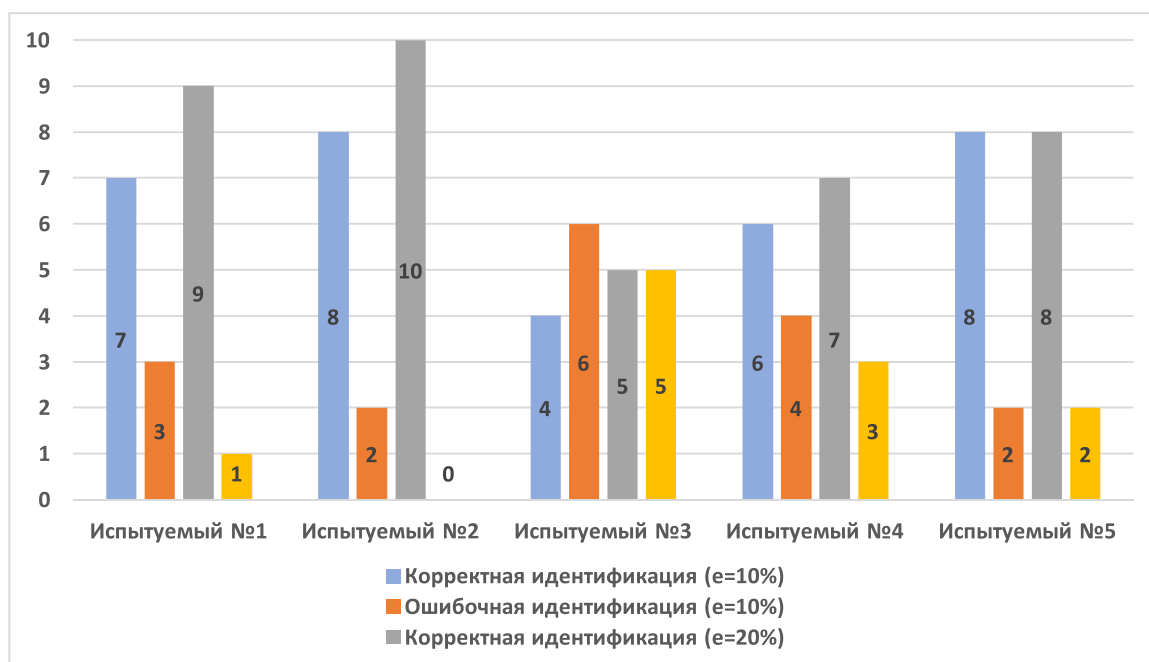


Рис. 2. Результаты испытаний по проверке возможности распознавания человека по базе цифровых теней

Таким образом, успешно апробирована архитектура автоэнкодера для решения задачи распознавания человека по характеру его движений за счет собранных ранее данных цифровой тени.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10057, <https://rscf.ru/project/22-71-10057/>*

#### Список использованных источников

1. Chung J. L. Comparative Analysis of Skeleton-Based Human Pose Estimation / J. L. Chung, L. Y. Ong, M. C. Leow //Future Internet. – 2022. – Т. 14. – №. 12. – С. 380.
2. Human motion capture algorithm for creating digital shadows of the movement process / A. D. Obukhov [et al.] //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Т. 2388. – №. 1. – С. 012033
3. Modeling of Nonlinear Dynamic Processes of Human Movement in Virtual Reality Based on Digital Shadows / A. D. Obukhov [et al.] //Computation. – 2023. – Т. 11. – №. 5. – С. 85.

УДК 004.89

ББК 3972

**Шильцын М.А., Теселкин Д. В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: maks.shilcin@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В  
ОФТАЛЬМОЛОГИИ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ КОСОГЛАЗИЯ**

**Shiltsyn M.A., Teselkin D.V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: maks.shilcin@mail.ru

**APPLICATION OF MEDICAL VIRTUAL SIMULATORS  
IN OPHTHALMOLOGY FOR STRABISMUS TREATMENT**

*Аннотация.* Рассматривается концепция замещения существующих комплексов лечения и профилактики офтальмологических заболеваний посредством виртуальной реальности для решения задачи повышения степени вовлеченности детей в процесс устранения нарушений зрения на примере косоглазия.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, медицинское оборудование, офтальмология, реабилитация зрения, мотивация пациентов.

*Abstract.* This template contains guidelines for preparing your manuscript for publication . Use this document as a template to compose your paper with Microsoft Word 6.0 or later. For submission guidelines follow instructions on paper submission system on the Conference website. All blank lines are left intentionally, do not delete them. Recommended manuscript size – from 3 to 6 full pages.

*Keywords:* virtual reality, medical equipment, ophthalmology, vision rehabilitation, patient motivation.

Косоглазие (страбизм) – это патология зрения, при которой фокус каждого глаза приходится на разные точки, в результате чего мозг не может сложить изображения с глаз в цельную картину.

На данный момент для коррекции косоглазия в большинстве случаев используется синоптофор [1]. Принцип его работы заключается в подаче на каждый глаз частей одного изображения, которые человеку необходимо совместить (Рисунок 1).



Рис.1. Синоптофор

Однако, большинство детей не отличаются усидчивостью и им трудно продолжительное время сохранять концентрацию при лечении косоглазия на синоптофоре. Для решения данной проблемы в настоящее время используются компьютерные системы, в которых есть некоторое разнообразия упражнений, которые помогают поддерживать заинтересованность детей в тренировке (Рисунок 2) [2].

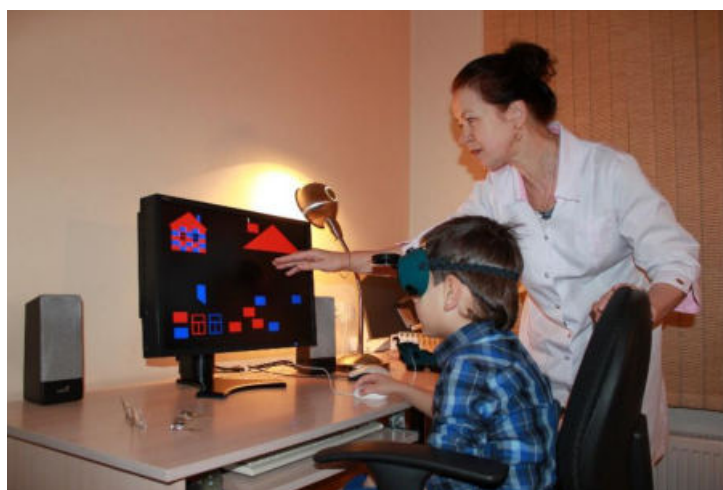


Рис. 2. Пример приложения для корректировки косоглазия

Хотя данные приложения справляются с возложенной на них задачей, развитие технологий значительно подняло планку ожиданий детей от игр, которые способны удержать их внимание.

Виртуальная реальность и современные игровые движки позволяют уйти от простых 2D изображений и погрузить пользователя в 3D мир и захватить внимание ребенка, предоставив ему больше возможностей для взаимодействия с внутриигровым миром [3-5]. В рамках данной работы рассматриваются возможности замещения классических комплексов на основе медицинского оборудования программными системами и платформами виртуальной реальности (VR) в сфере офтальмологии.

Платформа виртуальной реальности предоставляет возможность реализовать тренировки как в традиционном (2D) стиле (Рисунок 3), так и в 3D (Рисунок 4).

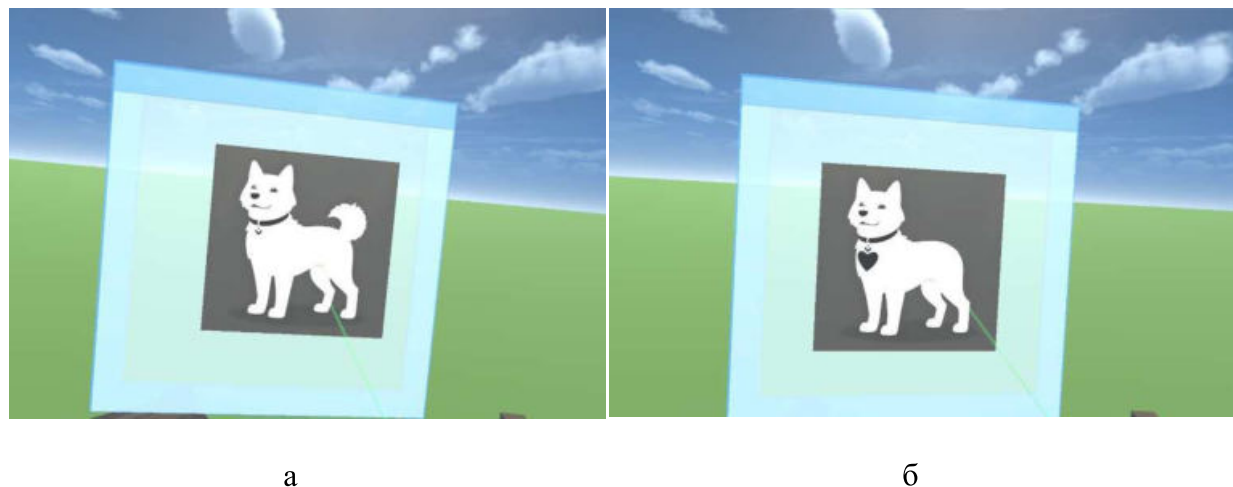


Рис. 3. Совмещение картинок (а – левый глаз, б – правый глаз)

На основе представленной выше специфики процесса профилактики и лечения глазных заболеваний, было реализовано VR приложение. Функционально оно похоже на оба вышеизложенных метода – изображения, транслируемые на линзы шлема виртуальной реальности, отличаются у правого и левого глаза некоторыми деталями. Так как оно имитирует синоптофор и компьютерные приложения, предполагается, что приложения виртуальной реальности способны заменить некоторые привычные средства в коррективке зрения.

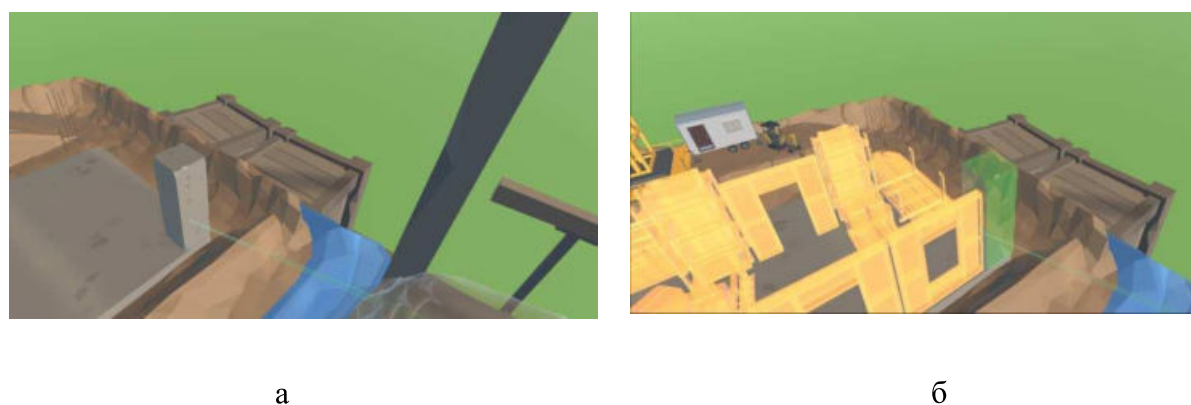


Рис. 4. Совмещение 3D объектов (а – левый глаз, б – правый глаз)

Таким образом, представленная программная платформа может быть использована в офтальмологии для лечения и профилактики как дополнительный инструмент с повышенной мотивационной составляющей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка медицинских VR тренажерных систем для опорно-двигательной реабилитации с биологической обратной связью» (№124032800018-5).*

Список использованных источников

1. Subharnngkasen, I. Successful amblyopia therapy by using synoptophore / I Subharnngkasen // Journal-medical association of thailand. - 2003. - Т. 86. - С. 556-562.
2. Zhang, J. Comparing the effectiveness of internet visual perception training system and synoptophore training for patients binocular visual function after strabismus surgery / J. Zhang // International Eye Science. - 2019. - С. 339-341.
3. Optimization of the learning process on adaptive training complexes / S. V. Karpushkin [et al] // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. – 2019. – Т. 19. – №. 5.4. – С. 229-236.
4. The study of virtual reality influence on the process of professional training of miners / A. D. Obukhov [et al] //Virtual Reality. – 2022. – С. 1-25.
5. Design of Simulators for Automated Information Systems of Engineers' Training / M. N. Krasnyanskiy [et al] //Journal of Applied Sciences. – 2014. – Т. 14. – №. 21. – С. 2674-2684.



УДК 004.934.2

**Шапович Е.Г.**

Барановичский государственный университет, Республика Беларусь, г. Барановичи  
e-mail: evgeniy.shapovich@gmail.com

## **РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИЙ ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ**

**Shapovich E. G.**

Baranavichy state university, Republic of Belarus, Baranavichy  
(e-mail: evgeniy.shapovich@gmail.com)

## **IMPLEMENTATION OF THE EMOTION CLASSIFICATION MODEL BY SPEECH SIGNAL**

*Аннотация.* В статье рассматривается использование нейросетевых методов для распознавания эмоций по речевому сигналу. Предложен подход, основанный на комбинации свёрточных нейронных сетей (CNN) и рекуррентных нейронных сетей LSTM. Модель обучалась на наборе данных RAVDESS, включающем эмоционально окрашенную речь. Такой подход позволяет эффективно извлекать как пространственные, так и временные зависимости, что обеспечивает высокую точность распознавания эмоций. Представлена архитектура CNN+LSTM, описаны результаты обучения и тестирования модели, достигнута точность 92.15%.

*Ключевые слова:* распознавание эмоций, речевые сигналы, CNN, LSTM, RAVDESS, глубокое обучение, обработка речи, анализ данных.

*Abstract.* The article discusses the use of neural network methods for recognizing emotions from a speech signal. An approach based on a combination of convolutional neural networks (CNN) and recurrent neural networks LSTM is proposed. The model was trained on the RAVDESS dataset, which includes emotionally charged speech. This approach allows for efficient extraction of both spatial and temporal dependencies, which ensures high accuracy of emotion recognition. The CNN+LSTM architecture is presented, the results of training and testing the model are described, and the accuracy of 92.15% is achieved.

*Keywords:* emotion recognition, speech signals, CNN, LSTM, RAVDESS, deep learning, speech processing, data analysis.

**Введение.** В условиях стремительного роста объемов данных и совершенствования информационных технологий возникает необходимость разработки новых подходов к их обработке и анализу. Важную роль в этом процессе играют нейросетевые методы,



которые показали свою эффективность в решении различных задач обработки информации, включая задачи компьютерного зрения, обработки естественного языка и распознавания речи. В последние годы наблюдается значительный интерес к задачам, связанным с анализом речи, в частности к распознаванию эмоций по речевому сигналу, что имеет важные прикладные значения в различных сферах, таких как психология, медицина, образование и взаимодействие человека с машинами.

Использование нейронных сетей для обработки речевых данных позволяет автоматизировать процесс распознавания эмоций и сделать его более точным и надежным. Современные архитектуры нейронных сетей, такие как сверточные сети и рекуррентные нейронные сети (далее — LSTM), доказали свою высокую эффективность в обработке как временных, так и пространственных зависимостей, присутствующих в речевых сигналах. В совокупности с методами внимания, такие модели позволяют достигать высокой точности распознавания эмоций, что делает их актуальным выбором для исследований в данной области [1].

Таким образом, объектом данного исследования являются речевые данные, содержащие информацию о эмоциональном состоянии говорящего. Предметом исследования выступают методы анализа и обработки речевых сигналов с помощью нейронных сетей для распознавания эмоций.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью разработки более точных и автоматизированных решений для анализа эмоций в голосовых сигналах, которые могут применяться в таких областях, как психодиагностика, телемедицина, интеллектуальные интерфейсы и системы управления, основанные на речевом взаимодействии.

Цель данного исследования заключается в разработке и обучении нейронной сети, способной распознавать эмоции по речевому сигналу

**Основная часть.** Для обучения нейронной сети использовался набор The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS) [2].

RAVDESS — это обширный и разнообразный датасет, предназначенный для исследования и разработки систем распознавания эмоций в аудио и визуальных данных. Он был разработан в университете Райерсона (Канада) и включает в себя записи эмоционально окрашенной речи и песен, что делает его ценным ресурсом для ученых и практиков в области обработки сигналов, машинного обучения и психологии.

Датасет содержит 24 различных эмоциональных выражения, записанных 24 актерами (12 мужчин и 12 женщин).

Каждое выражение эмоции представлено в двух форматах: речевом и музыкальном.

Аудиозаписи охватывают следующие эмоции: счастье, печаль, гнев, отвращение, страх, удивление и нейтральные состояния.

Каждый актер произносит одно и то же предложение, что позволяет обеспечить единообразие в анализе эмоциональных выражений.

Для разработки в качестве языка программирования был выбран Python, в качестве фреймворка для глубоко обучения использовался PyTorch, для развертывания и обучения модели использовалась онлайн-платформа Kaggle, Matplotlib и Seaborn были выбраны в качестве инструментов для визуализации данных.

Обработка речевых сигналов представляет собой сложную задачу, поскольку она требует извлечения и анализа как пространственных, так и временных зависимостей. Использование комбинации свёрточных нейронных сетей (CNN) и рекуррентных нейронных сетей (RNN), в частности, LSTM (Long Short-Term Memory), предлагает мощное решение, объединяющее преимущества каждой из этих технологий.

Свёрточные нейронные сети эффективно справляются с выделением локальных пространственных признаков из двумерных данных, таких как спектрограммы, которые представляют собой визуализацию частотного спектра звука во времени. В случае распознавания эмоций по речевому сигналу спектрограммы позволяют анализировать, как различные частоты изменяются во времени в зависимости от эмоционального состояния говорящего.

В отличие от традиционных рекуррентных нейронных сетей, LSTM способны захватывать долгосрочные зависимости во временных данных благодаря специальным механизмам управления состоянием. Это особенно важно для речевых данных, где эмоция человека может проявляться через тонкие изменения интонации, громкости и ритма в течение всего звукового отрезка.

LSTM позволяют модели учитывать контекст предыдущих и последующих временных шагов, что значительно улучшает распознавание последовательностей. В случае эмоций в речи, например, паузы, интонационные сдвиги и длительность звучания определённых звуков могут нести значимую информацию, которую важно учитывать для точной классификации [3].

Комбинация CNN и LSTM оказывается крайне эффективной для анализа аудиоданных. CNN выделяют ключевые пространственные признаки, которые затем передаются на вход LSTM для моделирования временных зависимостей. Такой подход позволяет учесть как локальные изменения частот в речевом сигнале, так и более крупные контекстуальные изменения, такие как изменение интонации во времени.

Архитектура модели CNN + LSTM включает в себя несколько ключевых компонентов: свёрточные слои для выделения пространственных признаков, LSTM для анализа временных зависимостей, и механизм внимания для акцентирования важных частей последовательности.

Модель ожидает входные данные в формате (канал, высота, ширина), что соответствует двумерным представлениям, таким как спектрограммы аудиосигналов. Эти представления позволяют извлечь пространственные особенности звуковых сигналов.

Сверточные слои являются основным компонентом модели, отвечающим за извлечение пространственных признаков из входных данных:

Первый сверточный блок:

- входные каналы: 1;
- выходные каналы: 16;
- размер ядра: 3x3;
- функция активации: ReLU;
- нормализация: слой пакетной нормализации;
- подвыборка: слой максимальной подвыборки с размером ядра 2x2;
- dropout: 30% для предотвращения переобучения.

Второй сверточный блок:

- входные каналы: 16;
- выходные каналы: 32;
- аналогичные операции как в первом блоке.

Третий сверточный блок:

- входные каналы: 32;
- выходные каналы: 64.

Четвертый сверточный блок:

- входные каналы: 64;
- выходные каналы: 64.

Каждый сверточный блок включает нормализацию, активацию, подвыборку и дропаут, что способствует улучшению обобщающей способности модели и снижению риска переобучения.

После обработки данных свёрточными слоями модель передаёт их в LSTM. Этот блок состоит из двунаправленных LSTM (bi-LSTM), которые обрабатывают последовательность как в прямом, так и в обратном порядке, что позволяет учитывать информацию как из прошлого, так и из будущего контекста.

Основные параметры LSTM:

- в архитектуре используется 128 скрытых единиц, что позволяет модели сохранять важные особенности на каждом временном шаг;
- двунаправленный LSTM может более точно моделировать временные зависимости, анализируя последовательность в обоих направлениях, это особенно полезно для анализа звука, где эмоции могут проявляться на разных участках временной последовательности.

Слой внимания вычисляет весовые коэффициенты для каждого временного шага LSTM на основе его состояния. Это позволяет модели сосредоточиться на более важных временных шагах при принятии решений о эмоциях. Механизм внимания улучшает качество классификации, так как он акцентирует внимание на наиболее информативных признаках в последовательности.

На заключительном этапе модель объединяет выходы LSTM и механизм внимания. Результирующая информация передаётся через один или несколько полносвязных слоёв, которые выполняют окончательную обработку данных для классификации. Последний слой использует функцию активации Softmax для предсказания вероятности

каждой эмоции. Выходное количество нейронов соответствует числу категорий эмоций в наборе данных.

Предложенная архитектура нейронной сети успешно сочетает в себе преимущества сверточных и рекуррентных нейронных сетей, а также механизм внимания, что позволяет эффективно распознавать эмоции в речевых сигналах.

Данные на подвыборки были разделены следующим образом:

1. Обучающая выборка — 80% от общего количества данных для каждой эмоции идет в обучающую выборку.

2. Валидационная выборка — 10% данных используется для валидации модели, что позволяет проверять ее эффективность во время обучения.

3. Тестовая выборка — оставшиеся 10% служат для окончательной оценки модели после завершения обучения.

Модель обучалась в течение 100 эпох, что позволило достичь хорошей сходимости, избегая при этом переобучения.

Для стабильного обучения и эффективного использования вычислительных ресурсов использовался размер батча в 32 примера.

Скорость обучения была выбрана равной 0.01 с использованием стохастического градиентного спуска (SGD). Этот оптимизатор был дополнен моментом = 0.8, чтобы ускорить сходимость и уменьшить вероятность попадания в локальные минимумы.

Для борьбы с переобучением использовался весовой коэффициент L2-регуляризации 0,001.

Для обучения модели использовался стохастический градиентный спуск (SGD), поскольку он обеспечивает хорошую сходимость на больших наборах данных и позволяет лучше контролировать процесс обучения. Момент использовался для ускорения сходимости и предотвращения осцилляций.

Основной функцией потерь была выбрана кросс-энтропия, которая является стандартным выбором для задач многоклассовой классификации. В качестве основной метрики использовалась точность, а также дополнительно отслеживался F1-score для более точной оценки производительности на несбалансированных данных.

После завершения процесса обучения нейронной сети, важно сохранить модель, чтобы впоследствии можно было её использовать для тестирования или развертывания в приложениях.

После загрузки модели можно провести её оценку на тестовом наборе данных с использованием заранее определённых метрик. Для этого используется тестовый набор данных, представленный в виде тензоров, которые передаются на устройство, и происходит их валидация. Далее вычисляются метрики качества: Recall и F1-score, которые являются важными показателями для оценки классификации в задачах распознавания эмоций.

Получены следующие показатели:

1. Потери составляют 0.288. В данном случае, значение 0.288 указывает на умеренные потери, что является приемлемым результатом для сложной задачи, такой как распознавание эмоций.

2. Точность составляет 92.15% — это высокий показатель, который говорит о том, что модель правильно классифицирует подавляющее большинство примеров.

3. Точность модели (Recall) 0.92. Значение 0.92 указывает на то, что модель в 92% случаев правильно классифицирует позитивные классы, что является высоким показателем для задачи классификации.

4. Оценка модели с помощью метрики F1-score составляет 0.92. Значение 0.92 указывает на то, что баланс между точностью и полнотой в модели хорошо сбалансирован, что говорит о её надёжности при работе с различными классами данных.

Модель демонстрирует высокие показатели производительности по всем основным метрикам (accuracy, recall, F1-score), а умеренное значение функции потерь свидетельствует о том, что модель обучена хорошо. Она способна точно распознавать эмоции, что подтверждается сбалансированными метриками Recall и F1-score, указывающими на надёжность модели в реальных условиях.

На рис. 1 представлен график ошибок при обучении на обучающей и валидационной выборках.

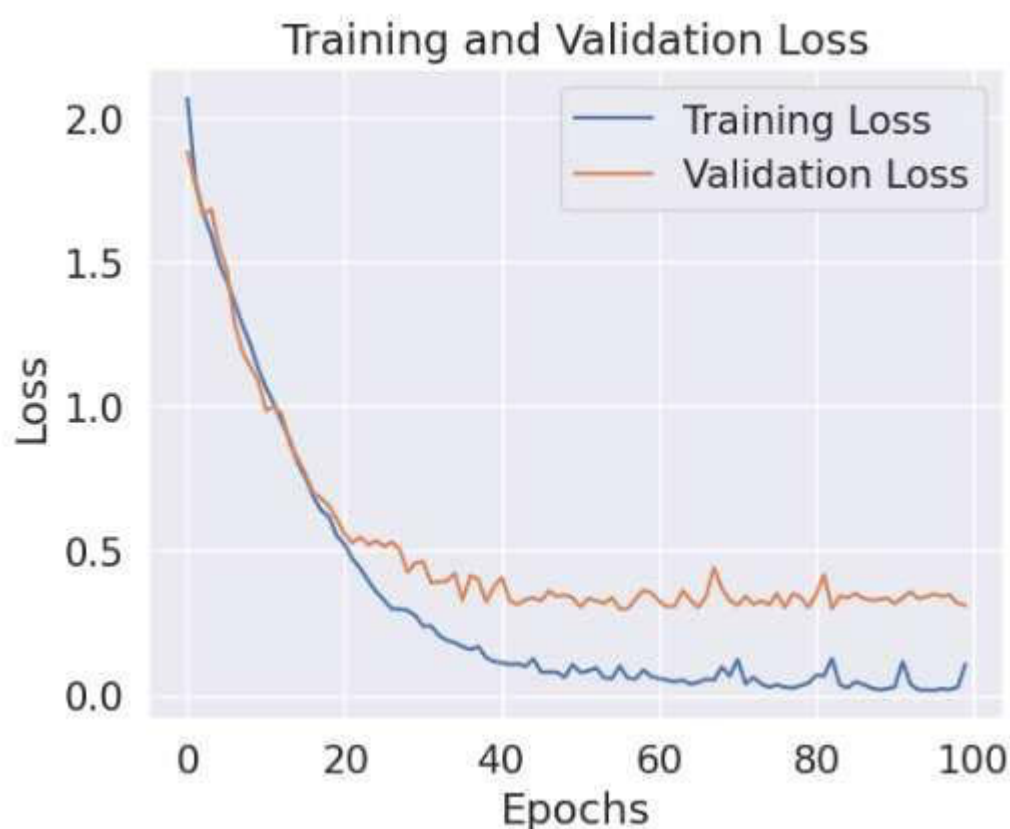


Рис. 1. График ошибок при обучении на обучающей и валидационной выборке

Тренировочная точность (acc) постоянно растет с 23.18% до 99.59% за 100 эпох. Это указывает на то, что модель улучшает свои способности на тренировочных данных.

Точность на валидационных данных (val\_acc) также увеличивается, начиная с 26.67% и достигая 94.39%. Это свидетельствует о том, что модель хорошо обучается и обобщает знания на валидационном наборе, однако между эпохами 50 и 100 прирост точности замедляется, что говорит о возможном насыщении.

Валидационная точность и функция потерь остаются стабильными после 50-й эпохи, но иногда модель начинает терять точность на проверочных данных. Это может говорить о возможном переобучении, что можно заметить в незначительных колебаниях между эпохами 50 и 100.

**Заключение.** В ходе исследования методов распознавания эмоций на основе речевых сигналов были проанализированы ключевые технологии и инструменты, которые обеспечивают эффективное обучение нейронных сетей и обработку данных.

Исследование показало, что комбинация сверточных нейронных сетей (CNN) и двунаправленных LSTM является перспективным подходом к распознаванию эмоций, так как позволяет эффективно извлекать как пространственные, так и временные признаки из аудиосигналов. Это сочетание технологий обеспечивает высокую точность классификации, что является критически важным для применения в области эмоционального анализа.

#### Список использованных источников

1. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и приложения : учеб. пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. — 121 с.
2. The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS) [Electronic resource] : A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English / S. R. Livingstone, F. A. Russo. — HUNGARY : University of Pecs Medical School, 2017. — URL: <https://zenodo.org/record/1188976#.YFHHsWgzaUk/>. (date of access: 15.09.2024).
3. Тарик, Р. Создаем нейронную сеть / Р. Тарик. — Москва : Диалектика, 2023. — 272 с.

УДК 004.932.2

**Полкунов К. А.<sup>1</sup>, Чернышов Н.Г.<sup>2</sup>, Магомедов Н.И.<sup>3</sup>, Полушкин М.Ю.<sup>4</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup> e-mail: lenaaks@mail.ru,

<sup>2</sup> e-mail: crems@tstu.ru,

<sup>3</sup> e-mail: islam.magomedov1975@gmail.com,

<sup>3</sup> e-mail: maksim.polushkin@list.ru

## **ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ КВАДРОКОПТЕРОВ**

**Polkunov K. A.<sup>1</sup>, Chernyshov N.G.<sup>2</sup>, Magomedov N.I.<sup>3</sup>, Polushkin M.Yu.<sup>4</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup> e-mail: lenaaks@mail.ru,

<sup>2</sup> e-mail: crems@tstu.ru,

<sup>3</sup> e-mail: islam.magomedov1975@gmail.com,

<sup>3</sup> e-mail: maksim.polushkin@list.ru

## **OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORKS FOR EMBEDDED SYSTEMS USING QUADROCOPTERS**

*Аннотация.* Статья посвящена оптимизации нейронных сетей для встраиваемых систем квадрокоптеров, используемых для обнаружения препятствий. Описаны методы, позволяющие снизить вычислительные затраты при сохранении высокой точности.

*Ключевые слова:* нейронные сети, оптимизация, машинное зрение, YOLOv5, встраиваемые системы, обнаружение препятствий, квантование, легковесные модели, автономные системы.

*Abstract.* The article is devoted to the optimization of neural networks for embedded quadcopter systems used for obstacle detection. Methods are described that allow reducing computational costs while maintaining high accuracy.

*Keywords:* neural networks, optimization, machine vision, YOLOv5, embedded systems, obstacle detection, quantization, lightweight models, autonomous systems.

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), такие как квадрокоптеры, активно применяются в различных сферах, от мониторинга сельского хозяйства до проведения спасательных операций. Одной из задач, стоящих перед этими устройствами, является способность обнаруживать и избегать препятствия в реальном времени. Для решения этой задачи используются системы машинного зрения на основе

нейронных сетей, которые анализируют изображения с камеры и принимают решения по траектории движения квадрокоптера.

Однако большинство современных методов обнаружения объектов требуют значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет их применение на встраиваемых системах, которые ограничены по мощности и объему памяти. В связи с этим возникает необходимость оптимизации нейронных сетей для работы в таких условиях, не снижая их производительности. Цель данной работы — предложить подходы к оптимизации нейронных сетей для систем машинного зрения квадрокоптеров, обеспечивающие высокую точность и скорость обработки при минимальных вычислительных затратах [1].

Основная цель заключается в разработке и внедрении методов оптимизации нейронных сетей для использования в системах машинного зрения квадрокоптеров с ограниченными вычислительными ресурсами. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Определить требования к системам обнаружения объектов на квадрокоптерах и их ограничения по ресурсам.
2. Выбрать эффективные архитектуры нейронных сетей, подходящие для встраиваемых систем.
3. Предложить методы оптимизации этих моделей, позволяющие снизить вычислительные затраты без значительной потери точности.

Обнаружение и избегание препятствий является одной из ключевых задач в области автономного управления квадрокоптерами. Алгоритмы глубокого обучения, такие как YOLOv5, активно применяются для детектирования объектов на изображениях с камер. Однако такие модели, как YOLOv5 и другие крупные архитектуры нейронных сетей, требуют мощных процессоров и значительного объема памяти, что не всегда возможно на встраиваемых системах квадрокоптеров.

Для решения этих проблем применяются облегченные версии моделей, такие как YOLOv5n (nano), YOLOv4-tiny и другие. Эти модели отличаются меньшим количеством параметров и весов, что снижает вычислительную нагрузку, сохраняя при этом приемлемую точность [2].

В основе предложенного метода лежит объединение нескольких техник оптимизации:

1. Использование облегченных моделей нейронных сетей. В данной работе для обнаружения объектов на изображениях была выбрана модель YOLOv5n — облегченная версия YOLOv5, оптимизированная для работы на устройствах с ограниченными ресурсами. В модели YOLOv5n уменьшено количество параметров и сверток, что сокращает требования к вычислительным мощностям [3].
2. Оптимизация разрешения входных данных. Для снижения нагрузки на систему было принято решение уменьшить разрешение входных изображений до 416x416 пикселей и преобразование из цветных в черно-белые. Это позволяет уменьшить объем



данных, поступающих на обработку, и сократить время обработки без значительного влияния на точность модели [3].

3. Квантование и прунинг весов модели. Для дальнейшей оптимизации применяются методы сжатия весов нейронной сети. В частности, квантование весов до 8-битной точности и прунинг (удаление наименее значимых нейронов) позволяет сократить объем памяти, занимаемой моделью, без потерь в качестве распознавания [3].

Одним из примеров оптимизации нейронных сетей для встраиваемых систем является использование облегченных моделей нейронных сетей в проекте Skydio 2 — одном из самых продвинутых коммерческих дронов, способных избегать препятствия в реальном времени.

Skydio 2 оснащен 6 камерами, которые обеспечивают обзор на 360 градусов. Для обработки изображений и обнаружения объектов используется нейронная сеть, оптимизированная для работы на встроенных системах. Чтобы дрон мог работать в режиме реального времени, в проекте Skydio применяются облегченные версии нейронных сетей, специально адаптированные для работы на встроенных процессорах с ограниченными вычислительными мощностями.

Этот квадрокоптер способен распознавать и избегать деревья, здания и другие объекты, без использования дополнительных сенсоров, таких как лидары. Основой его системы являются оптимизированные модели глубокого обучения, обеспечивающие точность и скорость обработки данных с камер в реальном времени.

В данной статье предложен метод оптимизации нейронных сетей для встраиваемых систем квадрокоптеров. Оптимизированные модели могут применяться на квадрокоптерах с ограниченными ресурсами для задач обнаружения и избегания препятствий.

В будущем возможны дополнительные улучшения, такие как использование гибридных моделей и интеграция с другими сенсорами, что позволит повысить автономность и безопасность систем.

#### Список используемых источников

1. Рыжков, И.Б. Основы научных исследований и изобретательства. [Электронный ресурс]: Учебные пособия — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2013. — 224 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/30202> — Загл. с экрана.
2. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
3. Нейрокомпьютеры в системах обработки сигналов / Под ред. Ю.В. Гуляева и А.И. Галушкина. М.: Радиотехника, 2003. 344 с.

УДК 004.8

**Николюкин М. С., Обухов А. Д.**

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: chlppyone@mail.ru

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИГРОВОГО ДВИЖКА UNITY ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Nikolyukin M. S., Obukhov A. D.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: chlppyone@mail.ru

**DEVELOPMENT OF A SIMULATION ENVIRONMENT USING THE UNITY  
GAME ENGINE FOR GENERATING SYNTHETIC DATA AT INDUSTRIAL  
FACILITIES**

*Аннотация.* В статье рассматривается использование имитационных сред для обучения моделей искусственного интеллекта и их внедрения в системы подготовки операторов и СППР на промышленных предприятиях. Описаны преимущества использования игровых движков, таких как Unity, для разработки имитационных сред.

*Ключевые слова:* имитационная среда, искусственный интеллект, Unity, автоматизация.

*Abstract.* The article discusses the use of simulation environments for training artificial intelligence models and their implementation in operator training systems and DSS at industrial enterprises. Describes the benefits of using game engines such as Unity to develop simulation environments.

*Keywords:* simulation environment, artificial intelligence, Unity, automation

Современные промышленные предприятия на сегодняшний день активно внедряют технологии искусственного интеллекта для повышения эффективности и автоматизации своих процессов. Одним из ключевых аспектов успешного внедрения ИИ является его обучение и тестирование в безопасных и контролируемых условиях. Имитационные среды играют важную роль в этом процессе, предоставляя платформу для создания синтетических данных и отработки сценариев, которые могут быть использованы как для обучения моделей ИИ, так и для последующего их внедрения в системы подготовки человека-оператора или в экспертные системы предприятия.

Промышленные предприятия часто сталкиваются с рядом проблем при внедрении ИИ в свои производственные процессы. Они отличаются высокой степенью сложности

и включают многочисленные переменные, которые сложно адекватно смоделировать в условиях реального времени. Это создает предпосылки для возникновения различных ошибок и экономических потерь [1]. Обучение ИИ непосредственно в производственной среде, взаимодействуя с операторами, представляет собой задачу не только технически трудоемкую, но и сопряженную с немалыми рисками. Поэтому создание имитационных сред и платформ, способных воспроизводить производственные процессы и их взаимодействия между собой является актуальной задачей.

Имитационная среда, реализованная на основе игровых движков, представляет собой эффективный инструмент для генерации синтетических данных. Гибкость, а также богатый набор интегрированных средств для моделирования сложных сценариев, делают игровые движки особенно подходящими для разработки виртуальных тренажеров, предназначенных для отработки ручных навыков человека-оператора. Поддержка скриптовых сценариев позволяет использовать движки не только для симуляции работы оборудования, но и для анализа данных и принятия решений на основе полученных результатов непосредственно внутри среды.

Существует несколько популярных игровых движков для реализации имитационной среды. Так, например Unreal Engine позволяет создавать миры с высокой графической детализацией. Это делает его незаменимым в тех случаях, когда визуальная точность, приближенная к реальности становится ключевым требованием. Однако в промышленной симуляции графика должна уступить место производительности и легкой интеграции с внешними системами. Поэтому Unity часто оказывается более предпочтительным выбором. Движок поддерживает интеграцию с системами управления и аналитики, что позволяет увеличить точность моделирования взаимодействия между оборудованием и операторами в виртуальной среде через использование реальных данных, получая данные из внешних систем посредством API [2]. Поддержка скриптовых языков, открывает возможности для автоматизации процессов симуляции. Это позволяет упростить процесс тестирования и обучения моделей ИИ.

Примером применения имитационной среды может служить виртуальная модель складского комплекса, где моделируются все возможные складские бизнес-процессы. Имитационная среда, представленная на рисунках 1-2 предоставляет возможность генерировать синтетические данные для обучения моделей искусственного интеллекта, а также тестировать алгоритмы управления в разнообразных сценариях, включая нестандартные и аварийные ситуации. Модели, прошедшие обучение в таких виртуальных условиях, могут быть впоследствии интегрированы в системы поддержки принятия решений на предприятия, где они будут способствовать принятию обоснованных решений и автоматизации реальных производственных процессов.



Рис. 1. Использование имитационной среды



Рис. 2. Использование имитационной среды

Использование игрового движка Unity в данной ситуации показало высокую эффективность благодаря его производительности и возможности оптимизации решения для различных аппаратных платформ. К примеру, симуляции могут работать как на мощных серверах, так и на мобильных устройствах. Виртуальные тренажёры, созданные на основе игрового движка, предоставляют операторам возможность безопасно оттачивать основные навыки работы в рамках производства [3]. Моделирование сложных производственных сценариев без угрозы для реальных процессов, что особенно важно при подготовке к работе с критически важным оборудованием, где ошибки могут иметь серьёзные последствия [4].

Таким образом, использование имитационных сред становится важным элементом цифровой трансформации производства, способствуя автоматизации процессов и повышению их эффективности на всех уровнях предприятия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005)*

#### Список использованных источников

1. Астафуров А. С. Влияние внедрения машинного обучения на производительность компании в эпоху цифровой трансформации / А. С. Астафуров, Е. А. Чепкасова // Мировые естественно-научные исследования современности. Технический прогресс. – 2023. – С. 22-23.
2. S. Specifying the Virtual Reality Approach in Mobile Gaming Using Unity Game Engine / S. Avinash // International Conference on Emerging Trends in Expert Applications & Security. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. – P. 289-300.
3. Николюкин М. С., Обухов А. Д. Структурная модель системы управления складским комплексом с интеграцией подсистемы подготовки в виртуальной реальности // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – №. 1. – С. 128-138.
4. Обухов А. Д. Оптимизация систем отслеживания человека в виртуальной реальности на основе нейросетевого подхода / А. Д. Обухов, Д. В. Теселкин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23. – № 4. – С. 786-794.

УДК 004.01

**Николюкин М. С., Недосып Н. С., Архипов А. Е.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: ch1pppyone@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И  
АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Nikolyukin M. S., Nedosyp N. S., Arkhipov A. E.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: ch1pppyone@mail.ru

**APPLICATION OF COMPUTER VISION FOR MONITORING AND ANALYSIS OF  
PROCESSES AT INDUSTRIAL SITES**

*Аннотация.* Статья рассматривает использование алгоритмов компьютерного зрения для мониторинга и анализа процессов на промышленных объектах. Особое внимание уделяется выбору алгоритма YOLO как наиболее эффективного для детекции объектов в реальном времени. Приведён процесс внедрения и ожидаемые результаты использования системы для автоматизации процессов.

*Ключевые слова:* компьютерное зрение, мониторинг, алгоритм YOLO, автоматизация

*Abstract.* The article explores the use of computer vision algorithms for monitoring and analyzing processes at industrial sites. Special attention is given to YOLO, which is chosen for its real-time object detection efficiency. The implementation process and expected outcomes of the system for process automation are discussed.

*Keywords:* computer vision, monitoring, YOLO algorithm, automation

На сегодняшний день все больше промышленных объектов активно внедряет технологии компьютерного зрения для автоматизации мониторинга и анализа производственных процессов. Одним из ключевых направлений является применение компьютерного зрения для автоматического выявления таких ситуаций, как ошибочные действия операторов или нарушения техники безопасности, что способствует повышению эффективности работы и снижению рисков возникновения аварийных ситуаций. Одним из главных факторов успешного внедрения данных технологий является выбор оптимального алгоритма, который обеспечит высокую точность, быструю обработку данных и адаптацию к различным сценариям.

При выборе алгоритма для решения описанных выше проблем основное внимание уделяется скорости обработки данных, возможности работы в реальном времени и точности распознавания объектов. Среди популярных подходов как правило обычно используются алгоритмы YOLO, MediaPipe и MoveNet.

Алгоритм YOLO (You Only Look Once) обеспечивает высокую скорость обработки данных, а также возможность определять на кадре сразу несколько объектов одновременно. Поэтому он идеально подходит для мониторинга процессов на крупных промышленных объектах, где требуется одновременный контроль работы оборудования и действий сотрудников. YOLO также отличается высокой точностью, что позволяет эффективно решать широкий спектр задач в промышленных условиях. MediaPipe и MoveNet больше ориентированы на отслеживание движений человека, что также делает их полезными для контроля действий персонала. MediaPipe позволяет анализировать позы человека, что позволяет оценивать правильность выполнения рабочих операций. MoveNet обеспечивает детальное отслеживание движений в реальном времени. Однако для общего мониторинга производственных процессов они менее гибкие и масштабируемые по сравнению с YOLO. Поэтому для решения задачи мониторинга процессов на промышленном объекте был выбран алгоритм YOLO. Он обеспечивает оптимальный баланс между скоростью и точностью, а также позволяет легко интегрировать его с существующими системами видеонаблюдения, что делает его подходящим для работы в условиях реального производства.

Для работы YOLO необходимо использовать камеры видеонаблюдения на ключевых участках объекта и обеспечить сбор видеоданных с них, на которых в дальнейшем будет обучаться модель. Подготовка обучающей выборки данных здесь играет важную роль. Выборка может включать как данные реальных сценариев, полученные с использованием видеонаблюдения, так и синтетические данные сценариев, созданных в специализированной имитационной среде для симуляции различных условий, в том числе аварийных ситуаций, которые в реальности воспроизвести сложно без экономических потерь. Важно также обеспечить распознавание объектов в сложных и непредсказуемых обстоятельствах, что в перспективе повысит её устойчивость и адаптивность к реальным производственным процессам.

После обучения модель будет способна распознавать производственные объекты (оборудование, транспортные средства и персонал), что позволит оперативно реагировать на возникающие отклонения при интеграции с СППР.

Интеграция модели в производственную систему предполагает её непосредственное подключение к процессам мониторинга, где она в реальном времени анализирует данные и при обнаружении отклонений немедленно сигнализирует операторам для принятия корректирующих мер.

На рисунке 1 представлен процесс использования обученной модели для мониторинга.

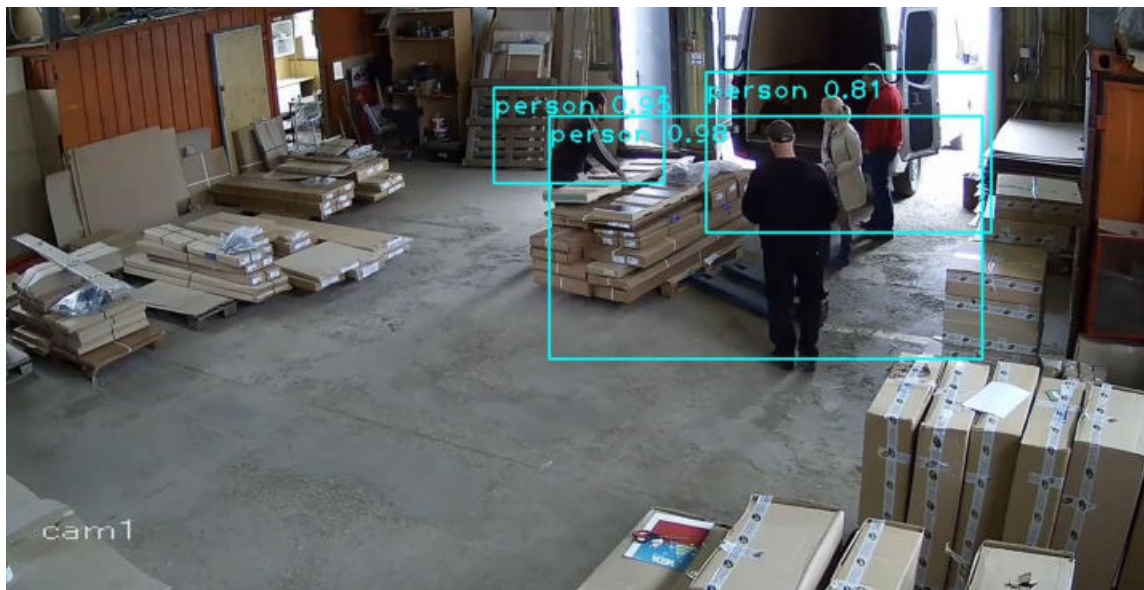


Рис. 1. Использование обученной модели на основе YOLO

Внедрение компьютерного зрения на базе алгоритма YOLO для мониторинга промышленных объектов позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы, оптимизировать работу оборудования и повышать безопасность производства. В долгосрочной перспективе такая система существенно снижает риск аварийных ситуаций, снижает необходимость в ручном мониторинге, что приводит к повышению производительности и снижению экономических потерь.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10057.*

#### Список использованных источников

1. Калинин Н. В. Компьютерное зрение в сельскохозяйственном производстве / Н. В. Калинин // Цифровые технологии в науке, образовании и производстве. – 2022. – С. 34-35.
2. Jiang P. A Review of Yolo algorithm developments / P. Jiang // Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 199. – Р. 1066-1073.
3. Лопухов С. А. Применение машинного обучения в компьютерном зрении / С. А. Лопухов, Ф. А. Зубарев // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов». – 2021. – С. 211-215.



# Секция

## ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН



УДК 004.424

**Шубин Я.С.<sup>1</sup>, Глебов. А.О.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup> e-mail: yarr84@mail.ru

<sup>2</sup> e-mail: glebov.alex@inbox.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ-ШАБЛОНОВ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

**Shubin Y.S.<sup>1</sup>, Glebov A.O.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup> e-mail: yarr84@mail.ru

<sup>2</sup> e-mail: glebov.alex@inbox.ru

## **APPLICATION OF CONTROL PROGRAMS-TEMPLATES FOR CNC MACHINES**

*Аннотация.* В работе описывается перспективная методика и средства разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением – программ-шаблонов, а также преимущества их применения на примере изготовления прямозубого цилиндрического зубчатого колеса.

*Ключевые слова:* станки с ЧПУ, управляющая программа, программа-шаблон, интенсификация, зубчатое колесо.

*Abstract.* The article presents promising method and tools of CNC Machines control programs development as program-templates and demonstration advantages of using it by producing cylindrical gears example.

*Keywords:* CNC machine, control program, program-template, intensification, cylindrical gear.

В документе о стратегии экономической безопасности Президент России Владимир Владимирович Путин указал, в числе прочих, основными задачами по обеспечению устойчивого роста реального сектора экономики комплексную модернизацию производственно-технологической базы и повышение производительности труда, ресурсо- и энергоэффективности производственных процессов [1].

В машиностроении модернизация немислима без применения станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Необходимым условием их работы является управляющая программа (УП). УП – результат работы высококвалифицированного инженера, оперирующего сложными и дорогостоящими средствами разработки.

Методики, позволяющие повысить качество, уменьшить сроки и снизить издержки разработки управляющих программ, трудно переоценить.

В процессе разработки управляющих программ инженер-технолог-программист производит декомпозицию производства детали на отдельные операции и описывает их языком, понятным оборудованию (G-code). При этом он опирается на CAD/CAM-системы. CAD-системой (КОМПАС, AutoCAD и др.) создается модель (чертеж для простых двумерных задач), CAM-системой (NX, Fusion 360 и др.) генерируется управляющая программа для станка с ЧПУ на основании заданных технологических операций, переходов и режимов работы. Для каждой новой детали, даже того же типа, разработку необходимо осуществлять заново [2].

Рассмотрим в качестве примера изготовление цилиндрического зубчатого колеса. Узкоспециализированное зуборезное оборудование и инструмент применяются, как правило, только профильными организациями при крупносерийном производстве. Производство прецизионных шестерен добавляет в техпроцесс профильное шлифование. Альтернативный подход заключается в изготовлении зубчатого колеса на 4-осевом фрезерном станке под управлением системы FANUC 0iMD. Дополнительная ось – поворотный стол.

Создание управляющей программы обработки традиционным способом включает в себя генерацию 3D-модели и работу с ней в САМ-системе. Предлагаем другое решение задачи, а именно разработку программы-шаблона. Благодаря тому, что современные системы ЧПУ обладают возможностями макропрограммирования [3], т.е. оперирования переменными величинами, набором арифметических и логических функций, безусловными и условными переходами, такое решение возможно. На выходе имеем особым образом оформленную управляющую программу (макропрограмму) в понятном для системы управления формате, готовую как к самостоятельному функционированию на станке, так и встраиванию в более объемный техпроцесс. Отличительной особенностью макропрограммы от подпрограммы, например, является возможность передачи аргументов в нее. Такие исходные данные, как ширина венца, количество зубьев, модуль будут заданы посредством аргументов. Геометрические зависимости для формирования зубьев формализованы и регламентированы государственным стандартом [4], т.е. имеются формулы, с помощью которых макропрограмма при работе вычислит координаты движения инструмента для формирования зубьев цилиндрической шестерни (см. рис. 1).

Применение программы-шаблона в описанном примере – позволяет организовать изготовление класса деталей на довольно распространенном, неспециализированном оборудовании обычным инструментом (концевыми фрезами). Чистовой проход программы-шаблона заменит профильное шлифование, требующее оборудования, инструмента, специалиста.

Макропрограммирование обладает следующими преимуществами:

- значительное уменьшение объема УП;
- уменьшение количества возможных ошибок вследствие уменьшения объема УП;

- легкость анализа и правок;
- расширение спектра применяемого оборудования (с малым объемом памяти);
- возможность использования УП в качестве шаблона.



Рис. 1. Траектории движения инструмента при обработке по программе-шаблону

Для изготовления детали того же типа, прямозубой цилиндрической шестерни другого модуля, другого количества зубьев, отличной ширины венца, достаточно изменить входные параметры программы-шаблона. А интенсификацию и определяют, как реализацию мероприятий, имеющих своим результатом экономию совокупности применяемых ресурсов на единицу продукции [5].

Программа-шаблон – решение, применимое везде, где форма обрабатываемой поверхности формализуема. Данный метод разработки управляющей программы для станков с ЧПУ успешно применяется в повседневной работе на участке станков с ЧПУ фрезерной группы HWACHEON VESTA-1000 АО «ТЗ «Октябрь».

#### Список использованных источников

1. Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. N 208 "О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года".
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
3. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии. [Текст] : ГОСТ 16532-70. - Издательство стандартов, М. ; Переиздание. Август 1983 г. ; введ. 01.01.72.
4. Fanuc series 0i -ModelD. Общее для системы токарного станка и системы многоцелевого станка руководство по эксплуатации. [Тех. документация] : В-64304RU\_02-0iD. - с.183.
5. Павлов К.В. Интенсификация производства в условиях неопределенности экономической среды: Автореферат дисс. докт. эк. наук. СПб., ИСЭП, 1993.

УДК 004.9

**Мокрозуб В.Г.<sup>1</sup>, Полянский А.В.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: alexanderpolyanskiy@mail.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ТИПА КРИСТАЛЛИЗАТОРА**

**Mokrozub V.G.<sup>1</sup>, Polyanskiy A.V.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru

<sup>2</sup>e-mail: alexanderpolyanskiy@mail.ru

## **AUTOMATION OF SELECTIONTYPE OF CRYSTALLIZER**

*Аннотация.* Представлена диаграмма активности выбора типа аппарата для изогидрической и изотермической кристаллизации, предназначенная для разработки автоматизированной системы проектирования кристаллизаторов.

*Ключевые слова:* автоматизация, кристаллизатор, информационные технологии, химическое машиностроение.

*Abstract.* A diagram of the activity of selecting the type of apparatus for isohydric and isothermal crystallization is presented, designed to develop an automated system for designing crystallizers.

*Keywords:* automation, crystallizer, information technology, chemical engineering.

Процессы кристаллизации широко используются в химической, фармацевтической и пищевой промышленности, а также в производство материалов (полупроводниковых, оптических, пьезоэлектрических и других), пленок и металлических покрытий.

Кристаллизация возможна только в случае, когда раствор, расплав или пар пересыщены, так как пересыщенные среды неустойчивы и избыток вещества выпадает в осадок. Обычно пересыщенные среды получают путём охлаждения. Насыщенный раствор, который образуется после процесса кристаллизации, называется маточным.

В зависимости от способа получения пересыщенного раствора, кристаллизация бывает следующих видов [1]:

- изогидрическая кристаллизация;
- изотермическая кристаллизация;
- высаливание;

- кристаллизация путём применения реагентов;
- вымораживание.

Изогидрическая кристаллизация применяется для веществ, которые намного лучше растворяются при повышенных температурах, чем при пониженных. Осуществляется она охлаждением раствора.

Изотермическая кристаллизация осуществляется за счет повышения концентрации раствора за счет испарения, которое может происходить как при интенсивном кипении, так и при поверхностном испарении.

Высаливание характеризуется добавлением в раствор веществ, уменьшающих растворимость кристаллизуемого вещества.

Применение реагентов для кристаллизации приводит к химической реакции и получению нерастворимого продукта.

При вымораживании кристаллизуется не соль, а растворитель. Например вода превращается в лед и раствор становится насыщенным.

Аппараты, с помощью которых получают кристаллы, называются кристаллизаторами. В данной работе рассматривается выбор типа аппарата для изогидрической и изотермической кристаллизации.

В зависимости от типа кристаллизации, можно выделить следующие конструкции кристаллизаторов.

Аппараты для изогидрической кристаллизации:

- непрерывного действия;
- периодического действия;
- вакуум-кристаллизаторы.

Аппараты для изотермической кристаллизации:

- с естественной циркуляцией;
- с принудительной циркуляцией.

Если кристаллизуемое вещество обладает прямой растворимостью, то для его кристаллизации применяются аппараты для изогидрической кристаллизации. Если же вещество обладает обратной растворимостью, или же растворимость не меняется с изменением температуры – его кристаллизуют в аппаратах для изотермической кристаллизации.

Выбор типа кристаллизатора зависит от множества факторов:

- свойства вещества. Некоторые виды веществ требуют особые условия кристаллизации, например, высокие температуры или давление. Для кристаллизации таких веществ требуются аппараты, способные выдерживать высокие температуры или давление;
- требуемые формы и размеры полученных кристаллов. Разные типы кристаллизаторов позволяют получать определённые формы и размеры кристаллов;
- скорость кристаллизации. Разные типы кристаллизаторов обеспечивают различную скорость роста кристаллов;

- объёмы производств. Кристаллизаторы непрерывного действия позволяют производить кристаллизацию без необходимости останавливать аппарат для загрузки раствора, в отличие от кристаллизаторов периодического действия. Так же необходимо обратить внимание на размеры кристаллизатора;
- экономическая составляющая. На выбор типа кристаллизатора могут повлиять его стоимость, стоимость обслуживания и эксплуатации;
- безопасность. Для работы с некоторыми веществами (например, со взрывчатыми) кристаллизаторы должны оснащаться дополнительными устройствами, обеспечивающих безопасность персонала при работе с такими веществами;
- возможность автоматизации. Автоматизация кристаллизаторов позволяет сократить трудозатраты и использовать для эксплуатации аппаратов меньшее число сотрудников;
- простота обслуживания и ремонта. Простота обслуживания и ремонта позволяет сократить расходы на содержание кристаллизатора и уменьшить время его простоя.

На рис. 1 изображена разработанная диаграмма активности выбора изотермических кристаллизаторов, на рисунке 2 – выбора изогидрических кристаллизаторов.

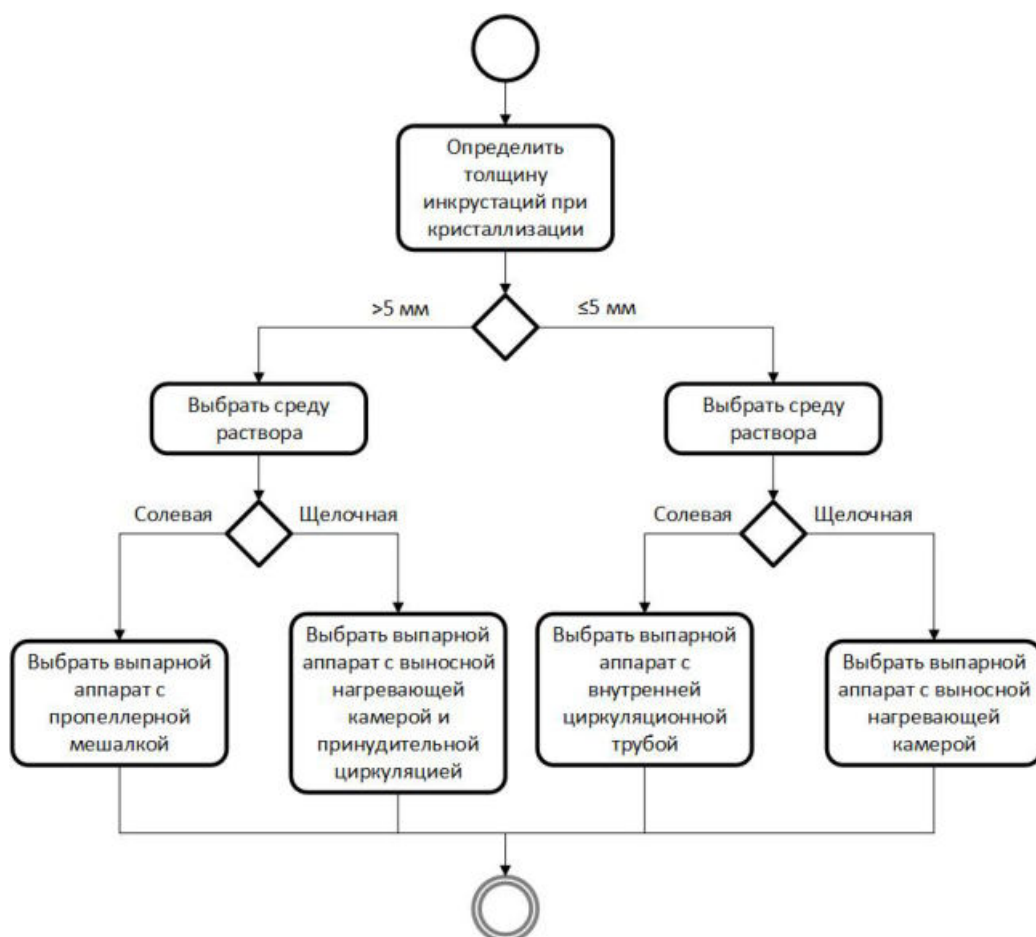


Рис. 1. Диаграмма активности выбора изотермических кристаллизаторов

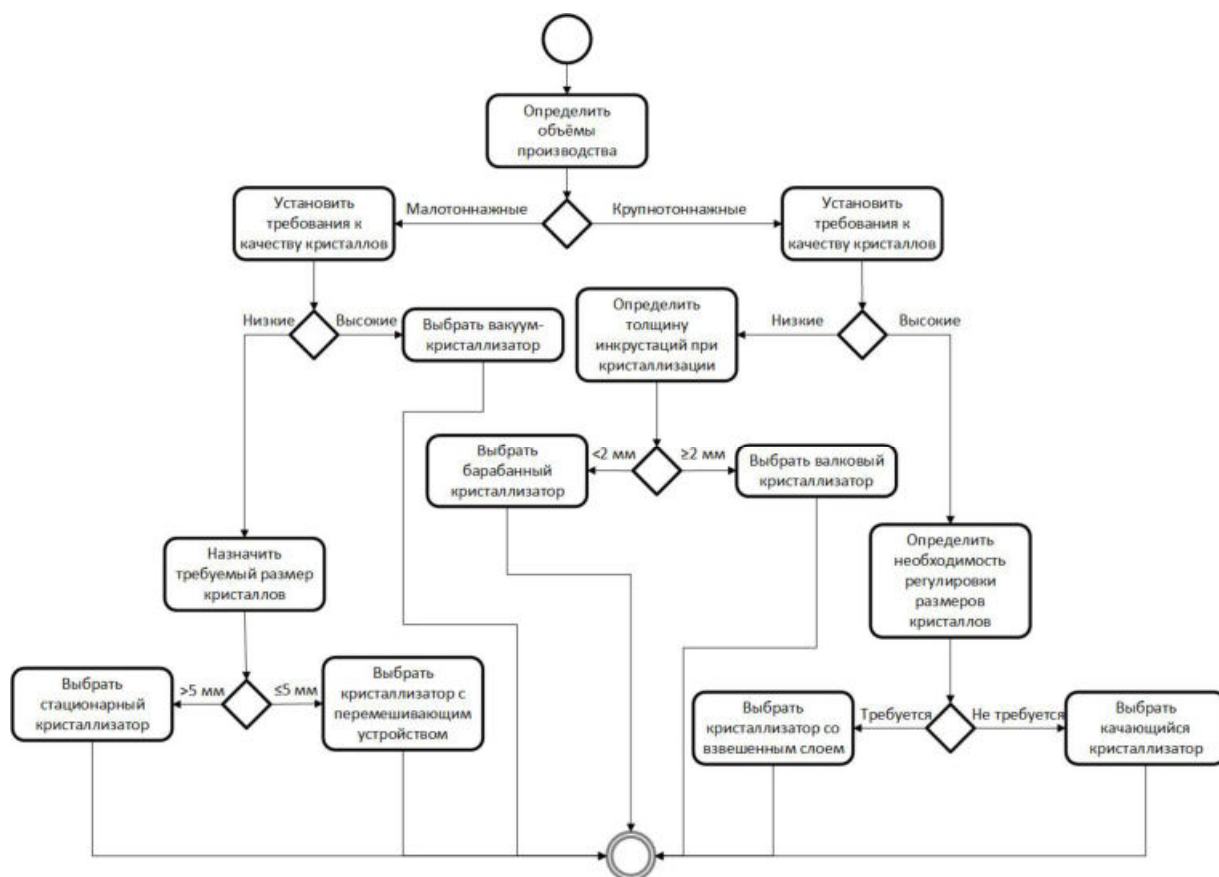


Рис. 2. Диаграмма активности выбора изогидрических кристаллизаторов

Описанные в работе алгоритмы выбора типа кристаллизатора предполагается реализовать в среде редактора онтологий Protégé и использовать в виртуальной образовательной среде [2-4].

#### Список использованных источников

1. Скобло, А.И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Скобло, И.А.Трегубова, Ю.К. Молоканов. – М.: ООО «НедраБизнесцентр», 2000. – 677с.
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
3. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, В. В. Морозов, Ю. В. Немтинова // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. – DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113. – EDN AIOTFA.
4. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, В. В. Морозов, Ю. В. Немтинова // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. – DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113. – EDN AIOTFA.



УДК 624.396

**Матрохин М.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: snakerm@yandex.ru

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛЕЙ НАСЫПЬЮ**

**Matrokhin M.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: snakerm@yandex.ru

### **IMPROVING THE DESIGN OF A MULTIFUNCTIONAL GALVANIC INSTALLATION USING THE EXAMPLE OF BULK PARTS**

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы совершенствования конструкции многофункциональной гальванической установки на примере деталей насыпью для реализации серии технологических процессов: кадмирование, цинкование, серебрение, латунирование, никелирование. Предложена технология гальванического покрытия мелких деталей черных металлов в насыпном виде, проведены расчеты по определению размеров конструктивных элементов установки.

*Ключевые слова:* многофункциональная установка гальванического покрытия мелких деталей черных металлов в насыпном виде, конструкторская разработка, технологические процессы: кадмирование, цинкование, серебрение, латунирование, никелирование.

*Abstract.* The issues of improving the design of a multifunctional galvanic installation are considered on the example of bulk parts for the implementation of a series of technological processes: cadmium plating, galvanizing, silvering, latuning, nickel plating. The technology of electroplating small ferrous metal parts in bulk is proposed, calculations are carried out to determine the dimensions of the structural elements of the installation.

*Keywords:* multifunctional installation of electroplating of small ferrous metal parts in bulk, design development, technological processes: cadmium plating, galvanizing, silvering, latuning, nickel plating.

Одной из основных научных проблем при проведении гальванических процессов является проблема оптимального выбора типа защитных покрытий изделий из различных металлов, а также проектирования оборудования для их реализации.

Перспективные технологии и разработки позволяют найти оптимальные варианты технологических процессов и конструкции установок их

реализующие. Дальнейший прогресс в этой области связан с оптимизацией и автоматизацией существующих процедур выбора оптимального варианта обработки, совершенствованием технологии, использованием перспективного оборудования [1 – 4].

В связи с этим весьма актуальными представляются вопросы, связанные с разработкой многофункциональной установки на примере деталей насыпью, реализующей целую серию технологических процессов гальванического покрытия: кадмирование, цинкование, серебрение, латунирование, никелирование системы поддержки принятия решений при определении параметров многофункциональной гальванической установки на примере деталей насыпью.

Установка гальванического покрытия мелких деталей черных металлов в насыпном виде совмещает в себе гальваническую ванну со встроенным вращающимся барабаном, вентиляцией, выдвижным лотком, блоком электрических нагревателей, датчиками температуры и уровня, электромонтажным коробом и механизмом поднятия барабана для выгрузки [5 - 7].

Автором разработана электронная модель установки. Общий 3D-вид модели установки сзади приведен на рис. 1, на рис. 2 - 3D-вид установки с поднятым барабаном.

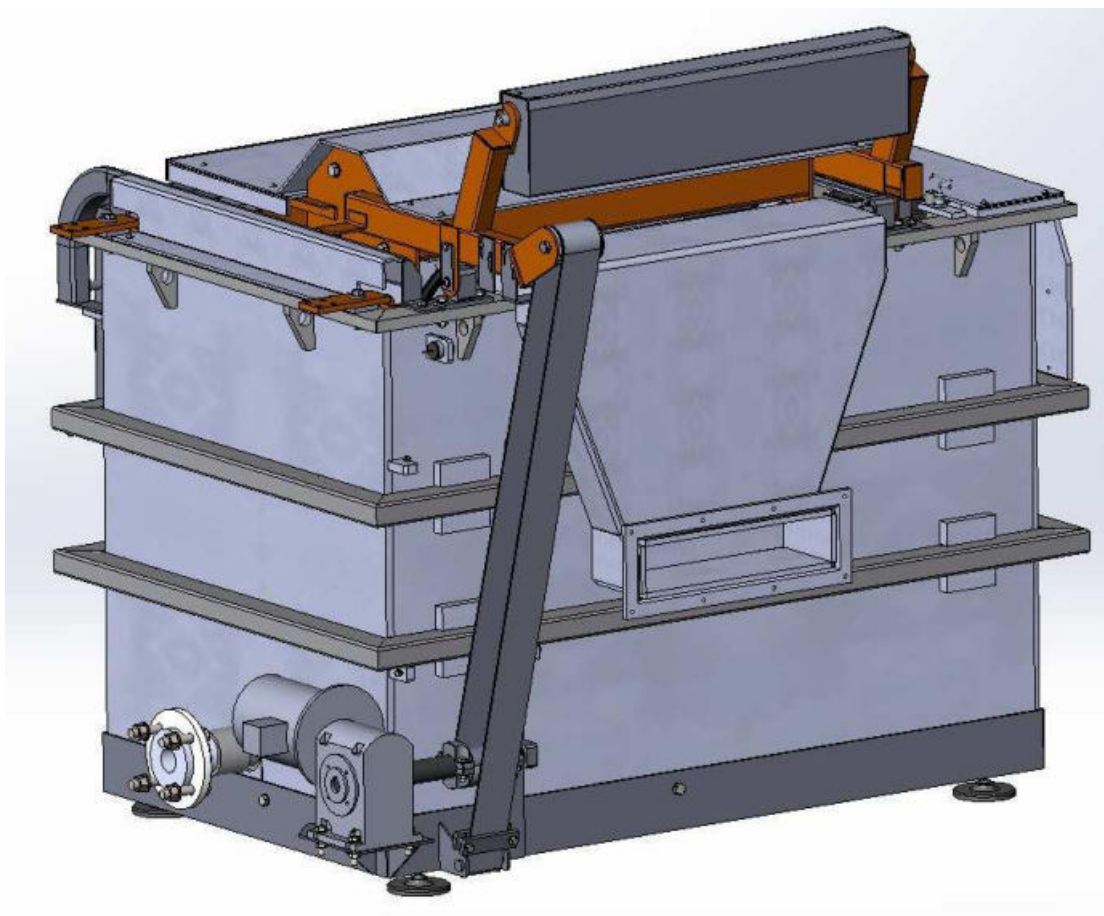


Рис. 1. 3D-вид установки сзади

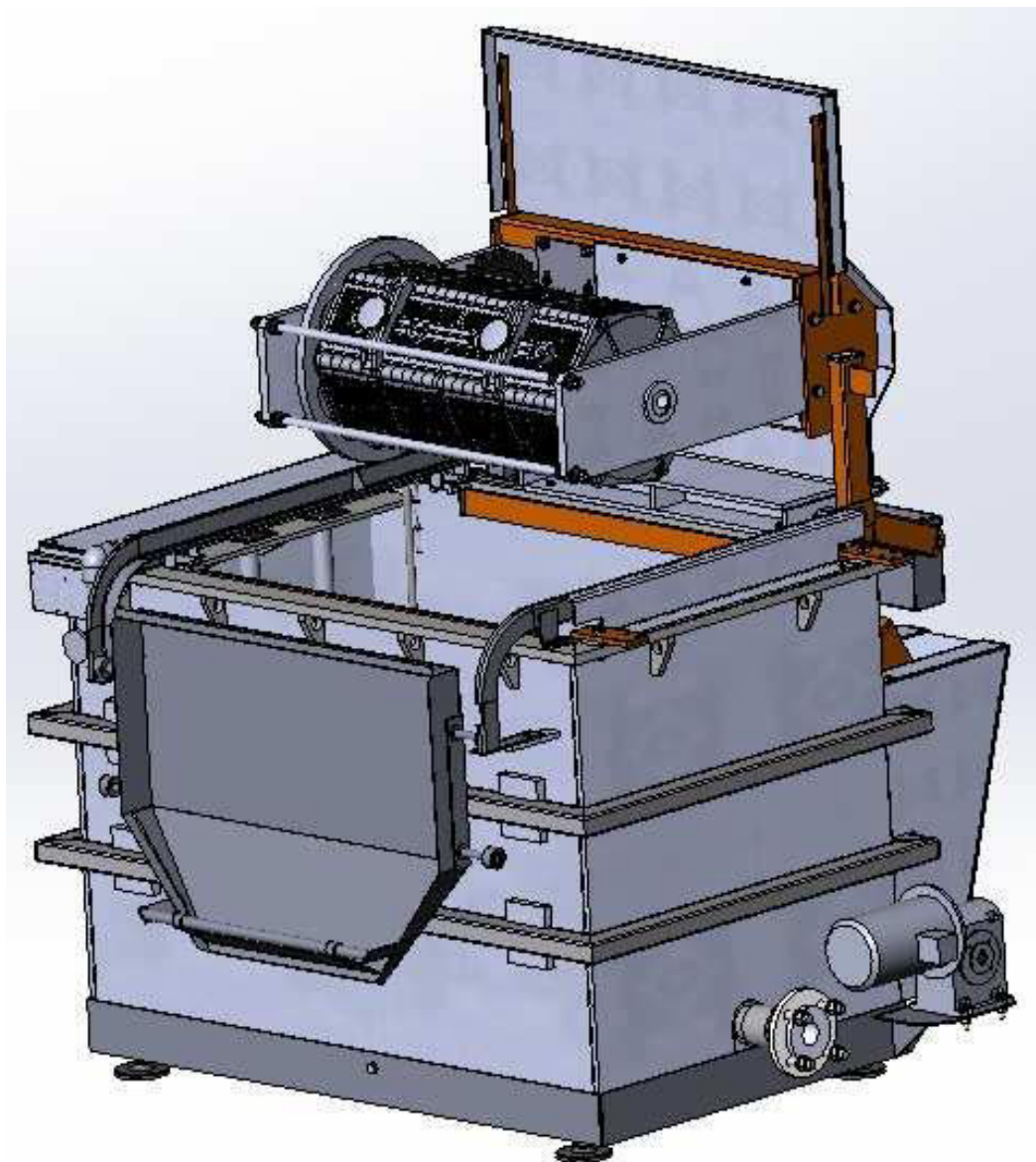


Рис. 2. 3D-вид установки с поднятым барабаном

При совершенствовании конструкции установки рассмотрены изменения ручного подъёма барабана пневматическим или гидравлическим механизмами подъёма.

Принцип подъёма барабана электроприводом заключается в процессе намотки ремня передачи на бобину по команде оператора, нажатием кнопки «подъём» на пульте стационарного блока, установленного на корпусе установки или отдельном шкафу управления [8 – 9].

На производственной базе АО «ТАГАТ» им. С.И. Лившица изготовлен экспериментальный образец установки, реализующей технологические процессы: кадмирование, цинкование, серебрение, латунирование, никелирование. Опытная эксплуатация установки была проведена при производстве нескольких партий мелких деталей разнообразной формы.

Испытания деталей антикоррозионной обработки, покрытие которых было выполнено с использованием установки гальванического покрытия мелких деталей черных металлов в насыпном виде, стойкость к разнообразным агрессивным средам, показали хорошие результаты.

#### Список использованных источников

1. Ильин, В.А Цинкование, кадмирование, оловянирование и свинцевание. Изд. 5-е, перераб. и доп. / В.А. Ильин – Л.: Машиностроение, 1983. – 87 с.
2. Окулов, В.В. Цинкование. Техника и технология / В.В. Окулов – М.: Глобус, 2008. – 252 с.
3. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
4. Nemtinov, V. Automation of the early stages of plating lines design / V. Nemtinov, N. Bolshakov, Y. Nemtinova // MATEC Web of Conferences, Sevastopol, 11–15 сентября 2017 года. Vol. 129. – Sevastopol: EDP Sciences, 2017. – P. 01012. – DOI 10.1051/mateconf/201712901012. – EDN XNPPUC.
5. Analysis of design solutions for galvanizing of small parts of ferrous metals in bulk / V. Nemtinov, M. Matrochin, Y. Nemtinova, A. Krylov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года. – Sevastopol, 2020. – P. 022013. – DOI 10.1088/1757-899X/971/2/022013. – EDN FHHQNU.
6. Санников, С. А. Системный анализ процесса проектирования линий для электрохимической и химической обработки деталей / С. А. Санников, В. Г. Мокрозуб, М. С. Калистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 6-16. – DOI 10.17277/vestnik.2023.01.pp.006-016. – EDN IUUWBD.
7. Nemtinov, V. Design development of technological complex for friction welding of thin-walled products made of armlen / V. Nemtinov, V. Sergeev, Y. Nemtinova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 709, 3, Issue 2. – Sevastopol: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 033072. – DOI 10.1088/1757-899X/709/3/033072. – EDN NKSBWD.
8. Modernization of a Chemical Nickeling Unit for Metal Products / A. Borisenko, V. Khramtsov, V. Nemtinov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 346. – P. 01027. – DOI 10.1051/mateconf/202134601027. – EDN GARFNJ.
9. Матрохин, М. А. Информационная поддержка принятия решений по выбору вида погружного барабана в установке гальванического покрытия деталей в насыпном виде / М. А. Матрохин, В. А. Немтинов, С. Я. Егоров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 53-65. – DOI 10.17277/vestnik.2024.01.pp.053-065. – EDN OIUPVU.

УДК 66.081.6

**Коновалов Д. Н., Лазарев С. И., Коновалов Д. Д., Малин П. М.**  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ**

**Konovалov D. N., Lazarev S. I., Konovалov D. D., Malin P. M.**  
Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: kdn1979dom@mail.ru

## **TECHNOLOGICAL DESIGN OF MINERAL FERTILIZER PRODUCTION USING MEMBRANE SEPARATION METHODS**

*Аннотация.* В работе представлена модернизированная технологическая схема производства гранулированного нитрата аммония (аммиачной селитры) безупарочным методом, представляющая собой внедрение комплекса мембранных аппаратов, обеспечивающих на конечном этапе очистки конденсата сокового пара возврат концентрата в процесс основного производства, а очищенная вода может быть использована для технических нужд.

*Ключевые слова:* мембрана, конденсат, разделение, аппарат, процесс.

*Abstract.* The work presents a modernized technological scheme for the production of granulated ammonium nitrate (ammonium nitrate) using a non-evaporation method, which represents the introduction of a complex of membrane devices that ensure, at the final stage of purification of juice steam condensate, the return of the concentrate to the main production process, and the purified water can be used for technical needs.

*Key words:* membrane, condensate, separation, apparatus, process.

Одной из актуальных задач в производствах минеральных удобрений, синтезируемого топлива, гальванопокрытий на сегодняшний день является разделение технологических растворов и стоков, образующихся в процессах основного производства. Разработанные технологические схемы, требующие постоянной модернизации и совершенствования, не позволяют сохранить ценные компоненты, сбрасываемые в водный бассейн страны. Высокоэффективными методами очистки и концентрирования технологических растворов и сточных вод промышленных предприятий являются мембранные [1–5], получившие в последнее время все большее распространение. Подобные технологии в процессе основного производства могут сохранить важные заряженные частицы (ионы), в том числе в виде подкисленных и подщелоченных растворов, и вернуть их в основной производственный процесс. Помимо этого осуществляется получение очищенной воды, используемой для



технических нужд. Однако разработка и внедрение мембранных аппаратов [6–8] является сложной задачей, в связи с тем, что многокомпонентные технологические растворы требуют большого количества экспериментальных исследований для правильного подбора основных рабочих элементов (мембран). Это сдерживающий фактор по повсеместному внедрению модернизированного технологического оформления различных производств. Тем не менее, работы по изучению мембранных процессов необходимо проводить.

На рис. 1 представлена модернизированная технологическая схема производства гранулированного нитрата аммония (аммиачной селитры) безупарочным методом [9].

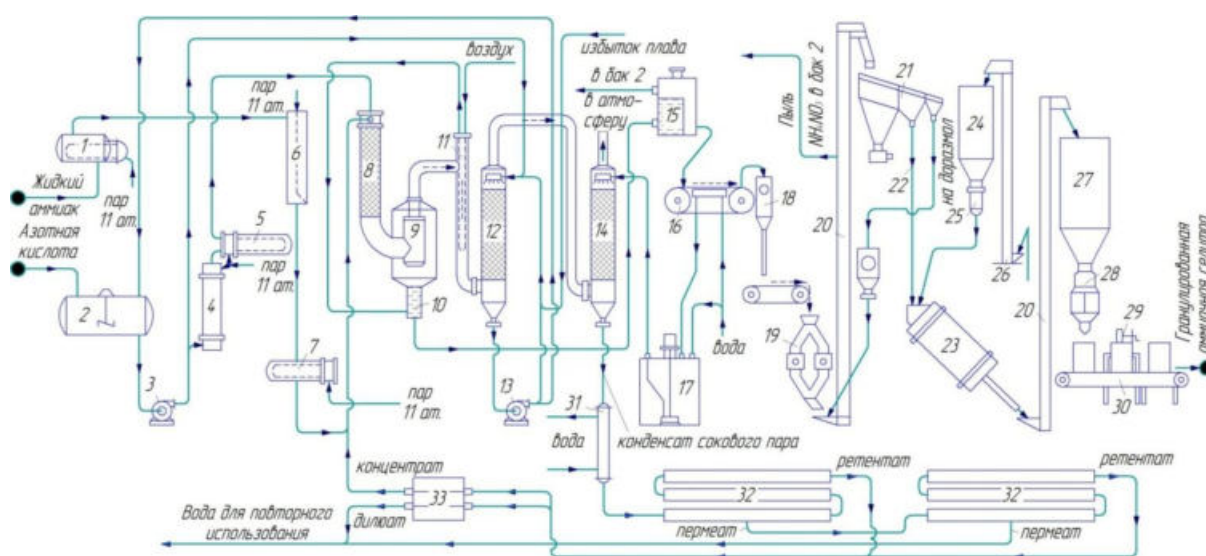


Рис. 1. Модернизированная технологическая схема производства гранулированного нитрата аммония безупарочным методом [9] с применением мембранных аппаратов: 1 - испаритель аммиака; 2 - бак азотной кислоты; 3 - насос для перекачки азотной кислоты; 4 - подогреватель азотной кислоты; 5 - нагреватель азотной кислоты; 6 и 7 - нагреватели аммиака; 8 - реактор (нейтрализатор); 9 - центробежный сепаратор; 10 - скруббер для продувки плава воздухом; 11 - нагреватель продувочного воздуха и конденсатор сокового пара; 12 - скруббер для улавливания  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{NH}_3$  из сокового пара; 13 - насос для циркуляции раствора, орошающего скруббер; 14 - конденсатор для конечной конденсации соковых паров; 15 - распределительный бачок для плава; 16 - кристаллизатор - охлаждаемая водой лента; 17 - бак - сборник воды после охлаждаемой ленты и питатель для орошения скруббера; 18 - размольное устройство; 19 - дисковый питатель; 20 - элеватор; 21 - вибрационные сита; 22 - готовый продукт, поступающий на припудривание; 23 - барабан для припудривания; 24 - бункер для атомизированной земли; 25 - питатель; 26 - устройства для подготовки атомизированной земли; 27 - бункер для готового продукта; 28 - весы; 29 - зашивочная машина; 30 - транспортер; 31 - охладитель конденсата; 32 - баромембранный аппарат; 33 - электродиализатор

Модернизация технологической схемы представляет собой внедрение комплекса мембранных аппаратов, обеспечивающих на конечном этапе очистки конденсата сокового пара возврат концентрата в процесс основного производства, а очищенная вода может быть использована для технических нужд.

Способ получения аммиачной селитры, известный как способ Стенгеля, реализован в промышленном масштабе в США. Он основан на быстром взаимодействии в реакторе предварительно подогретых в теплообменниках 58%-ой азотной кислоты и аммиака. Отделенный от паро-газовой смеси в сепараторе плав  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  стекает в аппарат, предназначенный для продувки плава воздухом с целью уменьшения содержания в нем влаги от 2 до 0,2%. Плав после продувки его воздухом имеет температуру 193-205°C. Затем его направляют на кристаллизацию, которая происходит на наружной поверхности движущейся, изнутри охлаждаемой водой, ленты из нержавеющей стали (ленточный кристаллизатор), или в грануляционной башне [9].

Преимуществом метода Стенгеля является уменьшение капитальных затрат при строительстве цехов аммиачной селитры, поскольку отпадает необходимость сооружения выпарных установок. Кроме того, удельный объем реактор-нейтрализатора здесь в 10-16 раз меньше, чем при использовании аппаратов ИТН. Однако при работе по безупрочному методу потери аммиачной селитры и азотной кислоты несколько больше вследствие высокой температуры в зоне реакции (выше 205°C), что способствует их разложению. Для уменьшения этих потерь соковый пар из сепаратора подвергают тщательной промывке азотной кислотой в двух последовательно установленных скрубберах, что усложняет схему. На 1 т аммиачной селитры расходуется 0,221 т аммиака и 0,820 т азотной кислоты (100%) [9].

После тщательно промывки сокового пара азотной кислотой в скрубберах 10 и 12 из конденсатора для конечной конденсации соковых паров 14 конденсат поступает в охладитель 31 для понижения температуры раствора до рабочей температуры мембран и затем направляется в нанофильтрационный (баромембранный) аппарат 32 трубчатого типа первой степени очистки.

Пермеат после первой стадии разделения, образованный в баромембранном (нанофильтрационном) аппарате 32, поступает на вторую степень очистки во второй баромембранный (нанофильтрационный) аппарат 32 трубчатого типа, где происходит аналогичное разделение.

Ретентат после первого и второго баромембранного аппарата 32 направляется на следующую стадию обработки в электродиализатор 33 [10], в котором происходит разделение раствора на концентрат и дилюат, при этом концентрат возвращается в реактор (нейтрализатор) 8 на повторное использование в процессе производства нитрата аммония, а дилюат, объединяясь с пермеатом после второго баромембранного аппарата 32 используется в виде очищенной технической воды, обедненной растворенными компонентами и возвращаемой на стадии основного производства.

Таким образом, происходит экономия материальных средств на основные составные компоненты производства аммиачной селитры и получение технической воды.

*Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FEMU-2024-0011, по теме исследований «Теоретические и экспериментальные исследования электрокинетических и структурных характеристик полимерных мембран посредством применения искусственных нейронных сетей в процессах электромембранной очистки промышленных растворов, содержащих ионы металлов».*

#### Список использованных источников

1. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
2. Анализ традиционных и нетрадиционных способов для разделения технологических растворов / С.В. Ковалев, С.И. Лазарев, П. Луа, О.А. Ковалева, Д.Н. Коновалов // Вестник Технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 6. – С. 53–58.
3. Анализ аппаратного и технологического оформления процессов электромембранного разделения растворов и факторы их сопровождающие // О.А. Ковалева, Д.О. Чичеров, Д.Н. Коновалов, С.В. Ковалев // Вестник технологического университета. – 2021. – Т.24, №7. – С. 36–47.
4. Москвин, Л.Н. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии / Л.Н. Москвин, Л.Г. Царицина. – Л.: Химия, 1991. – 256 с.
5. Анализ современных методов электрохимического разделения растворов // О.А. Ковалева, Д.О. Чичеров, Н.А. Федотов, С.В. Ковалев, Д.Н. Коновалов, Д.И. Кобелев, Д.Д. Коновалов // Вестник технологического университета. – 2021. – Т.24, №10. – С. 21–30.
6. Разработка конструкции электробаромембранного аппарата комбинированного типа для разделения растворов и методика расчета геометрических и технологических параметров такого аппарата / С.И. Лазарев, Д.Н. Коновалов, М.И. Михайлин, Д.Д. Коновалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 22–24.
7. Модернизация конструкции электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа с охлаждением разделяемого раствора и методика расчета технологических и конструктивных параметров аппарата / С.И. Лазарев, Н.В. Шель, Д.Н. Коновалов, А.В. Крылов, Д.Д. Коновалов, М.А. Хребтова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2023. – № 6. – С. 7–12.
8. Коновалов, Д.Н. Методический подход к разработке конструкции плоскокамерного электрохимического мембранного аппарата / Д.Н. Коновалов // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 11. – С. 52–57.
9. Позин, М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот) / М.Е. Позин. – Л: Изд-во «Химия», 1974. – 768 с.
10. Ким, К.Б. Электродиализ аммоний- и нитратсодержащих водных растворов: дисс... канд. тех. наук 02.00.05 / К.Б. Ким. – Воронеж: ФГБОУ ВО ВГУИТ, 2016. – 140 с.



УДК 624.396

**Лаврин А.И.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: 07lavrin06@gmail.com

## **ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПЕЧАТИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ**

**Lavrin A.I.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: 07lavrin06@gmail.com

## **THE TECHNOLOGY OF 3D PRINTING IN THE MANUFACTURE OF GAS ANALYZERS**

*Аннотация.* В данной статье рассмотрена технология 3D печати, предложено применение технологии трехмерной печати в производстве газоанализаторов.

*Ключевые слова:* 3D принтер, 3D печать, газоанализатор.

*Abstract.* In this article, 3D printing technology is considered, the application of three-dimensional printing technology in the production of gas analyzers is proposed.

*Keywords:* 3D printer, 3D printing, gas analyzer

3D печать – это одна из инновационных технологий современности, которая продолжает все больше развиваться. На сегодняшний день технология трехмерной печати все чаще внедряется в производство из-за своей уникальности: создавать трёхмерные объекты любой сложности и формы. Эта технология может быть успешно внедрена в производство газоанализаторов. Газоанализаторы – высококласные приборы, позволяющие определять количественный и качественные составы газов. В наше время, когда перед людьми остро стоит проблема контроля выброса отходов в атмосферу, эти приборы являются главным помощником для избегания чрезвычайных ситуаций [1].

АО «ОПТЭК» является одной из ведущих компаний по производству газоанализаторов в России. В их ассортименте имеются приборы, которые могут использоваться в разных областях промышленности, такие как машиностроение, экология и др.

В данной работе рассмотрены вопросы использования технологии трехмерной печати для газоаналитических приборов, выпускаемых АО «ОПТЭК».

Оптический газоанализатор – это приборы, газовый анализ в которых основан на поглощении инфракрасного излучения определенным компонентом газовой смеси. Такие газоанализаторы получили широкое применение в различных областях промышленности и применяются для определения концентрации таких веществ как угарных газ, аммиак, метан, углекислый газ и другие. Это объясняется тем, что в

инфракрасной области спектра газы имеют весьма интенсивные и отличительные друг от друга по положению в спектре полосы поглощения [2 - 3].

Электрохимические газоанализаторы - приборы, которые используются для измерения концентрации определённых газов в воздухе или других газовых смесях. Они работают на основе химических реакций между анализируемым газом и чувствительным элементом (электродом), который изменяет свои свойства при контакте с этим газом. Хемилюминесцентные газоанализаторы - приборы, основанные на принципе хемилюминесценции – свечение, вызванное химической реакцией. В таких приборах используется специальный реагент, который при взаимодействии с измеряемым газом излучает свет. Свет улавливается фотодетектором, и полученный сигнал преобразуется в электрический сигнал, который затем обрабатывается и отображается на дисплее прибора. Плюсом таких анализатора является высокая чувствительность, которая позволяет улавливать концентрацию даже очень малых количеств газов [4 - 5].

Примером такого газоанализатора может служить прибор Р-105 (рис.1), который позволяет измерить массовую концентрацию и объёмную долю оксида и диоксида азота в атмосферном воздухе.

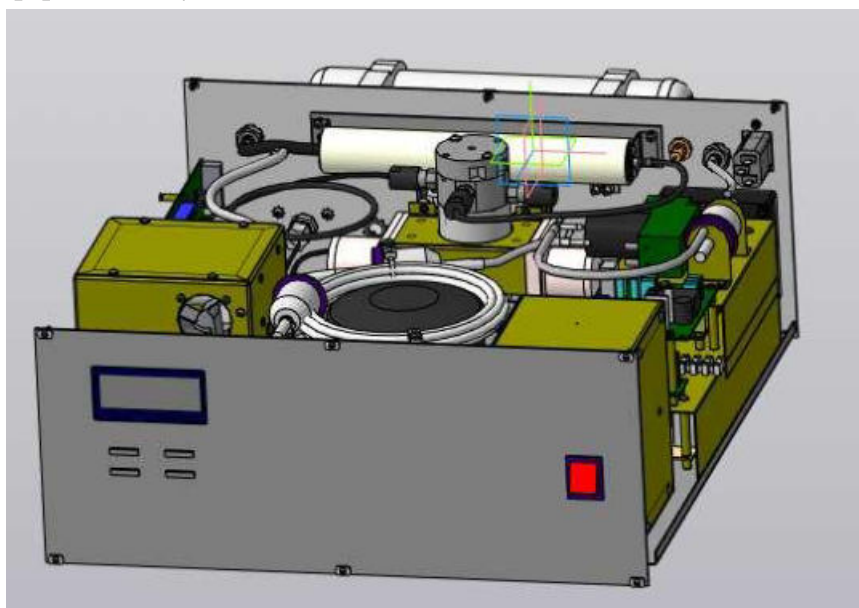


Рис. 1 Газоанализатор Р-105, общий вид

Авторами предложено внедрения технологии 3D печати при изготовлении газоанализатора Р-105 следующих деталей на 3D принтере: корпус (рис. 2а), кожух (рис. 2б), стакан (рис. 2в).

Данные детали не имеют сложных поверхностей, поэтому их печать на 3D принтере не вызовет сложностей. При использовании промышленных 3D принтеров, типа Volgobot A4, есть возможность печатать детали небольшими партиями [6]. Также такие принтеры способны точно и качественно печатать широким спектром материалов, что позволяет выбрать подходящий, исходя из эксплуатационных особенностей деталей.

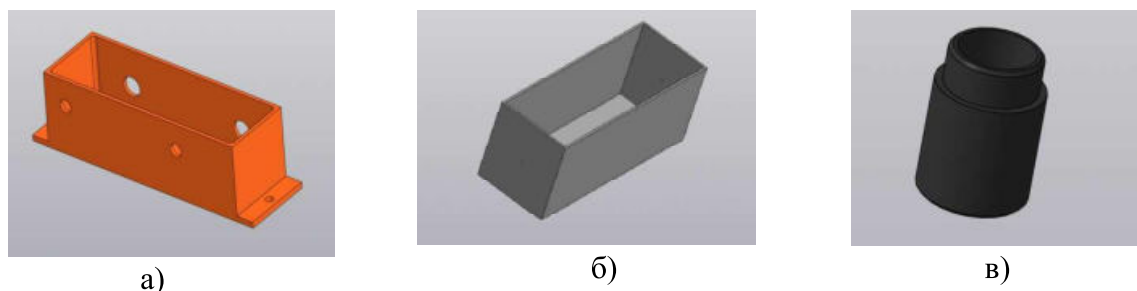


Рис. 2 (а,б,в). Модели деталей, изготовленных на 3D принтере: а – корпус; б – кожух; в – стакан.

Внедрение технологии трехмерной печати в производство газоанализаторов является перспективным и экономически выгодным. Данная технология позволяют производить детали по мере необходимости, что довольно-таки выгодно для единичного производства: не нужно закупать сразу определенное количество, а также происходит разгрузка складских помещений.

#### Список использованных источников

1. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.

2. Буракова, М. А. Использование аддитивных технологий в машиностроении / М. А. Буракова, Г. С. Нерсеян // Обеспечение надежности, качества и безопасности технологических машин и оборудования : Сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 10 марта 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 14-19. – EDN CBAJVI.

3. Галлямов, А. К. Электрохимический газоанализатор / А. К. Галлямов, Р. Р. Сафин // НАУЧНЫЕ исследования в ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ и ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ : сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 15 января 2018 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2018. – С. 67-70. – EDN YLCBMH.

4. Авторское свидетельство № 1495692 А1 СССР, МПК G01N 21/76. Хемилюминесцентный газоанализатор : № 4227557 : заявл. 13.04.1987 : опубл. 23.07.1989 / В. Л. Женжера, А. В. Злотин, Ю. М. Звягинцев, М. Т. Чернега ; заявитель ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. – EDN HIOYNF.

5. Патент № 2238540 С2 Российская Федерация, МПК G01N 21/61, G01N 21/35. оптический газоанализатор : № 2002122567/28 : заявл. 20.08.2002 : опубл. 20.10.2004 / А. А. Каверин, М. Э. Гусельников ; заявитель Открытое акционерное общество «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа Восточной нефтяной компании». – EDN XMHHVM.

6. Analysis of decision-making options in complex technical system design / V. Nemtinov, A. Zazulya, V. Kapustin, Y. Nemtinova // Journal of Physics: Conference Series, V. 1278. 2019. – P. 012018. – DOI 10.1088/1742-6596/1278/1/012018. – EDN JZOKGV.

УДК 621.91.01

**Капустин С.С., Немтинов В.А., Торбин Д.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: d9051231073@gmail.com

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ  
СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА МАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ  
НИЖНЕЙ ЦЕНОВОЙ КАТЕГОРИИ ИЗ ПОРОШКА ПУТЕМ СПЕКАНИЯ**

**Kapustin S.S., Nemtinov V.A., Torbin D.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: d9051231073@gmail.com

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND ORGANIZATION  
OF MASS PRODUCTION OF MASS PRODUCTS FOR CARS OF THE LOWER  
PRICE CATEGORY FROM POWDER BY SINTERING**

*Аннотация.* В работе рассмотрены вопросы проектирования технологических процессов изготовления массовых изделий для автомобилей нижней ценовой категории на примере детали «Шестерня коленчатого вала 124» мотора автомобиля марки ВАЗ. Предлагается алгоритм проекта запуска производства по выпуску массовых изделий нижней ценовой категории из порошка путем спекания, а также организация серийного производства, подбор оборудования, организация сбыта.

*Ключевые слова:* изделия для автомобилей нижней ценовой категории, проектирование, технологический процесс, организация серийного производства, шестерня.

*Abstract.* The paper considers the issues of designing technological processes for manufacturing mass-produced products for cars of the lower price category using the example of the part "Crankshaft gear 124» of the VAZ car engine. The algorithm of the project of launching production for the production of mass products of the lower price category from powder by sintering, as well as the organization of mass production, selection of equipment, organization of sales is proposed.

*Keywords:* products for cars of the lower price category, design, technological process, organization of mass production, gear.

В статье рассмотрены вопросы решения задачи по запуску производства по выпуску массовых изделий для автомобилей нижней ценовой категории «Шестерня коленчатого вала 124» из порошка путем спекания, организация серийного производства, подбор оборудования, организация сбыта [1].

Шестерня коленчатого вала 124 мотора автомобиля марки ВАЗ — это зубчатый шкив коленчатого вала для автомобилей. Она является важным компонентом переднего узла отечественных автомобилей «ВАЗ 2110, 2111, 2112» с 16-клапанными двигателями. В настоящее время наметилась проблема нехватки данного изделия на местном рынке, также заметен активный рост цены. В 2023-ем году стоимость данного изделия была от 400 рублей до 800 рублей за одну деталь, и его нехватка была не так заметна. В 2024 году стоимость данного изделия колеблется от 1300р до 2000р за одну деталь, а также заметна нехватка изделия на местном рынке автозапчастей [2].

Технология изготовления детали, приведенной на рис. 1, при условии использования в качестве заготовки круг включает в себя следующие виды обработки: токарная, фрезерная, электроэрозионная (шпон паз и зубья), либо зуборезная и долбежная операции. Предварительная оценка показала себестоимость порядка 2500 рублей за единицу, при рыночной цене 1300 рублей. В связи с этим авторами была предложена идея изготовления форм матрицы и пуансона по форме изделия с возможностью прессования порошка для спекания в форме и фиксация формы для последующего запекания [3 - 4].



Рис. 1. Фото детали «Шестерня коленчатого вала 124» мотора автомобиля марки ВАЗ

Запуск производства и организация серийного производства включает следующие этапы:

1) Первый этап: установить какие предприятия производят данное изделие и выявить конкурентов. На данный момент его производит:

- «Pro.Car», производитель выпускает шестерню коленвала, усиленную стальными кольцами, для двигателя ВАЗ 2112 (21124);

- «Лада-Имидж.», производитель выпускает шестерню коленвала для ВАЗ 2110–2112 с 16-клапанным двигателем (124 мотор);

2) Второй этап: получить (приобрести) 3-7 образцов готовых шестерён разных производителей – провести их измерения и 3D-сканирования с целью получить 3D-

модели, чертеж и установить поле допуска. Это позволит получить чертеж, а также более подробно ознакомиться с изделиями конкурентов;

3) Третий этап: изучить состав, шероховатость и твердость разрушающим методом в лаборатории ООО «ЗАВКОМ», получить официальные заключения. Таким образом, могут быть выявлены недостатки продукции конкурентов и в будущем устранены, а также благодаря этому можно лучше подобрать дополнительные инструменты производства и материалы (порошки, реагенты);

4) Четвертый этап: спроектировать форму матрицы и пуансона по форме изделия, с возможностью прессования порошка для спекания в форме и фиксация формы для последующего запекания;

5) Пятый этап: изготовить форму матрицы и пуансона на 1 деталь на вертикальном обрабатывающем центре [5] ”VMC1370” с ЧПУ Fanuc 0i-TF plus (см. рис. 2);



Рис. 2. Фото вертикального обрабатывающего центра VMC1370” с ЧПУ Fanuc 0i-TF plus

6) Шестой этап: провести слесарную обработку форм, закупить порошки заполнить реагент, спрессовать. На предприятии у коллег в печах для термической обработки провести процедуру спекания [6];

7) Седьмой этап: полученные первые образцы, измерить и отдать в лабораторию для замеров шероховатости и твердости разрушающим методом в лаборатории ООО «ЗАВКОМ», получить официальное заключение; сравнить наше изделие с конкурентами; скорректировать техпроцесс до получения эталонного результата;

8) Седьмой этап: просчитать себестоимость опытного образца, подобрать технологических процесс изготовления, провести работу с поставщиками, подобрать производительное оборудование. Провести расчеты необходимого количества изделий

в месяц для выхода на прибыль от 30%. Из полученных цифр необходимого количества изделий сформировать план продаж коммерческого отдела. (Подготовить коммерческое предложение, сформировать списки покупателей в розничных и оптовых сетях, подготовить и пройти сертификацию в рамках маркетинговой стратегии, сделать сайт-визитку, организовать учет продаж в ЦРМ системе;

9) Девятый этап: изготовить форму на 30 или более шестерён исходя их размеров стола обрабатывающего центра, сделать их несколько штук, чтобы процесс был непрерывным, одна форма - наполняется, вторая - прессуется, третья - спекается, четвертая – остывает; принять на работу работников и запустить производство, постоянно увеличивая количество и сокращая издержки в процессе отладки технологического процесса изготовления. После полугода работы и получения положительных отзывов от владельцев и отправки изделий в лаборатории и профильным блогерам получив, проработав недочеты первых партий и наладив непрерывное производство.

Таким образом, предложенные авторами технологические процессы изготовления и организация серийного производства массовых изделий для автомобилей нижней ценовой категории из порошка путем спекания позволят решить проблему нехватки деталей на рынке.

#### Список использованных источников

1. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-82.

2 Каталог автозапчастей.  
[https://33sport.ru/catalog/dvigatel/kolerval/shesternya\\_kolenvala\\_1118\\_-usilennyu-\\_pro-car/](https://33sport.ru/catalog/dvigatel/kolerval/shesternya_kolenvala_1118_-usilennyu-_pro-car/).  
Дата обращения: 18.10.2024.

3. Минин, А. А. Применение алгоритма муравьиных колоний для создания технологических процессов обработки резанием / А. А. Минин, В. А. Немтинов // Инженерные технологии. – 2023. – № 3(3). – С. 31-36. – EDN LAMZQA.

4. Зимнухова, Ж. Е. Жизненный цикл машиностроительного изделия как объект моделирования / Ж. Е. Зимнухова, В. А. Немтинов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2010) : ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Москва, 19–21 октября 2010 года. – Москва: ООО "Аналитик", 2010. – С. 154-158. – EDN ТСТАУФ.

5. Вертикальный обрабатывающий центр VMC1370  
<https://alta-machines.ru/catalog/frezernoe-oborudovanie/vertikalnye-obrabatyvayushchie-tsentry/arkhivnye-modeli/vertikalnyy-obrabatyvayushchiy-tsentr-vmc1370/?ysclid=m2htw08uiy922853896> . Дата обращения: 18.10.2024.

6. Методы порошковой металлургии: принципы и технологии  
[https://www.metotech.ru/art\\_poroshki\\_4.htm](https://www.metotech.ru/art_poroshki_4.htm) . Дата обращения: 18.10.2024.



УДК 658.512.2

**Мороз В. В., Баулина Л. В.**

Государственный университет «Дубна», Россия, г. Дубна

e-mail: moroz.uni-dubna@ya.ru

**ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИЗАЙНА РЕАКТОРА  
АВТОМАТИЗИРУЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ  
ВОДОРОДА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

**Moroz V. V., Baulina L. V.**

Dubna State University, Russia, Dubna

e-mail: moroz.uni-dubna@ya.ru

**APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL REACTOR  
DESIGN FOR AUTOMATING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF  
HYDROGEN PRODUCTION UNDER HIGH PRESSURE**

*Аннотация.* В работе описаны основные этапы подхода к разработке промышленного дизайна при проектировании нового устройства. Описаны наиболее важные факторы, соответствующие технологическому процессу на каждом этапе, требующие особого внимания в процессе проектирования. Сформулированы базовые требования для установки генерации водорода под высоким давлением на основе топливного элемента с протонообменной мембраной. Приведены общие факторы и особенности при проектировании, оказывающие влияющие на создание подобных установок.

*Ключевые слова:* дизайн автоматических систем, автоматизация технологического процесса, промышленный дизайн, промышленная автоматика, водородный топливный элемент.

*Abstract.* This paper describes the main stages of the approach to developing industrial design in the engineering of a new device. The most important factors relevant to the technological process at each stage, which require special attention during the design process, are outlined. Basic requirements for a high-pressure hydrogen generation system based on a proton exchange membrane fuel cell are formulated. General factors and characteristics affecting the design of such installations are presented.

*Keywords:* automatic systems design, process automation, industrial design, industrial automation, hydrogen fuel cell.

Разработка промышленного дизайна специализированной водородной ячейки является прикладной научно-технической задачей, которой посвящена эта статья. Затем



на основе представленной водородной ячейки с твердополимерной протоннообменной мембраной, пористыми анодом и катодом, создается концептуальная схема системы электролизера, содержащего уже емкости водородной и кислородной воды. Этот реактор, работающий под высоким давлением и температуре, является центральной дизайнерской проработкой создаваемого прибора.

В процессе конструирования используются стандартные методы и операции, однако результат по эффективности производства водорода находится в существенной зависимости от применяемых дизайнерских решений. И на эти дизайнерские решения наслаиваются решения следующего уровня – подготовке к производству серии генераторов водорода.

За разработкой концептуальной схемы топливной ячейки, учитывающей технологичность конструкции, энергоэффективность, удобство обслуживания, надежность, оптимизацию конструкции и так далее, следует стандартизация технических решений, унификация элементов и агрегирование подсистем.

В самом технологическом процессе генерации водорода конечно же присутствуют проектировочные и проверочные расчеты основных критериев технологии работы реактора.

В технологическом плане вся работа установки сводится к некоторому количеству основных операций, которые выносятся на мнемосхему автоматизированного управления [1]. С помощью подготовленной таким образом мнемосхемы в дальнейшем прорабатываются основные технологические автоматические процедуры регулирования управляемых параметров перехода установки из одного состояния в другое.

Таким образом достигаются две цели: проводится исследование оптимальных условий функционирования системы (на основе постановки и решения задачи многокритериальной оптимизации) и выполняется разработка автоматической системы управления, поддерживающей эти условия. Среди критериев оптимизации, можно отметить важнейшие: давление внутри топливных элементов, потребляемый ими ток, температуру циркулирующей воды, уровни воды в кислородном и водородном контурах.

Проработка дизайна системы в целом от версии к версии позволяет исследовать и совершенствовать технологические решения создаваемого реактора с электронным управлением.

Промышленный дизайн установки закладывает потенциал на всех этапах жизненного цикла топливного водородного элемента с твердой полимерной мембраной, начиная с изучения рынка энергетических комплексов аккумуляции электроэнергии, научной и конструкторской проработки технологического решения, подготовки и организации производства с контролем и испытаниями, упаковкой, доставкой и хранением, а также реализацией, монтажом, эксплуатацией и технической поддержкой, вплоть до утилизации.

С учетом большого количества вопросов, решаемых в рамках промышленного дизайна изделия, необходимо в числе основных учесть и обеспечить исполнение стандартов качества продукции [2].

Конструирование генератора водорода, также как и множества промышленных изделий, представляет собой применение комплекса подходов научно-технического творчества, экономических расчетов, обеспечение требований стандартов, поиска эргономических и эстетических решений.

Проектирование подобного рода изделий может быть представлено последовательным решением вновь возникающих задач накопления функционала – синтезирования с каждым этапом все усложняющегося устройства от топливной ячейки [3] к полноценному автоматическому генератору водорода.

В целом для подобных промышленных систем с точки зрения дизайна определяющими факторами являются рациональность применяемых форм, функционально-конструктивная обусловленность элементов, согласованность применяемых конструкционных материалов, организация объемно-пространственной структуры системы и конечно же максимальное использования стандартизированных решений.

Совершенство исполнения устройства характеризуется тщательностью проработки рациональной технологической конструкции.

При создании такой системы необходимо учитывать технологически сложный процесс проведения опытно-конструкторских работ, предшествующем этапу поиска применяемых в конечном изделии проектных решений, состоящих из научно-технических идей, проработка которых развивается от технического предложения, через эскизный и технический проект в рабочую конструкторскую документацию [4,5]. После чего, налаженный опытно-производственный процесс приводит к появлению образца, подвергаемого серии испытаний и аттестации.

Перед подготовкой к производству генераторов водорода необходимо отработать технологичность конструкции изделия, которая является одним из важнейших факторов достижения минимизации производственных и временных затрат. Что является вторичной классической научной задачей многокритериальной оптимизации. В этой задаче основными значимыми критериями являются укорачивание производственных циклов, внедрение в сборку готовых агрегатов, ускорение производственного процесса с сохранением качества и надежности создаваемых изделий.

Таким образом создание дизайна промышленного водородного топливного элемента, установки генерации водорода является сложным и многовариантным процессом, с преодолением неопределенностей в поиске и выборе применяемых технологических решений.

Кроме инженерно-технических решений, создаваемые генераторы имеют программируемую часть. Код программы имеет свой программный дизайн, характерный с одной стороны, клиент-серверным приложениям, а с другой стороны,

является встраиваемым в аппаратное обеспечение автоматизации технологического процесса. Таким образом пользовательский интерфейс – это клиент-ориентированная часть кода, оповещающая оператора и выполняющая его команды. А также позволяющая выполнять техническое обслуживание системы. Серверная часть – это автоматические процедуры обеспечения баланса температуры, давления и напряжения внутри ячеек и в целом осуществлять контроль за состоянием электролизера. Также на счету серверной части находится обработка и предотвращение критических ситуаций.

#### Список использованных источников

1. Гучук, В. В. Методы и инструментарий каузальных мнемосхем в системах мониторинга и управления сложными динамическими объектами / В. В. Гучук // Пути повышения результативности современных научных исследований : сборник статей Международной научно-практической конференции, Ижевск, 2019. – С. 18-20.

2. Васин, С. А. Решение вопросов качества продукции при дизайн-проектировании промышленных изделий / С. А. Васин, А. А. Кошелева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2020, № 10, с. 41-46.

3. Создание необслуживаемой высокопроизводительной топливной ячейки высокого давления с протонообменной мембраной / С. С. Гаврюшин [и др.] // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : Материалы XXIX Международного симпозиума им. А.Г. Горшкова (Кремёнки, 15–19 мая 2023 г.). – Москва, 2023. – С. 84-85.

4. Система конструкторской документации. Общие требования к тексту [Текст] : ГОСТ 2.102-68. – Изд. янв. 2001 с Изм. 1, 2 (ИУС. 1990. № 3; ИУС. 1995. № 1). – Взамен ГОСТ 2.102-68 ; введ. 01.07.69.

5. Система конструкторской документации. Общие требования к графическим документам [Текст] : ГОСТ 2.103-68. – Изд. янв. 2001 с Изм. 1, 2 (ИУС. 1990. № 3; ИУС. 1995. № 1). – Взамен ГОСТ 2.103-68 ; введ. 01.07.69.

## Секция

### СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ



УДК 004.9

**Рябов В. В.<sup>1</sup>, Немтинов В. А.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: ryabov.vv@inbox.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**АНАЛИЗ СЕЗОННОСТИ И ТRENDA АКТИВНОСТИ АКТОРОВ  
ВИРТУАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

**Ryabov. V. V.<sup>1</sup>, Nemtinov V.A.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: ryabov.vv@inbox.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**ANALYSIS OF SEASONALITY AND TREND OF VIRTUAL SOCIAL  
NETWORK ACTORS ACTIVITIES WITH TIME SERIES FORECASTING TOOLS**

*Аннотация.* Представлен краткий обзор современных библиотек языка программирования Python для прогнозирования временных рядов и на примере одной из них проведен анализ активности пользователей двух однотипных групп социальной сети. Сделаны выводы о возможности использования полученной информации при анализе, моделировании, машинном обучении и мониторинге активности групп.

*Ключевые слова:* временной ряд, социальные сети, прогнозирование.

*Abstract.* This brief review of modern time series forecasting libraries for programming language Python and one of them analyzes the activity of users of two similar social network groups. Conclusions are made about the possibilities of using the obtained information in the analysis, modeling, machine learning and monitoring of group activity..

*Keywords:* time series, social networks, forecasting.

При изучении развития групп в социальных сетях активность в них можно рассматривать как временной ряд [1]. К примеру, активность участников можно представить как количество комментариев или уникальных пользователей в единицу времени. При этом, в таком ряду ожидается возрастающий или убывающий тренд, в зависимости от того, на каком этапе своего развития находится исследуемое сообщество. Кроме того, в ряде случаев возможно наличие сезонности, а также разного уровня активности в зависимости от дня недели и времени суток [2].

Проблема прогнозирования активности и количества пользователей достаточно хорошо изучена на сегодняшний день, отдельные энтузиасты, группу исследований и даже целые компании разрабатывают математический аппарат, модели и библиотеки

для подобных прогнозов и выкладывают их в открытый доступ [3]. Кратко рассмотрим некоторые из них:

- Prophet - библиотека, разработанная для прогноза большого числа показателей, выложена в открытый доступ в 2017 году [4]
- Sktime - библиотека на Python, расширяющая API библиотеки Scikit-learn, предназначенной для машинного обучения, с целью предоставления интерфейса решения задач временных рядов [5]
- Greykite - еще одна библиотека прогнозирования временных рядов, которая позволяет конструировать признаки и применять ряд методов машинного обучения [6]

В качестве примера, рассмотрим тренд и сезонность двух однотипных групп в социальной сети Reddit. В качестве исследуемых сообществ выберем wallstreetbets и stocks, в которых участвуют люди, интересующиеся рынком ценных бумаг [7]. При помощи программы сбора и обработки данных из открытых источников о комментариях в сообществах социальной сети [8], подготовим данные по комментариям в обоих сообществах за 2013 и 2014 годы, в это время обе группы проходили начальные этапы своего развития, поэтому с высокой долей вероятности можно ожидать, что тренды, выбросы и статистические аномалии будут видны там наиболее явно.

Исходные данные о комментариях перед дальнейшей работой нужно привести к временному ряду, в качестве промежутка времени будем использовать 1 час, а в качестве значения ряда - количество комментариев. Разумно предположить, что полученные ряды для групп будут иметь увеличивающийся тренд и сезонность, так как деловая активность отличается в течение года, например падает в сезон отпусков. По этой причине, можно использовать модель разложимых временных рядов с тремя компонентами (формула 1):

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) \quad (1)$$

Где  $g(t)$  это функция тренда,  $s(t)$  - периодические изменения (сезонность),  $h(t)$  - эффекты праздников и выходных дней. Для работы с данной моделью удобно использовать библиотеку Prophet [3].

Для начала, построим графики по количеству комментариев в час для сообществ stocks и wallstreetbets (рис. 1, 2). Использовать исходные данные в чистом виде для такого представления не получится, поэтому воспользуемся методом resample библиотеки Pandas [9], в качестве параметра шага указав период в 60 минут.

При визуальном изучении можно заметить увеличение активности в зимний период 2014 года и последующее падение, но в таком представлении сложно делать выводы о тренде и каких-либо закономерностях.

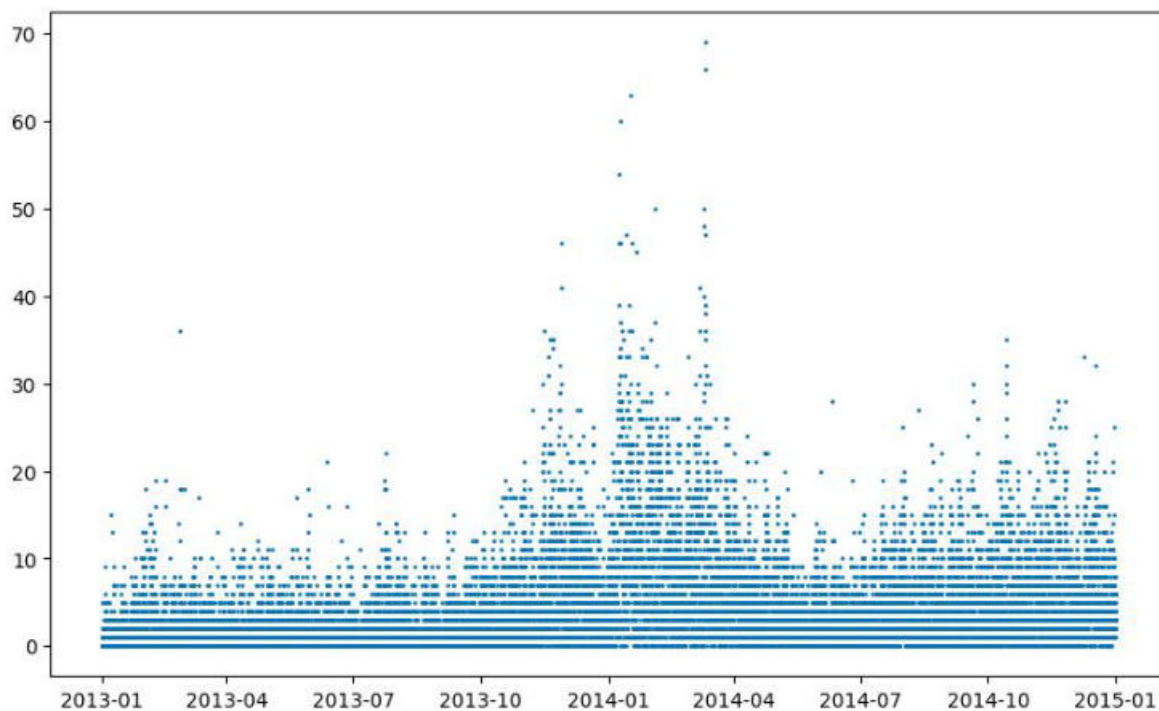


Рис.1. Количество комментариев в час за период 2013-2014 г.г. сообщества stocks

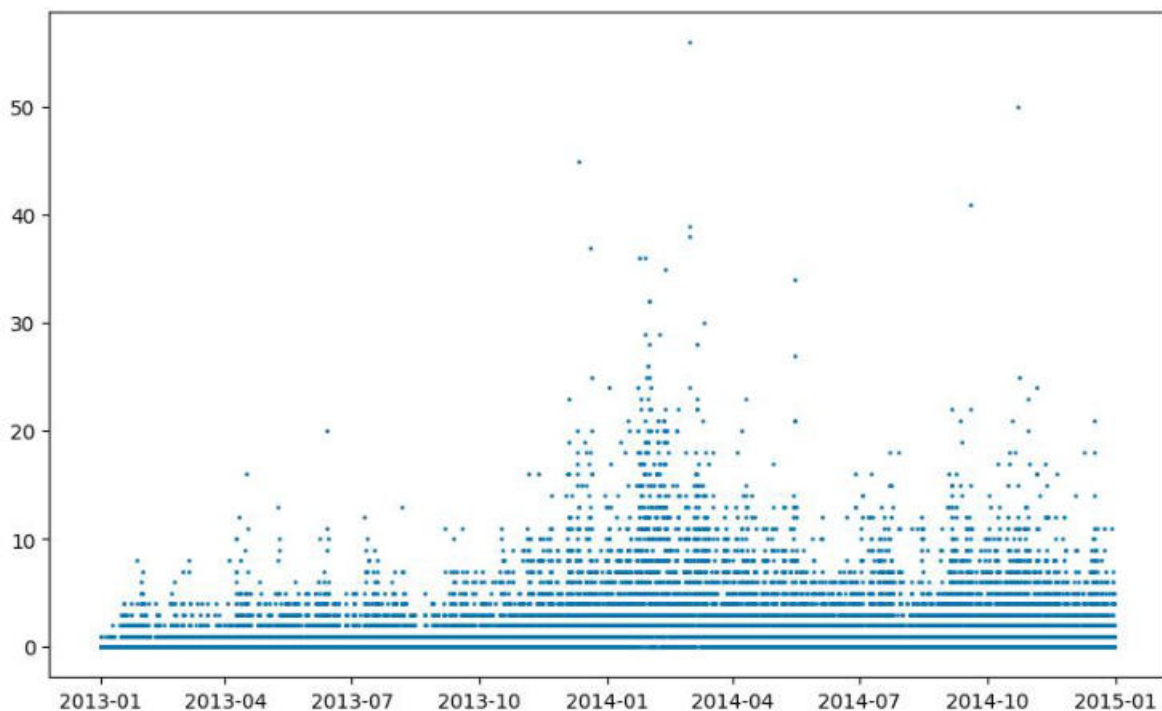


Рис.2. Количество комментариев в час за период 2013-2014 г.г. сообщества wallstreetbets

Данные подготовлены для обучения, далее нужно определиться с гиперпараметрами [10] модели, в частности с сезонностью в данном примере. Ввиду высокой волатильности статистических показателей онлайн сообществ, для обучения

модели была выбрана мультипликативная сезонность [11]. После обучения моделей в рамках данной работы основное внимание было обращено не на возможности прогноза, а на найденные сезонные закономерности, в частности на результаты по тренду (рис. 3, 4).

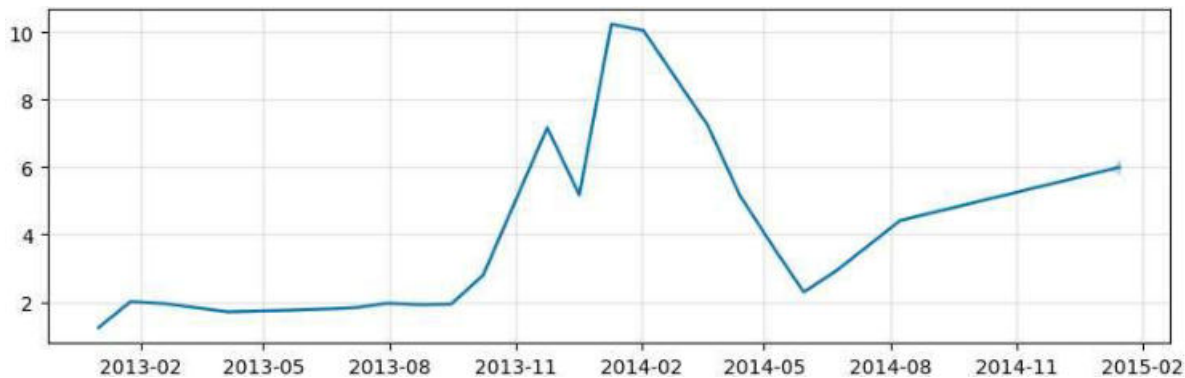


Рис.3. Тренд количества комментариев в час за период 2013-2014 г.г. сообщества stocks

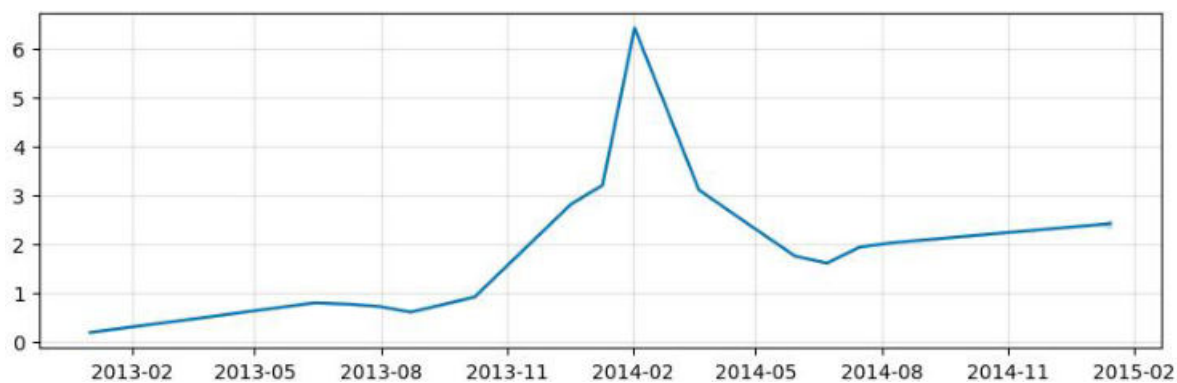


Рис.4. Тренд количества комментариев в час за период 2013-2014 г.г. сообщества wallstreetbets

Можно увидеть, что в обоих случаях тренд возрастающий, при этом рост наиболее активен в зимний период.

Похожее поведение также можно заметить при рассмотрении недельной сезонности (рис. 5, 6)

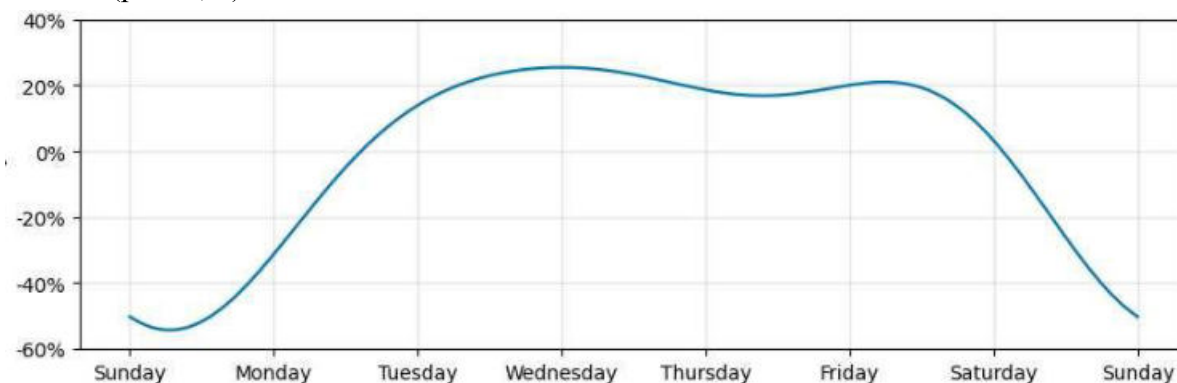


Рис.5. Недельная сезонность количества комментариев за период 2013-2014 г.г. сообщества stocks



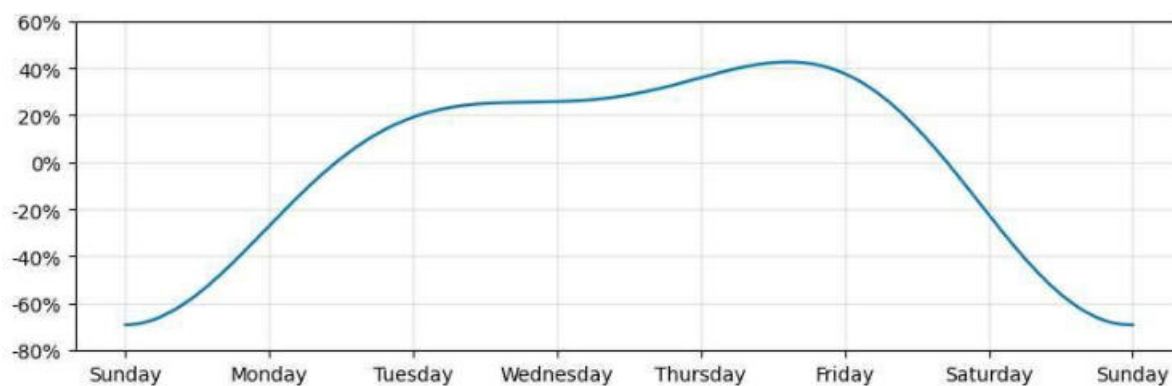


Рис.6. Недельная сезонность количества комментариев за период 2013-2014 г.г. сообщества wallstreetbets

Из полученных результатов можно сделать вывод, что как минимум в сообществах связанных с рынком ценных бумаг пик активности приходится на рабочую неделю, и значительно падает на выходных.

По времени активности в течении дня данные различаются в исследуемых группах (рис. 7, 8)

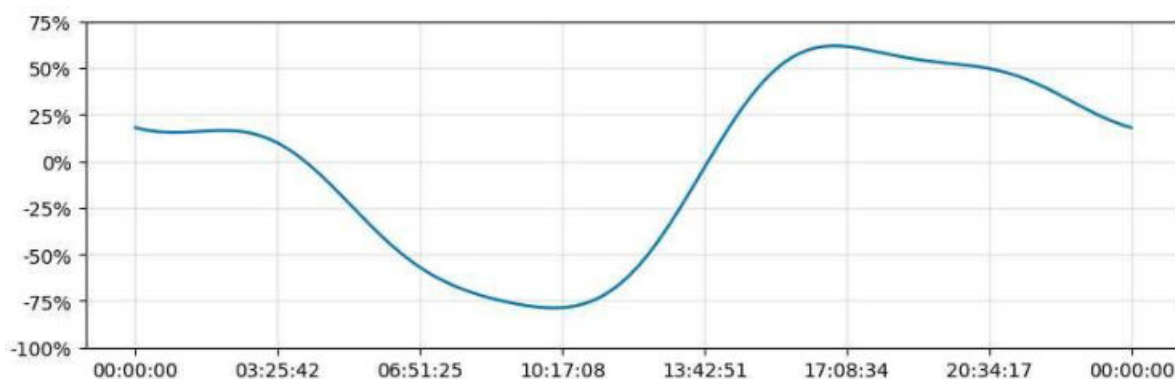


Рис.7. Активность комментаторов за период 2013-2014 г.г. сообщества stocks

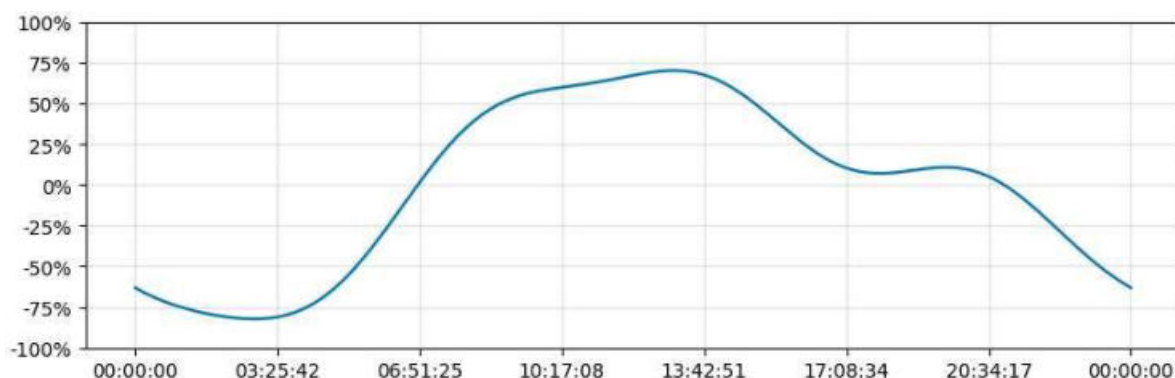


Рис.8. Активность комментаторов за период 2013-2014 г.г. сообщества wallstreetbets

Довольно сильно различающиеся результаты требуют дополнительного исследования, это может быть как ошибка модели, так и разные аудитории в каждой из

групп, либо различные негласные правила, принятые в сообществах. В этом случае, при прогнозировании активности даже в однотипных группах суточную активность в каждой группе нужно изучать отдельно.

Полученные однотипные результаты для похожих групп позволяют сделать выводы и обоснованные предположения для дальнейшей работы в этом направлении. При мониторинге аномальной активности следует учитывать время года, летом она может быть ниже, а зимой значительно выше, но это не будет являться исключительным или нестандартным состоянием системы. Такая же ситуация с наблюдением за группой в течении недели, один и тот же уровень активности в течении рабочего дня может быть ничем не примечательным, а в выходной день свидетельствовать о необычных процессах внутри наблюдаемой системы.

С учетом полученных выше результатов, при необходимости подготовки признаков для модели машинного обучения для классификации или прогноза, день недели и время года можно будет рассмотреть не как категориальные признаки, а как числовые [12].

Остается открытым вопрос с разной активностью в течении дня, но при текущем количестве данных выводы делать нельзя. Возможно, для полной картины происходящего потребуются данные за больший промежуток времени и для большего количества групп. Дальнейшее изучение данного вопроса может быть перспективным с точки зрения дополнительного параметра при наличии общего поведения в течении дня между различными группами с одинаковой тематикой.

#### Список использованных источников

1. Петров, А. Н. прогнозирование на временных рядах с привлечением машинного обучения / А. Н. Петров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 1. – С. 136-139. – EDN FJIUAN.
2. Lee, G. H. Seasonal adjustment for monthly time series based on daily time series / G. H. Lee // Korean Journal of Applied Statistics. – 2023. – Vol. 36, No. 5. – P. 457-471. – DOI 10.5351/kjas.2023.36.5.457. – EDN YOSREE.
3. Груздев А.В. Прогнозирование временных рядов с помощью Prophet, ETNA, sktime и LinkedIn Greyscale / А.В. Груздев, Г. Рафферти. – Москва : Изд-во ДМК Пресс, 2023. – 779 с.
4. Taylor S. J., Letham B. Forecasting at scale //The American Statistician. – 2018. – Vol. 72. – No. 1. – P. 37-45.
5. Löning, M. sktime: A unified interface for machine learning with time series / Löning, M., Bagnall, A., Ganesh, S., Kazakov, V., Lines, J., & Király, F. J. // arXiv preprint arXiv:1909.07872 - 2019.
6. Пелешенко, В. А. Эконометрические вычисления с интегрированием технологий машинного обучения на базе алгоритмов Greyscale на примере прогнозирования котировок курса валютной пары USD/RUB / В. А. Пелешенко // Мягкие измерения и

вычисления. – 2022. – Т. 57, № 8. – С. 68-76. – DOI 10.36871/2618-9976.2022.08.007. – EDN HOVBKM.

7. Reddit - Finance Posts [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/leukipp/reddit-finance-data>. (дата обращения 23.09.2024).

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612677 Российская Федерация. Сбор и обработка данных из открытых источников о комментариях в сообществах социальной сети : № 2024611535 : заявл. 30.01.2024 : опубл. 02.02.2024 / В. В. Рябов, В. А. Немтинов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет». – EDN HPYLYXC.

9. Ильичев, В. Ю. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python / В. Ю. Ильичев, Е. А. Юрик // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – № 4. – С. 41-45. – EDN BKGJHM.

10. Стрижов, В. В. Алгоритм выбора нелинейных регрессионных моделей с анализом гиперпараметров / В. В. Стрижов, Р. А. Сологуб // Математические методы распознавания образов. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 184-187. – EDN YNULFL.

11. Сальников, В. И. Прогнозирование на основе мультипликативной и множественной регрессионной модели сезонности / В. И. Сальников // Бюллетень инновационных технологий. – 2019. – Т. 3, № 3(11). – С. 50-55. – EDN QUOYSO.

12. Коликова, Э. Е. Фиктивные переменные в уравнении регрессии / Э. Е. Коликова, Л. Е. Пынько, К. И. Сергеева // Научные исследования XXI века. – 2023. – № 4(24). – С. 39-43. – EDN MRWKAS.

УДК 004.9

**Мокрозуб В.Г.<sup>1</sup>, Климкин И.В.<sup>2</sup>, Носков А.Д.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru,

<sup>2,3</sup>e-mail: ilya\_klimkin@bk.ru

## **СТРУКТУРА БАЗЫ ТИПОРАЗМЕРОВ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ**

**Mokrozub V.G.<sup>1</sup>, Klimkin I.V.<sup>2</sup>, Noskov A.D.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru,

<sup>2,3</sup>e-mail: ilya\_klimkin@bk.ru

## **THE STRUCTURE OF THE BASE OF STANDARD SIZES OF EVAPORATORS**

*Аннотация.* Представлена структура реляционной базы данных, предназначенная для хранения типоразмеров выпарных аппаратов. База является элементом системы автоматизированного проектирования технологического оборудования.

*Ключевые слова:* выпарные аппараты, автоматизированное проектирование, база типоразмеров.

*Abstract.* The structure of a relational database designed for storing standard sizes of evaporators is presented. The database is an element of the computer-aided design system of technological equipment.

*Keywords:* evaporators, computer-aided design, standard size database.

Выпарные аппараты широко применяются во многих отраслях промышленности. В современных условиях их проектирование осуществляется с помощью информационных систем, которые позволяют производить все необходимые расчеты и разрабатывать конструкторскую документацию. Для ускорения разработки конструкторской документации создаются параметрические 3D-модели аппаратов и их узлов. Исходные данные для этих моделей вводятся конструктором или выбираются из базы данных. Ниже представлена структура базы данных, выполненная в среде MS SQL Server, предназначенная для хранения размеров типовых выпарных аппаратов [1].

Существуют разные типы выпарных аппаратов, элемент классификации которых представлен в таблице 1. Тип аппарата выбирается в зависимости от свойств выпариваемой среды [2].

Таблица 1. Пример типов аппаратов

Тип	Исполнение	Наименование
I	2	Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, соосной греющей камерой, вынесенной зоной кипения и солеотделением
	1	Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, вынесенной греющей камерой и кипением раствора в трубках
II	2	Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, вынесенными греющей камерой и зоной кипения
	1	Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией, соосной греющей камерой и солеотделением

Пример размеров аппарата (рисунок 1) представлен в таблице 2

Таблица 2. Пример характеристик аппаратов

Поверхн. теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>
		мм													
250	468	120	160	220	238	160	700	1882	8070	9955	145	105	200	219	1270
400	780	160	200	280	300	200	900	2005	9000	9750	180	145	250	311	1600
630	1250	200	240	340	362	260	120	2257	1067	1020	180	145	320	353	2190

Назначение и условные диаметры штуцеров представлены в таблицах 3,4

Рис. 1. Выпарной аппарат

Таблица 3. Назначение штуцеров

Обозначение	Назначение
А	Вход греющего пара
Б	Выход вторичного пара
В, В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub>	Вход раствора
Г, Г <sub>1</sub> , Г <sub>2</sub> ,	Выход раствора
Д	Выход конденсата
Е	Технологический
Ж, Ж <sub>1</sub> , Ж <sub>2</sub>	Вход воды для промывки и опрессовки
З, З <sub>1</sub> , З <sub>2</sub>	Вход воды для промывки
И	Резервный
К, К <sub>1</sub> , К <sub>2</sub>	Отбор проб
Л, Л <sub>1</sub> , Л <sub>2</sub> ,	Слив
М <sub>1</sub> , М <sub>2</sub> , М <sub>3</sub> ,	Сдвдка неконденсирующихся газов
П, П <sub>1</sub> , П <sub>2</sub>	Воздушник

Таблица 4. Условные диаметры штуцеров

Поверхность теплообмена, мм <sup>2</sup>	А	Б	В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub>	Г <sub>1</sub> , Г <sub>2</sub>	Д	Е	Ж <sub>1</sub> , Ж <sub>2</sub>	З <sub>1</sub> , З <sub>2</sub>	И	К <sub>1</sub> , К <sub>2</sub>	Л <sub>1</sub> , Л <sub>2</sub>	М <sub>1</sub> , М <sub>2</sub>	М <sub>3</sub>	П
250	600	600	100	100	100	100	50	80	100	40	80	65	50	40
400	800	1000	125	125	100	100	80	100	125	40	100	65	65	50
630	1000	1000	150	150	125	125	80	100	150	40	100	65	65	50

Схема базы типоразмеров, реализующая таблицы 1-4, представлена на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 представлена схема базы для хранения характеристик аппаратов.

Таблица Типы\_аппаратов содержит информацию таблицы 1. Таблица Поверхности содержит ряд типовых поверхностей теплообмена (250, 400, 630 и т.д.). Таблица Характеристики представляет собой реестр характеристик аппаратов: количество труб, масса аппарата, размеры (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> и др.). Таблица Аппараты – реестр физически существующих аппаратов. Таблица Характеристики\_Аппаратов – значения характеристик конкретных аппаратов)

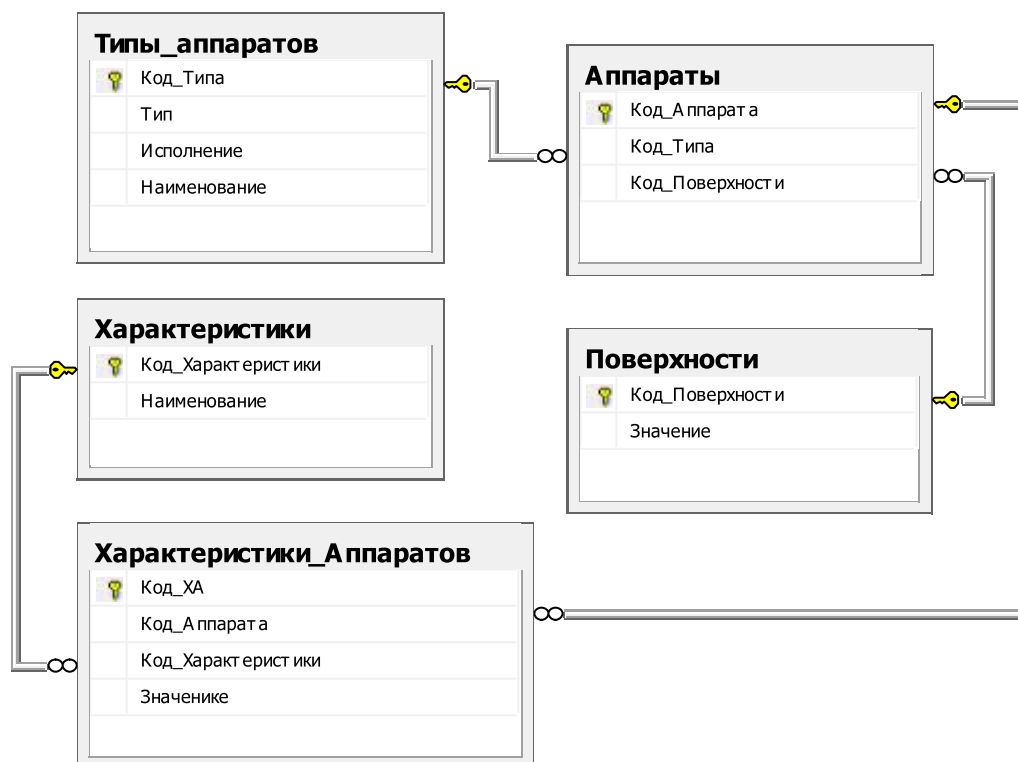


Рис. 2 База основных характеристик выпарных аппаратов

Информация о штуцерах (таблицы 3,4) содержится в базе данных, схема которой представлена на рисунке 3. В таблицах Штуцера и Назначение\_штуров содержится информация таблицы 3. Условные диаметры штуцеров представлены в таблице ДУ\_Штуцера.



Рис.3. База условных диаметров штуцеров

Представленная база данных является элементом разрабатываемой с участием авторов системы автоматизированного проектирования технологического оборудования [3], которая предназначена в том числе и для целей обучения [4].

#### Список использованных источников

1. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры: ГОСТ 11987-81.– Изд. февраль. 1981; введ. 03.02.81.
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.
3. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31-34. – EDN ULTIQF.
4. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, В. В. Морозов, Ю. В. Немтинова // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. – DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113. – EDN AIOTFA.

УДК 654.931

**Захаров А.Р.<sup>1</sup>, Немтинов В.А.<sup>2</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: horoshiychevok68@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФИКА ПОСТУПЛЕНИЯ И  
ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ ОТ КОНТРАГЕНТА НА  
ПРЕДПРИЯТИИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

**Zakharov A.R.<sup>1</sup>, Nemtinov V.A.<sup>2</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: horoshiychevok68@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

**AUTOMATION OF THE FORMATION OF A SCHEDULE FOR THE RECEIPT  
AND PLANNING OF FUNDS FROM A COUNTERPARTY AT A CHEMICAL  
ENTERPRISE**

*Аннотация.* Рассмотрен подход к автоматизации формирования графика анализа поступления и планирования денежных средств. Объяснены способы получения данных и их обработки. Сделаны выводы о возможности использования данной системы в других условиях.

*Ключевые слова:* автоматизация, обработка данных, график.

*Abstract.* An approach to automating the formation of a schedule for analyzing the receipt and planning of funds is considered. The methods of data acquisition and processing are explained. Conclusions are drawn about the possibility of using this system in other conditions.

*Keywords:* automation, data processing, schedule.

Автоматизация процессов в современном мире становится неотъемлемой частью успешного функционирования бизнеса и организаций. В условиях стремительного развития технологий и глобализации, компании сталкиваются с необходимостью оптимизации своих операций для повышения эффективности и конкурентоспособности.

Одним из ключевых преимуществ автоматизации является значительное сокращение времени на выполнение рутинных задач. Это позволяет сотрудникам сосредоточиться на более важных аспектах работы, таких как стратегическое планирование и инновации. Кроме того, автоматизация снижает вероятность человеческой ошибки, что особенно важно в сферах, где точность имеет критическое значение[1].



Автоматизация также способствует улучшению качества обслуживания клиентов. Системы автоматизации могут обрабатывать запросы и предоставлять информацию в режиме реального времени, что повышает уровень удовлетворенности клиентов и укрепляет их лояльность. Сам график выполнен в формате таблицы, где в качестве колонок выступают дни в разрезе месяца, а в качестве строк подразделения организации и контрагенты. При нажатии кнопки «Сформировать новый отчет» ПО, при помощи веб-сервиса обращается к другой платформе – 1С:УПП. Веб-сервис получает несколько таблиц. Первая – таблица оплаченных задолженностей, в ней содержится информация из документа «Платежное поручение входящее» о поступлениях денежных средств (далее ДС) от контрагентов. Вторая – таблица неоплаченных задолженностей. Функция веб-сервиса запросом собирает данные о ожидаемых поступлениях ДС из всех возможных документов («Реализация товаров и услуг», «Корректировка долга», «Платежное поручение исходящее» и т.д.) и помещает их в таблицу. Третья – таблица просроченных задолженностей с информацией о контрагентах, просрочивших свои платежи [2].

Далее все они объединяются в одну кросс таблицу, каждая ячейка которой имеет два дополнительных идентификатора: цвет ячейки, документ основание.

Остановимся поподробней на этом этапе. Данная таблица имеет свою особенность. Оплаченные суммы раскрашены в зеленый цвет, ожидаемые сегодня в красный и просроченные в желтый. Поэтому при объединении таблиц используется следующий метод. Транспонировав данные об оплаченных суммах в кросс таблицу для каждой колонки «День» добавляется еще одна которая будет называется «ДеньЦвет» с соответствующим числом месяца. И туда сразу определяется идентификатор зеленого цвета. Затем присоединяется таблица неоплаченных задолженностей и в ней текущему дню присваивается идентификатор красного цвета, а дням меньше текущего идентификатор желтого цвета. В конце при помощи инструмента «Условное оформление» ячейки раскрашиваются в соответствующие цвета. Этот функционал используется для наглядности таблицы (см. Рис. 1).

Департамент	Контрагент	Деб Зад	Проср ДЗ	% вып	1	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17
Департамент "Красители"	Авангард ООО	242				261								127		125	
	АльфаБум ООО														648		
	БАЛТЕКС ООО	15 103				5 007						6 760	6 598				
	Белгородский аб...				15												
	БЕЛКРАТИМ	9 174							1 176								
	БИКОТЕКС ООО	330													343		
	БТК Текстиль ООО							3 827									
	Волга	2 556												2 355			
	Вышневолоцкий ...	278										372					
	Гермес+								83								
	ГринПак ООО								96								
	Дау Изопан											33					
	Ивановский Мел...	1 220															
	ИВИТЕК ООО															167	

Рис. 1. Внешний вид графика прихода ДС

Кроме этого каждая таблица имеет данные о документе, который является основанием для суммы. Поэтому при формировании кросс таблицы похожим на цвет образом присоединяется колонка «ДеньИдентификатор» содержащая уникальный идентификатор документа-основания.

Эти данные используются для двух функций: Первая – расшифровка платежа, позволяющая при нажатии кнопки открыть документ-основание (см. Рис. 2), вторая – изменение департамента и проекта (см. Рис. 3). Проблема в том, что иногда платеж может быть разнесен не верно. Поэтому был создан функционал изменение департамента и проекта. При помощи веб-сервиса он обращается к документу в 1С:УПП и меняет его данные, на те, что мы выбрали в нашем графике.

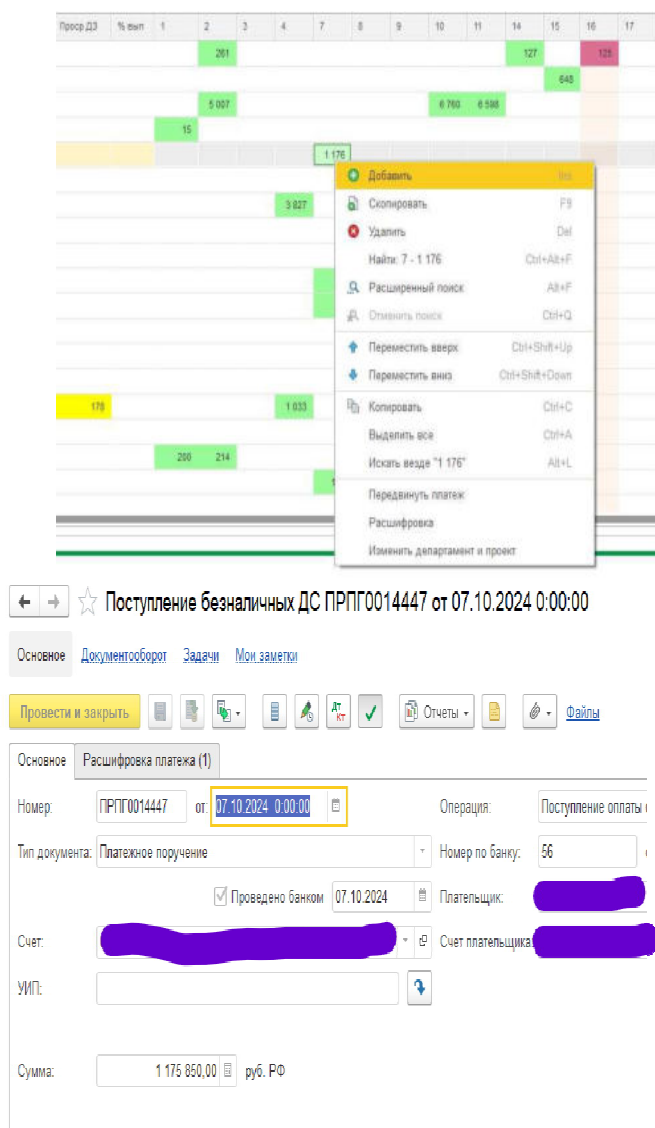


Рис. 2. Функция расшифровка

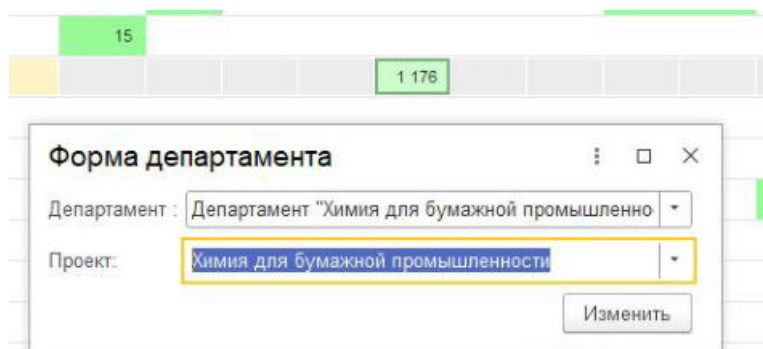


Рис. 3. Функция изменения департамента и проекта

Иногда платеж может быть неверно разнесен не только по департаменту, но и по дню оплаты, поэтому был реализован функционал передвинуть платеж. При его использовании открывается календарь, где можно выбрать на какой день перенести платеж (см. Рис. 4).

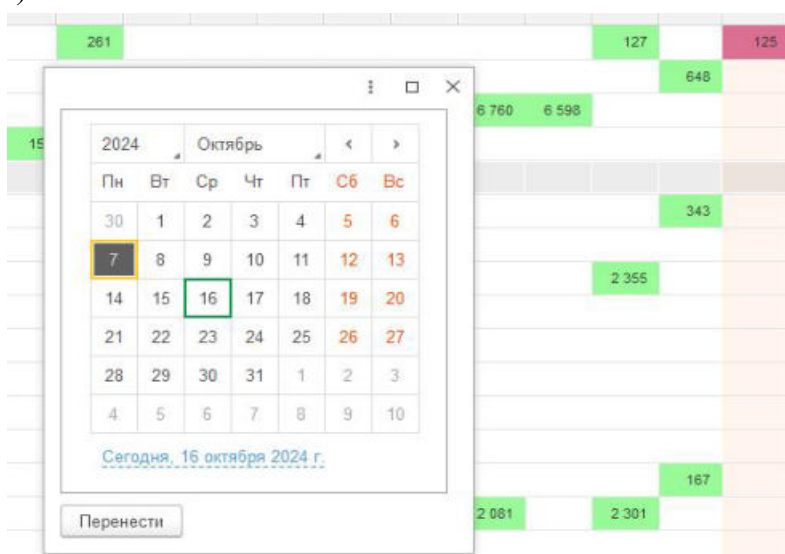


Рис. 4. Функция передвинуть платеж

После каждого департамента находятся итоговые поля, которые содержат информацию о планируемых поступлениях, о факте, об отклонении от плана и о самом плане поступлений. Такие же поля есть и в общем по всем департаментам (см. Рис. 5). Была добавлена кнопка для пересчета итогов, на случай внесения и изменения данных вручную.

Не всегда есть необходимость формирования нового графика, поэтому существует кнопка подгрузить новые платежи, которая дополняет существующую таблицу новыми платежными поручениями.

Также существует возможность сохранять вариант отчета и соответственно формировать сохраненный. Эта функция также позволяет вести совместную работу с одним графиком.





Рабочая страница | Отчетная страница | Страница план-факт

Загрузить итоговые суммы

Добавить

Поиск (Ctrl+F) x Еще

№	Департамент	Контрагент	План	Факт
14	Департамент "ПКМ"	ЭКСПЕРТЭКОЛОГИЯ ООО		182
15	Департамент "Пигменты"		434	10 279
16	Департамент "Пигменты"	Гознак (старый Гознак ИНН 7813352058)		23
17	Департамент "Пигменты"	НЕКСТ		290
18	Департамент "Пигменты"	Периский пороховой завод		363
19	Департамент "Пигменты"	Премо Инж Восток ООО		9 169
20	Департамент "Смолы"		13 326	21 408
21	Департамент "Смолы"	Изорок	4 031	9 372
22	Департамент "Смолы"	Рыбалкин Святослав Валентинович ИП		123
23	Департамент "Смолы"	ТриолТорг ООО		2 618
24	Департамент "Специальная химия"		3 690	6 602
25	Департамент "Специальная химия"	Ривитт Банкиер ООО		2 825
26	Департамент "Специальная химия"	Энерго-Сервис ООО		87
27	Департамент "Строительная химия"		3 860	3 860
28	Департамент "Строительная химия"	Строительные системы ООО		1 906
29	Департамент "Строительная химия"	Строительные системы п. Левашово	1 906	
30	Департамент "Химия для бумажной промышленности"		6 690	7 020
31	Департамент "Химия для бумажной промышленности"	Мухин Артур Анатольевич ИП		330
32	Департамент "Химия для нефтепереработки"		11 520	14 099
33	Департамент "Химия для нефтепереработки"	Славнск ЭКО ООО		2 579
34	Департамент "Эмульсии, дисперсии, ПВА"		10 582	11 223
35	Департамент "Эмульсии, дисперсии, ПВА"	Лагра Синтез	236	701
36	Департамент "Эмульсии, дисперсии, ПВА"	Магомедов Мурад Келбоханович ИП		175
37	Департамент "Эмульсии, дисперсии, ПВА"	ЭПТА Компания ООО		1
38	ИТОГО Факт	Активация Windows	58 879	81 624

Рис. 8. Страница документа «План-факт»

Важной особенностью данного программного обеспечения является его универсальность. Потому что можно поменять источник данных и график все равно будет формироваться и, добавив определенные настройки, его можно использовать на любом предприятии.

#### Список использованных источников

1. Власова Л.Г., Гончаров Д.И. Основы оперативно-производственного планирования с использованием информационной системы «1С:ERP Управление предприятием» – М.: ООО «1С-Публишинг», 2020. – 420 с.
2. Пащенко Т. В. Бухгалтерский финансовый учет и отчетность. — М.: Юрайт, 2023. — 216 с.
3. Статья Что такое СКД: просто о сложном [Электронный ресурс] – URL: <https://www.vdgb.ru/blog/chto-takoe-skd-prosto-o-slozhnom/>(дата обращения: 21.05.2024).



УДК 004.9

**Обухов А.Д.<sup>1</sup>, Рыбачок М.В.<sup>2</sup>, Побединский Д.А.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: obuhov.art@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: rybachok.maksim@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: pobedinskiydmityaleksandrovich@yandex.ru

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МЫШЕЧНОЙ НАГРУЗКИ**

**Obukhov A.D<sup>1</sup>, Rybachok M.V<sup>2</sup>, Pobedinskiy D.A.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: obuhov.art@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: rybachok.maksim@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mail: pobedinskiydmityaleksandrovich@yandex.ru

## **USING MACHINE LEARNING TO CLASSIFY MUSCLE LOAD**

*Аннотация.* Разработка комплексных человеко-машинных систем предполагает сбор и обработку больших объёмов данных для формирования биологической обратной связи. Одним из источников данных является электромиография, которая позволяет получить информацию о мышечной активности человека. Последующий анализ этой информации используется в профессиональных, медицинских виртуальных тренажёрах и реабилитационных системах. Однако в исходном виде эти данные малопригодны для решения реальных задач, поэтому требуется их обработка. В данном исследовании рассматривается применение методов машинного обучения для классификации мышечной нагрузки человека при различных видах физической активности.

*Ключевые слова:* Машинное обучение, мышечная нагрузка, нейронные сети, электромиография.

*Abstract.* The development of complex human-machine systems involves the collection and processing of large amounts of data to form biofeedback. One of the data sources is electromyography, which provides information about human muscle activity. Post-analysis of this information is used in professional, medical virtual simulators and rehabilitation systems. However, in its original form, these data are of little use for solving real tasks, so processing is required. This study examines the application of machine learning methods to classify human muscle load in different types of physical activity.

*Keywords:* Machine learning, muscle load, neural networks, electromyography.

В процессе разработки сложных человеко-машинных систем одним из ключевых аспектов исследований является интеграция биологической обратной связи, которая

позволяет учитывать текущее состояние человека при функционировании системы [1]. Этот подход имеет большое значение в области реабилитации, диагностики и профессиональной подготовки, поскольку он позволяет адаптировать работу человеко-машинной системы, такой как виртуальный тренажёр или реабилитационный комплекс, к текущим физическим параметрам человека.

В качестве источника данных для формирования биологической обратной связи была выбрана электромиография (ЭМГ), поскольку она обладает наименьшей задержкой при выполнении действий пользователя благодаря анализу электрических сигналов, генерируемых мышечными сокращениями. Кроме того, датчики, используемые в ЭМГ, могут являться неинвазивными и просты в использовании [2].

Исследование двигательной и мышечной активности позволяет в режиме реального времени оценить действия пользователя в системе человек-машина и их интенсивность. Однако исходные данные, полученные с помощью электромиографии (ЭМГ), могут содержать помехи, искажения и зависеть от индивидуальных особенностей пользователей. Это требует разработки или применения универсальных алгоритмов, которые могут выявить ключевые характеристики исходных данных и использовать их для решения практических задач, таких как классификация типов или характера физической активности. В настоящее время для анализа таких данных используются алгоритмы машинного обучения, включая нейронные сети [3].

В рамках данного исследования предполагается провести анализ результативности применения методов машинного обучения для классификации мышечной нагрузки при выполнении упражнения с подъёмом груза при сгибании руки в локте с целью определения эффективности данного подхода. Использоваться будут типовые нейронные сети.

Было сформировано следующее упражнение, которое представлено на рисунке 1.

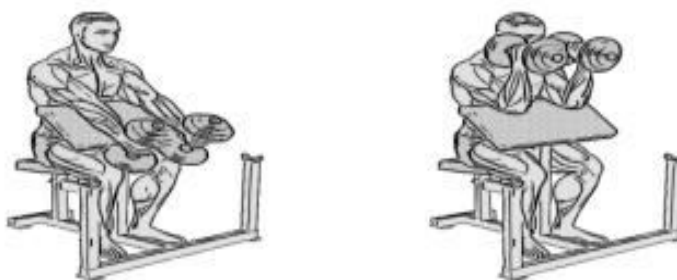


Рис. 1. Упражнение с подъёмом груза при сгибании руки в локте

Данное упражнение представляет собой подъём груза при сгибании руки в локте с четырьмя грузами: 0, 1, 2 и 3 кг.

В итоге мы получаем независимый эксперимент, в котором определена следующая категория результатов в количестве 4 единиц для данного упражнения. Для сбора данных применяются сухие электроды, что позволяет снизить затраты на определение



зоны биопотенциала конкретной мышцы, ускорить проведение эксперимента и минимизировать дискомфорт для участников.

В соответствии с рассмотренным упражнением был проведён сбор данных. В ходе экспериментов был получен следующий объем данных для упражнения по оценке физических нагрузок — 100 записей.

На рисунке 2 представлены обобщённые статистические данные, полученные в результате анализа упражнения.

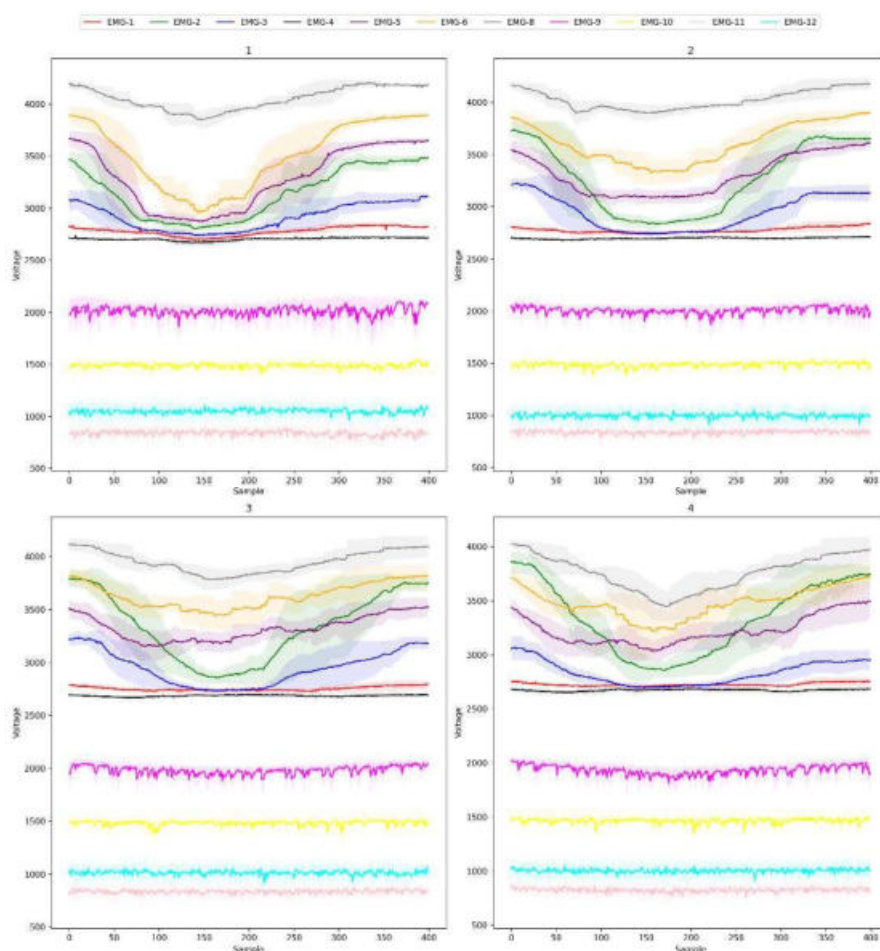


Рис. 2. Усреднённые графики ЭМГ для упражнения

Результаты обучения алгоритмов машинного обучения представлены в таблице 1. Лучшие результаты выделены полужирным.

На основании анализа данных, представленных на рисунке 2 и таблице 1, можно сделать вывод о наличии различий в значениях напряжения и специфическом характере изменений нагрузок. Это позволяет предположить, что алгоритмы машинного обучения могут выявлять эти закономерности и классифицировать мышечную нагрузку, что актуально для различных человеко-машинных систем, включая тренажёры с биологической обратной связью, и подтверждает гипотезу о возможности эффективного применения машинного обучения для классификации мышечной нагрузки человека.

Таблица 1. Сравнение моделей машинного обучения при решении задачи классификации упражнений с влиянием веса

Модель	Точность	F1-мера
Logistic Regression	0.95	0.946
Nearest Neighbors	0.85	0.84
Linear SVM	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
Decision Tree (глубина дерева = 5)	0.925	0.914
Decision Tree (глубина дерева = 10)	0.925	0.914
Random Forest (глубина дерева = 3)	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
Random Forest (глубина дерева =5)	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
AdaBoost	0.575	0.474
AdaBoost (tree)	0.875	0.86
Naive Bayes	0.925	0.915
QDA	0.45	0.38
Stacking Classifier	0.95	0.944
Voting Classifier	0.95	0.944
Нейронная сеть	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>
Сверточная нейронная сеть	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005).*

#### Список использованных источников

1. Круглов, В. С. Применение систем с биологической обратной связью при разработке системы нейтрализации фобических расстройств / В. С. Круглов, Ю. В. Никитников, А. О. Назарова // Молодёжь для устойчивого развития регионов : Материалы научно-практической конференции студенческих научных объединений, Тамбов, 21 сентября 2023 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 149-152.

2. Назарова, А. О. Разработка виртуального тренажера с биологической обратной связью для терапии фобических расстройств / А. О. Назарова, Д. В. Теселкин, В. С. Круглов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 24–25 октября 2023 года. Том Выпуск 9. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 203-206.

3. Examination of the Accuracy of Movement Tracking Systems for Monitoring Exercise for Musculoskeletal Rehabilitation / A. D. Obukhov, A. Volkov, A. N. Pchelintsev [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 19. – P. 8058. – DOI 10.3390/s23198058.

**Abas Wisam Mahdi Abas<sup>1</sup>, Ahmed Nafea Ayesh<sup>2</sup>, Egorov S.Ya.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Diyala University – Iraq,

e-mail: wisam.mahdi@uodiyala.edu.iq

<sup>2</sup>Al-Iraqia University - Baghdad -Iraq,

e-mail: ahmed.n.ayesh@aliraqia.edu.iq

<sup>3</sup> Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: egorovsy@yandex.ru

## **IMPLEMENTING SCALABLE DATA MINING SOLUTIONS FOR REAL-TIME BIG DATA PROCESSING IN CLOUD ECOSYSTEMS**

*Abstract.* In this paper, we present a search-focused distributed web service framework for fast document retrieval that enables data mining services in generating near real-time smoothed outputs on fast search commercial search engine technologies. Subsequently, we explain early fair scheduling optimization mechanisms that are designed for the incremental computation of cross-feature patterns from a time series of predictive and clustering mining analysis results.

*Keywords:* Scalable Data Mining, Real Time Big Data Processing, Cloud Ecosystem, Scalable Data Mining, Real Time Big Data Processing, Cloud Ecosystem.

### **1. Introduction**

Real-time big data processing solutions that are capable of extracting useful patterns and insights are critical to guide the decision-making process in almost all facets of human endeavor[1]. These include scientific discovery, creating new knowledge, decision support, crime prevention, healthcare, and national security. The main objective of data-driven research is to extract high-quality information from data[2]. There are, broadly, two stages in information extraction: data modeling and optimization formulation [3]. Data modeling combined with scalable search is one of the key techniques used in the design of effective data mining solutions. In this paper we discuss implementing scalable data mining solutions for real-time big data processing in cloud ecosystems. With generation and storage always increasing, the challenge today is storing this data, creating data mining solutions able to generate new algorithms and implementations capable of working with these new storage solutions[4].

### **2. Main part**

The ability to process vast volumes of data in real-time is recognized as big data processing. There are several techniques for processing big data, such as cloud computing, parallel and distributed processing across hundreds or thousands of servers within data centers, and real-time business intelligence streaming. The cloud infrastructure for real-time big data processing contains two key components that together enable the processing and analysis of real-time streaming data. The first component introduces a new stream processing architecture called distributed stream processing facilities and grid-based accelerator examples to provide efficient and scalable real-time analysis of map-reduce-like queries for

data. The second component introduces two massively parallel processing facilities called GPU and FPGA to provide very low-latency processing of a large number of simple real-time data-mining queries[5]. The substantial increase in the speed of modern silicon devices primarily benefits data-mining queries.

The cloud infrastructure for real-time big data processing introduces reactivity into what is otherwise a static analysis of batch data. The system should capture the growing demand for capabilities around real-time big data processing and analysis, including quick wins such as 'what is happening right now' and more trend-oriented 'what will happen next.' The data is coming from both traditional and social media channels, whether it be financial transaction data, near real-time call data records, or streaming click and presence data. In the presence of a business opportunity, it is reassuring to know that from a technology perspective, this kind of analysis is feasible; the infrastructure to leverage such analysis exists and is used by the industry; and finally, in reality, one can make informed decisions on an event driven by what is happening right now[6]. The text represents a scalable real-time cloud infrastructure for streaming big data analysis, providing advanced data processing and business intelligence with cloud technologies.

Understanding the limitations and the difficulty of testing real-time applications on cloud infrastructures at a large scale, we developed a simulation model to understand the behavior of the presented algorithm in practice. In this scenario, we decided to simulate on a distributed, fault-tolerant data processing engine that has been running in production for many years and has provided a lot of valuable experience in building real-time processing systems. This engine is also deeply integrated with the two most popular cloud platforms.

We sought to demonstrate that the proposed solution for problems in real-time big data processing can run smoothly in a cloud. In addition, we were able to solve the problem with a solution to be implemented and integrated into a platform where the applications have a real-time restriction.

Several factors should be taken into consideration while implementing data processing solutions in the scope of scalable big data processing for data mining. These considerations are mainly problems of in-memory data applications, such as high data transfer speed being potential bottlenecks for data transfer bandwidths, the network topologies of the cloud service provider, memory being at a premium with regards to the limitations, and the need for big data persistence such as data that must remain unchanged for a fixed amount of time. Big data processing applications must be integrated into traditional IT systems in an efficient manner to improve overall quality. In addition, the use of public cloud services can create other difficulties such as log information security considerations. Various compliance and auditing methodologies must also be dealt with. The cost allocation directly related to data processing on the cloud services is another influential factor that decision makers need to consider to implement the optimal strategy.

In many cases existing high-performance data mining solutions have been designed mainly to cope specifically with batches of big data using conventional networks and databases. While we cannot completely swap batch processing solutions for streaming or in-memory solutions in all cases, mixing streaming, batch, or in-memory large-scale data

analytics may offer more significant and beneficial practical real-time results. Data streaming solutions themselves are not useful unless being incorporated into a wider context, which could include data storage for persisting portions of the stream or even batch data analyses, which could consider the periodicity exhibited in the mature data of raw data streams.

### 3. RESULT AND ANALYSIS

This study implements scalable data mining solutions for real-time big data processing services in a cloud ecosystem. Specifically, we proposed employing a distributed message broker and a large-scale processing system to process real-time big data services based on the Lambda architecture. Based on data mining with real-time big data, we implemented a number of valuable case studies to evaluate the performance of the big data processing environment we built to demonstrate the feasibility of our proposed approaches. In this study, we proposed integrating a distributed message broker and a large-scale processing system, and parallelly retrieving data stored to perform a set of data processing tasks within another topology. Through experiments collecting millions of GPS logs, this big data provided significant and real-time data mining results for huge application scenarios such as location-based services, transportation systems, or traffic communications. In the future, we will further employ advanced data mining models in our algorithms, such as multiple time series anomaly detection and mining parallel costs of facilities, arrival rate prediction, and online cost-modifying for dynamic item refreshment.

### 4. CONCLUSION

Conclusion In this paper, we presented the concrete role of cloud computing as a practical ecosystem in supporting the implementations of scalable data mining solutions for real-time big data analytics. We discussed and explained sophisticated architectures required for implementing such services in the cloud for efficient big data mining and the dynamic challenges that were brought to bear through the implementations of proposed services.

### References

1. M. K. Gupta and P. Chandra, "A comprehensive survey of data mining," *International Journal of Information Technology*, 2020. [HTML]
2. J. Chen, L. Ramanathan, and M. Alazab, "Holistic big data integrated artificial intelligent modeling to improve privacy and security in data management of smart cities," *Microprocessors and Microsystems*, 2021. [HTML]
3. W. Haoxiang and S. Smys, "Big data analysis and perturbation using data mining algorithm," *\*Journal of Soft Computing Paradigm\**, vol. 2021. archive.org
4. Y. Liu, W. Yu, W. Rahayu, and T. Dillon, "An evaluative study on IoT ecosystem for smart predictive maintenance (IoT-SPM) in manufacturing: Multiview requirements and data quality," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. XX, no. XX, pp. XX-XX, 2023. [HTML]
5. J. Wang, Y. Yang, T. Wang, and R. S. Sherratt, "Big data service architecture: a survey," *Journal of Internet*, vol. 2020, pp. 1-10, 2020. ndhu.edu.tw
6. E. Mehmood and T. Anees, "Challenges and solutions for processing real-time big data stream: a systematic literature review," *IEEE Access*, 2020. ieee.org

УДК 004.89

**Шаталова И. А.<sup>1</sup>, Маслов П. Ф.<sup>2</sup>, Дивин А.Г.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: shatalova.02@mail.ru

<sup>2</sup>yack.uk@yandex.ru

<sup>3</sup>agd@yandex.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОМ КОНТРОЛЕ ЯБЛОК**

**Shatalova I. A.<sup>1</sup>, Maslov P. F.<sup>1</sup>, Divin A.G.<sup>1</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: shatalova.02@mail.ru

<sup>2</sup>yack.uk@yandex.ru

<sup>3</sup>agd@yandex.ru

## **APPLICATION OF MACHINE LEARNING FOR DATA ANALYSIS IN HYPERSPSPECTRAL MONITORING OF APPLES**

*Аннотация.* В тезисах доклада рассмотрено применение гиперспектрального контроля совместно с методами машинного обучения с целью прогнозирования качества яблок. Приведены результаты использования метода главных компонент для уменьшения количества предикторов дискриминантных функций классификации. Предложенный подход позволяет идентифицировать растительные ткани яблок по трем категориям: здоровые, загнившие и содержащие ушибы.

*Ключевые слова:* гиперспектральный контроль, машинное обучение, сельское хозяйство, мониторинг сельхозкультур, гиперспектральные камеры, яблоки.

*Abstract.* The paper considers the use of hyperspectral control together with machine learning methods to determine the quality of apples. The results of using the principal component method to reduce the number of predictors of discriminant classification functions are presented. The proposed approach allows classifying plant tissues of apples into three categories: healthy, rotten and containing bruises.

*Keywords:* hyperspectral monitoring, machine learning, agriculture, crop monitoring, hyperspectral cameras, apples.

Гиперспектральный контроль является современным методом мониторинга сельскохозяйственных культур, позволяющим проводить высокоточный анализ состояния растений на основе спектральных характеристик. Использование технологий машинного обучения значительно расширяет возможности гиперспектрального контроля, повышая его точность и эффективность [1]. В данной статье рассматривается

применение методов машинного обучения для анализа данных при гиперспектральном контроле яблок.

Исследования проводились при помощи гиперспектральной камеры Specim FX10 (Финляндия), позволяющей получать информацию о спектре отраженного излучения вдоль линии сканирования в диапазоне 400 – 1000 нм с шагом 2,7 нм. Объектом исследования являлись растительные ткани яблок сорта «Лобо» трех категорий: «Здоровая», «Загнившая», «Ушиб». Для получения последней категории на растительную ткань яблока воздействовали механически до момента уверенно обнаруживаемой деформации поверхности [2]. Поверхность яблок освещалась при помощи двух галогенных ламп мощностью 1 кВт. Камера располагалась на высоте до 0.5 м от поверхности яблок [3]. В результате, было получено 30 спектрограмм для участков тканей вышеназванных категорий. Учитывая, что условия освещения областей исследования могли быть различными, спектрограммы нормировались так, чтобы значения относительной спектральной яркости находились в диапазоне 0 – 1.

Так как гиперспектральные данные, полученные с использованием данной камеры, имеют 224 значения спектральной яркости, то возникает необходимость сокращения данных (независимых переменных). Для этого использовался метод главных компонент, который позволяет выявить наиболее информативные признаки. Данный метод позволяет построить подпространство ортогональных векторов, являющихся главными компонентами, в котором дисперсия выборки будет максимальна. Метод был реализован на платформе Google Colab на языке Python с использованием библиотеки Scikit-learn.

В процессе анализа данных было выявлено, что наиболее информативными длинами волн являются: 518.8, 559.3, 602.5, 680.8, 710.5, 780.7, 894.1 нм. При этом первый главный компонент PC1 объясняет исходную дисперсию данных на 95%. Как видно из рис. 1, метод главных компонент позволяет уверенно классифицировать растительные ткани яблок по 3 вышеназванным категориям в пространстве первых трех главных компонент PC1, PC2, PC3.

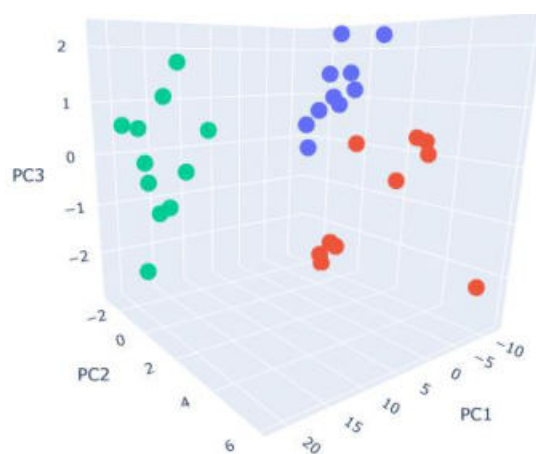


Рис. 1. Результат применения метода главных компонент: синим цветом показаны объекты, соответствующие здоровой ткани, красным – ткани с ушибом, зелёным – ткани с гнилью

Для автоматической классификации яблок по категориям предлагается использовать дискриминантные функции, позволяющие определять значения  $Z_i$ , являющиеся линейными функциями от первого главного компонента.

$$Z_i(PC1) = \beta_i \cdot PC1 + \alpha_i, i=1, 2, 3$$

где  $\beta$  – весовой коэффициент, PC1 – первый главный компонент,  $\alpha$  – свободный член,  $i$  – номер соответствующей категории растительной ткани.

Рассчитанные значения весовых коэффициентов и свободных членов для указанной функции:  $\beta_1 = 596.6$ ,  $\beta_2 = -203.8$ ,  $\beta_3 = -110.5$ ,  $\alpha_1 = -292.8$ ;  $\alpha_2 = -118.7$ ;  $\alpha_3 = -51.5$ .

За прогноз принимается значение  $i$ , для которого функция  $Z(PC1)$  принимает максимальное значение.

Проведенный на контрольной выборке контроль качества классификации показал, что дискриминантный анализ обеспечивает 100% правильность прогнозирования категорий растительных тканей яблок сорта «Лобо» по трем категориям.

#### Список использованных источников

1. Вьюгин, В. В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования: учебник для вузов / В. В. Вьюгин ; МЦНМО — 2-е изд. — Москва : МЦНМО, 2018. — 484 с.
2. Ягодин, Б.А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко — М.: Колос, 2002. — 584 с.
3. Жиркова, А. А. Анализ спектрограмм фруктов / А. А. Жиркова, П. В. Балабанов, А. Г. Дивин // Аллея науки. — 2021. — Т. 1, № 6(57). — С. 1115-1119.



УДК 004.048

**Николюкин М. С., Обухов А. Д., Свешников А. Ю.**

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: ch1ppyone@mail.ru

**ИНТЕГРАЦИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ  
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ЛИНИЙ ПОДДЕРЖКИ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**Nikolyukin M. S., Obukhov A. D., Sveshnikov A. Yu.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: ch1ppyone@mail.ru

**INTEGRATION OF MULTIMODAL LARGE LANGUAGE MODELS FOR  
OPTIMIZING FIRST AND SECOND LINE SUPPORT AT INDUSTRIAL SITES**

*Аннотация.* В статье рассматривается архитектура системы, интегрирующей мультимодальные большие языковые модели (LLM) и компьютерное зрение (CV) для поддержки принятия решений на промышленных объектах. Описаны ключевые компоненты системы, такие как подсистема обработки CV, мультимодальная LLM и модуль анализа в реальном времени. Приведены примеры применения системы для автоматизации поддержки операторов промышленных объектов.

*Ключевые слова:* мультимодальная LLM, компьютерное зрение, принятие решений, промышленная автоматизация

*Abstract.* The article discusses the architecture of a system that integrates multimodal large language models (LLM) and computer vision (CV) for decision support at industrial sites. Key components of the system, such as the CV processing subsystem, multimodal LLM, and real-time analysis module, are described. Examples of system applications for automating operator support at industrial sites are provided.

*Keywords:* multimodal LLM, computer vision, decision support, industrial automation

Современные промышленные объекты неизбежно сталкиваются с вызовами в области оптимизации решений и автоматизации задач, требующих участия человеческих операторов и экспертов. Несмотря на значительный прогресс в области технологий автоматизации, множество операций всё ещё зависит от поддержки первого (L1) и второго (L2) уровней, что увеличивает операционные затраты и снижает общую эффективность производственных процессов. L1 и L2 поддержка подразумевает вмешательство сотрудников для решения рутинных задач и устранения несложных, но повторяющихся ошибок, возникающих в ходе эксплуатации систем. Введение современных интеллектуальных решений, включая большие языковые модели (LLM), открывает возможность значительного сокращения необходимости в участии L1 и L2

линий, автоматизируя многие аспекты устранения неисправностей и обработки типичных ситуаций [1]. Тем не менее, ключевая проблема заключается в том, что традиционные системы, даже с применением технологий компьютерного зрения (CV), пока что не способны эффективно функционировать без постоянного участия экспертов и операторов.

Одним из возможных решений данной проблемы является использование систем, построенных на основе архитектуры Retrieval-Augmented Generation (RAG). Такие системы объединяют мощные возможности больших языковых моделей в анализе текстовых данных с их способностью работать с разнообразными мультимодальными источниками информации, включая видеопотоки или синтетические данные, сгенерированные в имитационных средах. Эти синтетические данные активно используются для дополнительного обучения моделей, таких как LLama 3.2, что позволяет им одновременно обрабатывать визуальные и текстовые данные в режиме реального времени, предлагая при этом точные и контекстуально релевантные решения.

В отличие от традиционных систем, например систем компьютерного зрения (CV) для мониторинга производственных процессов, которые ограничены функциями фиксации отклонений, RAG-системы способны предоставлять конкретные рекомендации и действия по устранению ошибок. CV-системы, как правило, лишь фиксируют аномалии, не предлагая решения по их исправлению. В таких ситуациях требуется привлечение специалистов L1 и L2 линий поддержки, которые выполняют анализ проблемы и разрабатывают рекомендации по её устранению. Это не только замедляет процесс исправления, но и существенно увеличивает затраты на персонал. Линия поддержки L1 занимается обработкой базовых запросов и устранением распространённых ошибок, тогда как L2 поддержка подключается для более сложных технических задач, требующих глубокой диагностики и специализированных знаний.

Внедрение модели LLama 3.2, дообученной на данных, полученных с помощью систем компьютерного зрения (CV) или синтетических данных из имитационных сред, позволяет автоматизировать процессы поддержки практически полностью. Эта модель обучена не только на типичных ошибках и действиях операторов, но и на их корректировке, что делает её способной не только выявлять сбои, но и предоставлять рекомендации по их исправлению [2]. Например, на складе, оснащённом видеокамерами, система отслеживает действия операторов в реальном времени. При возникновении ошибок, таких как неправильное сканирование штрих-кодов или неверное перемещение товаров, система моментально реагирует, предлагая оператору точные инструкции по исправлению, опираясь на ранее обученные паттерны. Архитектура такой системы в виде диаграммы компонентов UML представлена на рисунке 1.

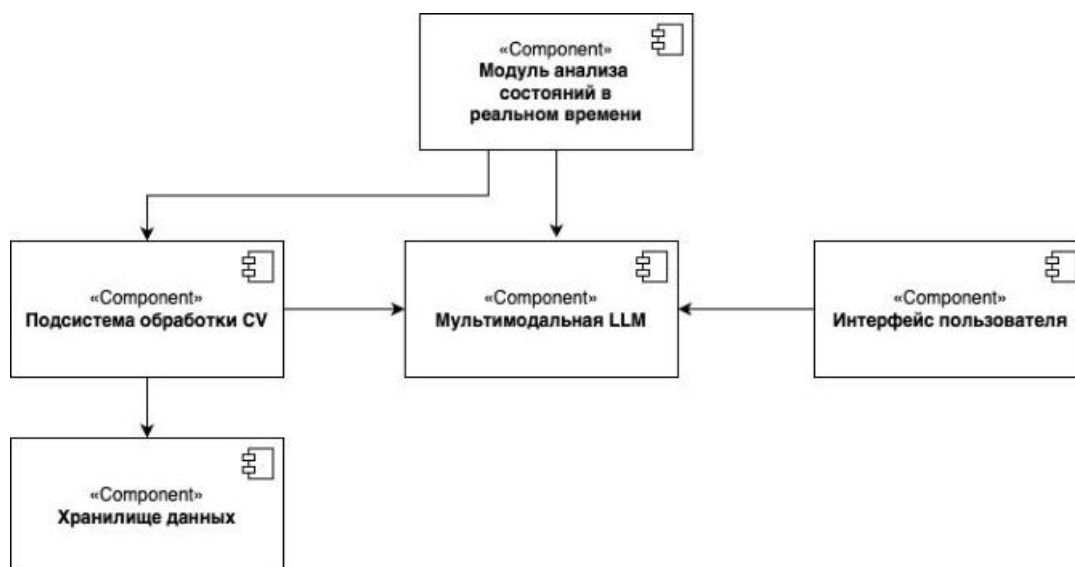


Рис. 1. Архитектура RAG-системы

Эта архитектура представляет собой интегрированную систему поддержки принятия решений для промышленных объектов, которая основана на взаимодействии мультимодальных больших языковых моделей (LLM) и технологий компьютерного зрения (CV). Визуальные данные, собранные подсистемой CV, анализируются и сохраняются в хранилище данных для последующего анализа и дообучения LLM в будущем. Мультимодальная LLM, обладающая способностью обрабатывать как текстовые, так и визуальные данные, тесно взаимодействует с модулем анализа состояний в реальном времени, предоставляя актуальные рекомендации для оптимизации процессов. Операторы получают всю информацию через удобный интерфейс пользователя, что позволяет им оперативно реагировать на возникающие ситуации и минимизировать необходимость в ручном вмешательстве.

Такая автоматизация фактически заменяет традиционную L1 и L2 поддержку, так как система не требует вмешательства специалистов для диагностики или исправления ошибок. Её способность мультимодально анализировать данные является одним из ключевых преимуществ [3]. Благодаря этому Llama 3.2 объединяет информацию из различных источников: система компьютерного зрения может фиксировать отклонения в работе оборудования или в действиях оператора, а большая языковая модель, обученная на реальных или синтетических данных, генерированных в имитационной среде, предлагает оптимальные решения для исправления ситуации. Это значительно снижает нагрузку на персонал и устраняет необходимость в обращении к специалистам L1 и L2 поддержки.

Пример такого подхода можно наблюдать на складах, где система с помощью видеокamer контролирует все основные складские бизнес-процессы. В случае возникновения ошибок, например, неверного размещения товара или ошибки при работе с погрузчиком, система моментально уведомляет оператора и предлагает корректирующие действия. Это позволяет избежать задержек и затрат, связанных с привлечением специалистов L1 и L2 уровней поддержки.

Таким образом, внедрение систем, основанных на архитектуре RAG и дообученных на видеоданных или синтетических данных, значительно повышает эффективность промышленных объектов. Они обеспечивают автономную диагностику и исправление ошибок, сокращая затраты на персонал и увеличивая скорость рабочих процессов, что, в итоге, повышает производственную эффективность.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Разработка иммерсивной системы взаимодействия с виртуальной реальностью для профессиональной подготовки на основе всенаправленной платформы» (FEMU-2024-0005)*

#### Список использованных источников

1. Громов М. С. Большие языковые модели: текущее состояние, оценки и прогнозы / М. С. Громов, М. Г. Чертовских // Международный бизнес. – 2024. – № 3 (5). – С. 24-31.
2. Wu S. Next-gpt: Any-to-any multimodal llm / S. Wu // arXiv preprint arXiv:2309.05519. – 2023.
3. Chen H. Multi-Modal Generative AI: Multi-modal LLM, Diffusion and Beyond / H. Chen // arXiv preprint arXiv:2409.14993. – 2024.

УДК004.9

**Санников С.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: sannikov@tagat.ru

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ В РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЕ ДАННЫХ**

**Sannikov S.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: sannikov@tagat.ru

## **REPRESENTATION OF THE GALVANIC LINE INFORMATION MODEL IN A RELATIONAL DATABASE**

*Аннотация.* Рассматривается подход к практической реализации информационной модели, предназначенной для определения проектирования гальванической линии. Информационная модель включает в себя объекты предметной области и правила, связывающие свойства этих объектов. Предлагается схема реляционной базы данных, предназначенной для хранения объектов и правил.

*Ключевые слова:* гальваническая линия, автоматизированное проектирование, информационная модель, база данных.

*Abstract.* An approach to the practical implementation of an information model designed to determine the design of a galvanic line is considered. The information model includes domain objects and rules linking the properties of these objects. The scheme of a relational database designed for storing objects and rules is proposed.

*Keywords:* galvanic line, computer-aided design, information model, database

Гальванические покрытия широко используются практически во всех отраслях промышленности. Они предназначены для защиты поверхности деталей от воздействия окружающей среды или для придания изделиям декоративных свойств.

Процесс нанесения гальванических покрытий осуществляется в гальванических линиях, оборудование которых состоит из типовых элементов, что позволяет разработать автоматизированную систему проектирования гальванических линий, получение конструкторской документации в которой осуществляется с минимальным участием человека.

Выполненный в работе [1] системный анализ процесса проектирования линий для электрохимической и химической обработки деталей показал, что основой такой системы является информационная модель, позволяющая принимать конструкторские решения по исходным данным технического задания.

Ниже рассматривается подход к созданию и практической реализации информационной модели, позволяющей определить материал корпусов ванн и компоненты ванны, необходимые для проведения заданного процесса электрохимической обработки.

Информационно модель  $IM$  поддержки принятия конструкторско-технологических решений состоит из множества объектов предметной области  $ОПО$  и множества правил  $ППО$ , связывающих эти объект

$$IM = \langle ОПО, ППО \rangle. \quad (1)$$

Объекты предметной области описываются кортежем (классы объектов предметной области):

$$ОПО = \langle V, ТО, ТС, ТА, ВК, МК, МВК, ТМ, ВО, АО, РС \rangle, \quad (2)$$

где:  $V$  – типы корпусов (корпус химической и электрохимической обработки, корпус химического и электрохимического обезжиривания и др.)

$ТО$  – технологические операции (загрузка, – химическое обезжиривание и др.);

$ТС$  – технологических спутники (подвески, корзины и др.);

$ТА$  – степени автоматизации оборудования (автоматическая линия, полуавтоматическая линия);

$ВК$  – внутренние компоненты ванн (коллектор нагрева, наливная труба и др.);

$МК$  – материалы для изготовления корпусов (полипропилен гомополимер, поливинилхлорид и др.);

$ТМ$  – рабочие температур (цеховая температура, температура 25...40<sup>0</sup>С и др.);

$ВО$  – вспомогательное оборудование (выпрямительный агрегат, насос);

$АО$  – автооператоры (подвесной автооператор, консольный автооператор);

$РС$  – рабочие сред (азотная кислота, щелочи и др.);

Примеры  $ППО$ .

Пример правила выбора материала корпуса. Правило 1. Если ((рабочая среда = (кислоты (кроме азотной и концентрированной серной кислот)) или (концентрированная серная кислота) или (щелочи) или (хромсодержащая среда)) и (рабочая температура = (цеховая температура) или (температура 25...40<sup>0</sup>С) или (температура 40...60<sup>0</sup>С))), то (материал корпуса = (поливинилхлорид))

Пример правила выбора внутренних компонентов ванны. Правило 2. Если ((технологическая операция = химическое обезжиривание) и (температура раствора = (температура 25...40<sup>0</sup>С) или (температура 40...60<sup>0</sup>С) или (температура 60...90<sup>0</sup>С)) и (тип перемешивания = воздушный) и (тип нагрева = пар))) то (множество внутренних компонентов ванны = барботер и эрлифт и (устройство очистки зеркала) и (коллектор нагрева) и (датчик температуры) и (датчик уровня))

Для практической реализации информационной модели в работах [2,3] предлагается использовать реляционную базу.

Схема реляционной базы для хранения информационной модели (1) представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема реляционной базы для хранения информационной модели (1).

Таблица **Классы\_объектов\_ПО** содержит перечень классов, представленных в выражении (2), таблица **Объекты\_ПО** содержит перечень объектов классов, таблица **Правила\_ПО** содержит правила на естественном языке (поле **Текст\_на\_ЕЯ**) и на SQL (поле **Текст\_на\_SQL**). Поскольку в правилах на SQL будут присутствовать коды объектов, то для сохранения ссылочной целостности базы вводится таблица **Объекты\_Правила**, в которую для каждого правила записываются коды объектов, входящих в это правило. Таблица **Техническое\_задание** содержит исходные данные для проектирования гальванической линии, в таблицу **Результат** записывается результат обработки правила.

Рассмотрим запись **Правила 2**, для которого имеет **Код\_правила=2**, на SQL. Предположим, что объекты имеют следующий **Код\_Объекта**: химическое обезжиривание – 5; температура 25...40<sup>0</sup>С – 12; температура 40...60<sup>0</sup>С – 14; температура 60...90<sup>0</sup>С – 60; воздушный – 35; пар – 40; барботер – 70; эрлифт – 90; устройство очистки зеркала – 33; коллектор нагрева – 56; датчик температуры – 49; датчик уровня – 81.

Правило 2 на SQL можно записать следующим образом.

*if exists ( select \* from T3 where Код\_Объекта=5) and ((select \* from T3 where Код\_Объекта=12) or (select \* from T3 where Код\_Объекта=14) or (select \* from T3 where Код\_Объекта=5)) and (select \* from T3 where Код\_Объекта=35)*

```

begin
  insert Результат values (70,2)
  insert Результат values (90,2)
  insert Результат values (33,2)
  insert Результат values (56,2)
  insert Результат values (49,2)
  insert Результат values (81,2)
  set @ret=1
end

```

Представленный код программы является упрощенным и демонстрирует возможность записи и обработки правил в реляционной базе данных.

#### Список использованных источников

1. Санников, С. А. Системный анализ процесса проектирования линий для электрохимической и химической обработки деталей / С. А. Санников, В. Г. Мокрозуб, М. С. Калистратов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 6-16. – DOI 10.17277/vestnik.2023.01.pp.006-016. – EDN IUUWBD.
2. Мокрозуб, В.Г. Применение N – ориентированных гиперграфов и реляционных баз данных для структурного и параметрического синтеза технических систем / В.Г.Мокрозуб, В.А.Немтинов, А.С.Мордвин, А.А.Илясов // Прикладная информатика. – 2010.- №4(28). – С. 115-122.
3. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г.Мокрозуб, В.А.Немтинов, С.Я.Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве 2010. №3 С. 68-73.
4. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.



УДК 004.9

**Мокрозуб В.Г.<sup>1</sup>, Дьков Г.А.<sup>2</sup>, Носков А.Д.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru,

<sup>2,3</sup>e-mail: excel.love.avril@gmail.com

## **БАЗА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Mokrozub V.G.<sup>1</sup>, Dykov G.A.<sup>2</sup>, Noskov A.D.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: mokrozubv@yandex.ru

<sup>2,3</sup>e-mail: excel.love.avril@gmail.com

## **THE BASE FOR DEVICES FOR THE MANUFACTURE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

*Аннотация.* Представлена структура реляционной базы данных, предназначенной для хранения и выбора типоразмеров приспособлений для изготовления технологического оборудования. База является элементом разрабатываемой авторами учебно-промышленной системы автоматизированного проектирования технологического оборудования.

*Ключевые слова:* автоматизированное проектирование, база типоразмеров, приспособления, изготовление, технологическое оборудование.

*Abstract.* The structure of a relational database designed to store standard sizes of devices for manufacturing technological equipment is presented. The database is an element of the educational and industrial system of computer-aided design of technological equipment developed by the authors.

*Keywords:* computer-aided design, a database of standard sizes, fixtures, manufacturing, technological equipment..

Автоматизации проектирования (конструирование) технологического оборудования уделяется в настоящее время много внимания. Между тем, при изготовлении этого оборудования используется достаточно много приспособлений, позволяющих точно выполнять технологические операции.

Как правило имеется серия приспособлений одного типа, отличающиеся рамерами. На рисунке 1 представлен пример разжимного кольца и таблица размеров в зависимости от его диаметра.

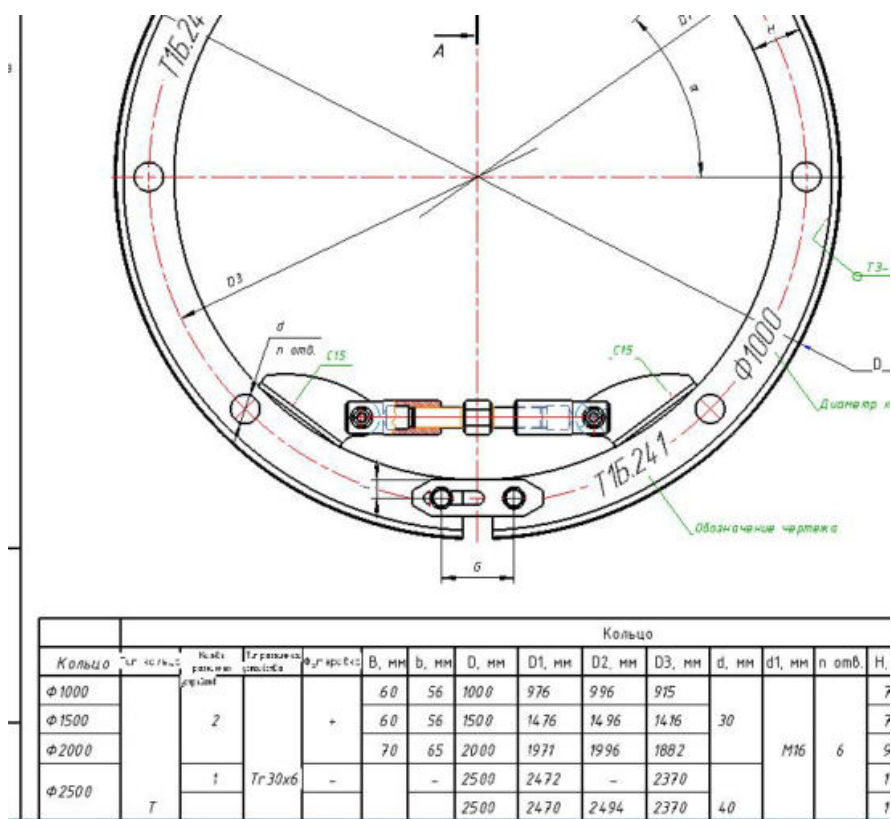


Рис. 1. Размеры разжимного кольца

На рисунке 2 представлена схема реляционной базы данных, предназначенной для хранения размеров приспособлений, на рисунке 3 – схема реляционной базы, предназначенной для выбора необходимых приспособлений в зависимости от изготавливаемого элемента технологического оборудования.

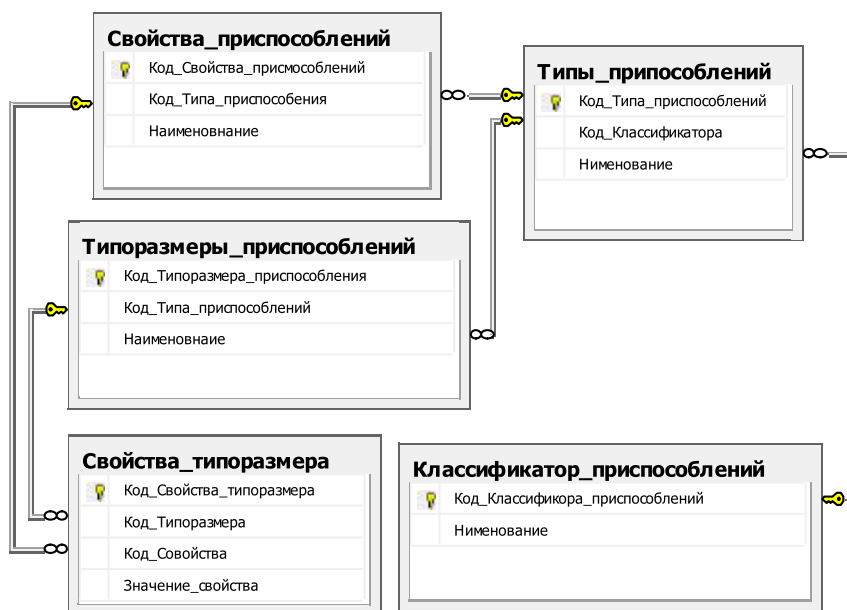


Рис. 2. Схема базы данных для хранения типоразмеров приспособлений



Рис. 3. Схема реляционной базы данных для выбора приспособлений, необходимых для изготовления элементов технологического оборудования

Свойства изготавливаемого оборудования представлены в таблице Задание. Правила выбора приспособлений, необходимых для изготовления элемента оборудования представлены в таблице Правила на естественном языке (поле Текст\_на\_ЕЯ) и в формате SQL (поле Текст\_на\_SQL). Пример правила на естественном языке: «Если изготавливается обечайка и после вальцовки нахлест кромок для сваривания, то необходимо приспособление «Кольцо разжимное». Результат работы правила записывается в таблицу Результат.

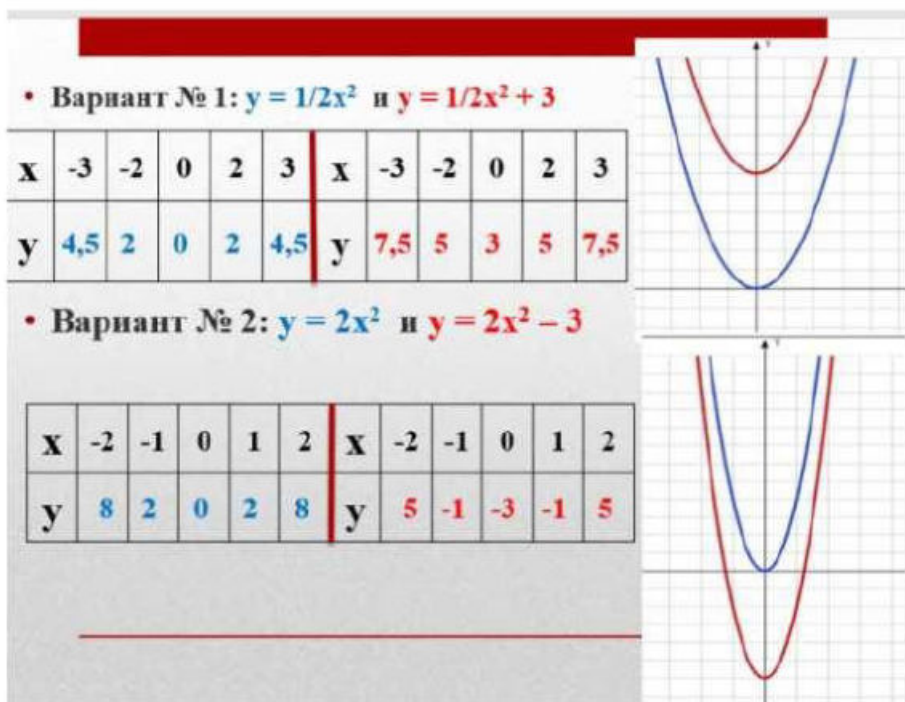
Представленная база данных является элементом разрабатываемой с участием авторов системы автоматизированного проектирования технологического оборудования [1], которая предназначена в том числе и для целей обучения [2].

#### Список использованных источников

1. Мокрозуб, В. Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 7. – С. 31-34. – EDN ULTIQF.
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.

## Секция

### ИНЖЕНЕРНАЯ ПЕДАГОГИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБУЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ



УДК 004.853

**Шипилова В. Г.<sup>1</sup>, Протасова Ю. В.<sup>2</sup>, Немтинов В. А.<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: shipilova.vika02@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

<sup>2</sup> Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Россия, г. Тамбов

e-mail: julia.nemtinova@yandex.ru

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ**

**Shipilova V. G.<sup>1</sup>, Protasova Yu. V.<sup>2</sup>, Nemtinov V. A.<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: shipilova.vika02@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

<sup>2</sup> Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Russia, Tambov

e-mail: julia.nemtinova@yandex.ru

## **DETERMINING THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF HUMAN EDUCATIONAL POTENTIAL USING THE THEORY OF HIERARCHICAL MULTI-LEVEL SYSTEMS**

*Аннотация.* В статье рассматривается образовательный потенциал человека как сложная система, которая включает когнитивные, эмоциональные и практические аспекты, зависящие от социально-экономического контекста и внешних факторов. Анализируется иерархическая структура образовательного процесса и предлагается методика для определения образовательного потенциала человека.

*Ключевые слова:* Образовательный потенциал, иерархические многоуровневые системы, количественная оценка, конкурентоспособная личность, влияющие факторы.

*Abstract.* The article examines the educational potential of a person as a complex system that includes cognitive, emotional and practical aspects dependent on the socio-economic context and external factors. The hierarchical structure of the educational process is analyzed and a methodology for determining the educational potential of a person is proposed.

*Keywords:* Educational potential, hierarchical multi-level systems, quantitative assessment, competitive personality, influencing factors.

Все педагогические теории, как правило, обусловлены идеальной моделью личности, на которую они ориентированы. Она, в свою очередь, определяется социально-экономическими потребностями общества, в котором происходит процесс.

В условиях становления рыночной экономики практически не осталось ни одной сферы производства или жизни, которую не нужно было бы выводить из кризисного состояния. В связи с этим все большее значение приобретает конкурентоспособная личность. При этом она должна стремиться к постоянному саморазвитию.

Образовательный потенциал человека - это способность личности развиваться и обучаться на протяжении всей жизни, а также реализовывать свои знания и навыки в различных областях деятельности. Этот потенциал включает в себя как врождённые характеристики, так и приобретённые навыки, которые формируются в процессе обучения [1].

Образовательный потенциал человека важен для понимания его способностей и возможностей в контексте личностного и профессионального развития. С точки зрения теории иерархических многоуровневых систем, предложенной М. Месаровичем, образовательный потенциал можно рассматривать как сложную систему, состоящую из различных уровней и элементов, которые взаимосвязаны и влияют друг на друга [2].

Рассмотрим ключевые аспекты системы:

- образовательный потенциал человека можно распределить по нескольким уровням: начальный, средний и высокий. Каждый уровень характеризуется новыми способностями, которые формируются на основе предыдущих, что соответствует иерархии уровней;

- образовательный потенциал включает в себя когнитивные (умственные) способности, эмоциональные (социальные и личностные) качества, а также практические навыки. Все эти элементы взаимодействуют, создавая уникальный профиль каждого человека;

- на образовательный потенциал человека влияют различные внешние факторы, такие как культурный контекст, экономическая ситуация, доступ к ресурсам (образовательным, материальным и социальным), а также поддержка со стороны семьи и общества;

- образовательный потенциал не является статичным. Он развивается и изменяется под воздействием как внутренних факторов (например, мотивации или интересов), так и внешних (например, образовательных программ или жизненных ситуаций), что соответствует динамической природе иерархических систем.

Используя подход Месаровича, можно разработать модели для анализа и диагностики образовательного потенциала, а также направлять образовательные усилия на развитие каждого уровня системы. Важно учитывать уровень развития и интересы человека для построения индивидуального образовательного маршрута [3]. Выявление слабых мест или возможных путей оптимизации поможет оценить воздействие различных факторов на образовательный процесс, что позволит разработать более эффективные методы работы с различными категориями обучающихся.

Образовательный потенциал человека - это сложное понятие, которое не может быть обосновано исключительно одной формулой, так как оно зависит от множества факторов. Тем не менее, можно представить общий подход к вычислению образовательного потенциала, основываясь на различных компонентах.

Предположим, что мы можем выразить образовательный потенциал ( $P$ ) человека как функцию от следующих переменных:

- $E$  (уровень образования, например, количество лет обучения, степень, квалификация);
- $X$  (опыт, например, количество лет работы в данной сфере или профессии);
- $Q$  (личные качества, например, мотивация, креативность, лидерские качества и др., которые можно оценить через опросы по шкале);
- $R$  (доступные ресурсы, например, книги, курсы или техническое оснащение);
- $I$  (когнитивные способности, например, уровень IQ);
- $S$  (социальная поддержка, например, влияние семьи или окружения).

Каждый из этих компонент может быть оценен по определенной шкале (например, от 0 до 10).

Тогда упрощенная формула будет иметь следующий вид:

$$P = f(E, X, Q, R, I, S),$$

где функция  $f$  может быть выражена как линейная комбинация этих факторов:

$$P = aE + bX + cQ + dR + eI + fS$$

Здесь  $a, b, c, d, e, f$  - коэффициенты, отражающие влияние каждого фактора на общий образовательный потенциал. Эти коэффициенты могут быть определены через статистический анализ или экспертные оценки. Такой подход позволяет количественно оценить образовательный потенциал, но важно учитывать, что каждый из факторов может иметь различное значение в зависимости от контекста и конкретной ситуации.

Формализация задачи определения образовательного потенциала человека может иметь следующий вид:

$$P_{opt} = \operatorname{argmax} F(K, D, T),$$

где функция  $F$  выражена как:

$$F(K, D, T) = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{D_i} \sum_{l=1}^{T_{ij}} (y_{ijl} + s_{ijl} + v_{ijl})}{K + D_i + T_{ij}},$$

где  $K$  – совокупность компетенций при реализации образовательной программы;  $D_i$  – совокупность дисциплин, обеспечивающих освоение  $i$ -ой компетенции;  $T_{ij}$  – совокупность технологий организации образовательного процесса в рамках  $j$ -ой дисциплины, обеспечивающей освоение  $i$ -ой компетенции;  $y_{ijl}$  – удовлетворенность студента при реализации в университете  $l$ -ой технологии организации образовательного процесса в рамках  $j$ -ой дисциплины, обеспечивающей освоение  $i$ -ой компетенции;  $s_{ijl}$  – оценка преподавателя при реализации в университете  $l$ -ой технологии организации образовательного процесса в рамках  $j$ -ой дисциплины, обеспечивающей освоение  $i$ -ой компетенции;  $v_{ijl}$  – самооценка обучающегося при реализации в университете  $l$ -ой технологии организации образовательного процесса в рамках  $j$ -ой дисциплины, обеспечивающей освоение  $i$ -ой компетенции.

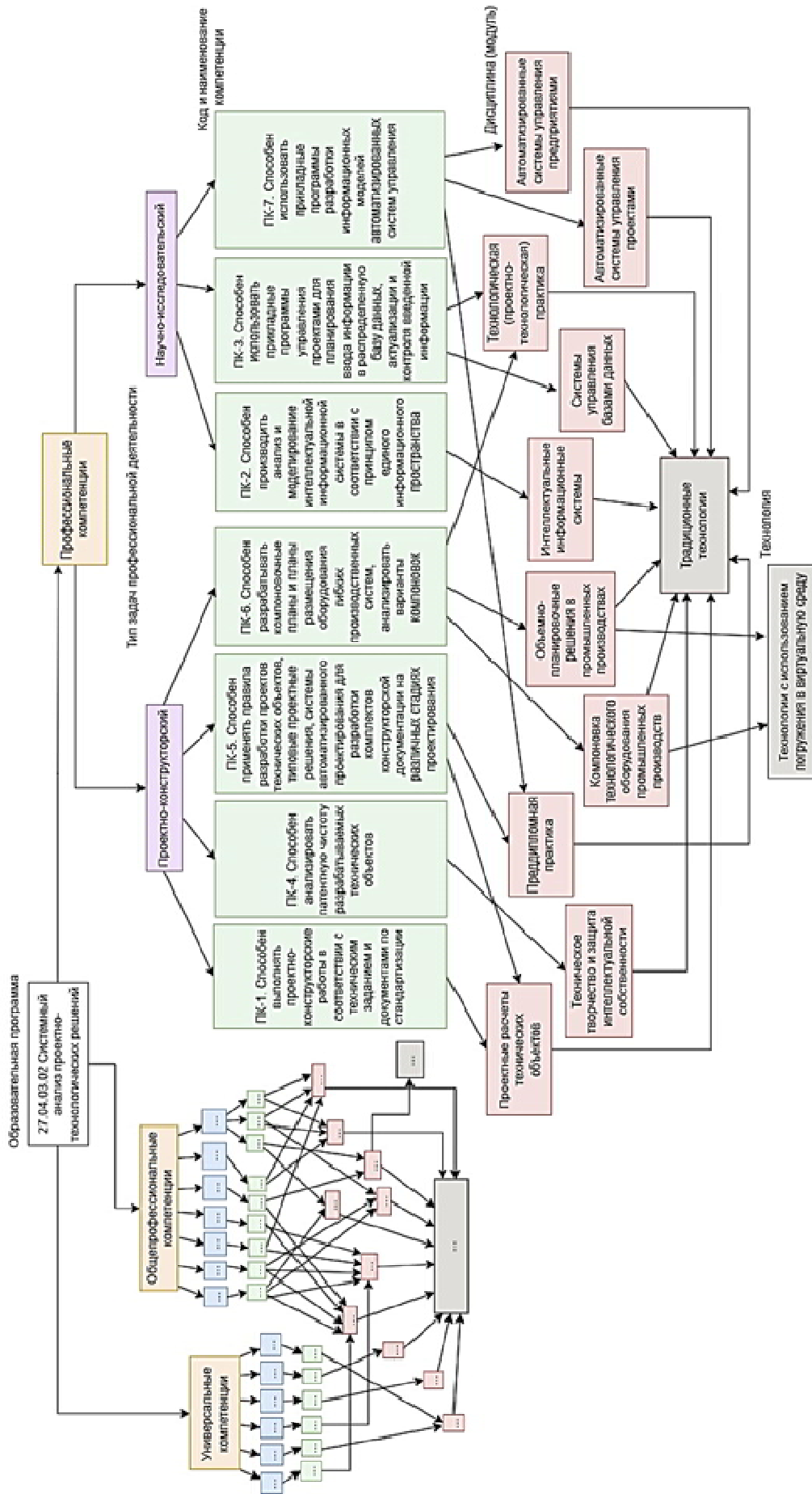


Рис. 1. Иерархическая структура процесса освоения образовательной программы высшего образования – программы магистратуры по направлению подготовки 27.04.03.02 Системный анализ проектно-технологических решений



В схеме на рисунке 1 отражены 3 рассматриваемых уровня: уровень компетенций, уровень дисциплин и уровень технологий [4].

Технологии с использованием погружения в виртуальную образовательную среду значительно трансформирует современное образование и открывают новые горизонты для увеличения образовательного потенциала человека. Эти технологии, включая виртуальную и дополненную реальность, предоставляют уникальные возможности для обучения и стимулируют развитие коммуникативных навыков и более интенсивный обмен информацией в процессе освоения нового академического материала [5]. На всех этапах освоения образовательной программы важной составляющей является оценка качества образовательного процесса.

Образовательный потенциал человека играет ключевую роль в его личной и профессиональной жизни. Он определяет, насколько успешно индивид сможет справляться со сложностями, достигать целей. В современном быстро меняющемся мире, где знания устаревают с каждым днем, способность к обучению и самосовершенствованию становится особенно ценным качеством. Инвестиции в развитие образовательного потенциала индивидуумов могут приводить к более высоким результатам не только на личном уровне, но и в масштабах общества в целом.

Изучение образовательного потенциала человека открывает множество возможностей для улучшения образовательных практик и систем. Будущее образования будет зависеть от способности индивидуумов адаптироваться к изменениям, учитывая широкий спектр факторов, влияющих на обучение и развитие личности. Сосредоточение усилий на исследовании этих вопросов поможет сформировать более эффективные и инклюзивные образовательные среды, соответствующие вызовам XXI века.

Создание инклюзивных образовательных сред с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта, на примере внедрения обучения с подкреплением, контролируемого и неконтролируемого обучения, генеративных моделей представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в современном образовании.

#### Список использованных источников

1. Комарова, О. А. Образовательный потенциал человека: сущность и характеристики / О. А. Комарова // Человеческий капитал. – 2024. – № 3(183). – С. 142-152. – DOI 10.25629/НС.2024.03.12. – EDN ZPYNXS.
2. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] : пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако и И. Такахара ; под ред. И. Ф. Шахнова ; предисл. чл.-кор. АН СССР Г. С. Поспелова. — Москва : Мир, 1973. — 344 с. : черт. : 22 см.
3. Соколова, И. Ю. Личностный потенциал человека и его развитие в образовательном процессе жизнедеятельности / И. Ю. Соколова, Е. Е. Борисова // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 6-2. – С. 421-426. – EDN WDIEIT.

4. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – 266 с. – ISBN 978-5-8265-2608-8.

5. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды / В. А. Немтинов, А. Б. Борисенко, В. В. Морозов, Ю. В. Немтинова // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. – DOI 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113. – EDN AIOTFA.

## Секция

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ



УДК 544.431

**Ростова Д.П., Кровякова Е.И., Дегтярев А.А., Коростылев А., Яковлева А.Н.,**  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов,  
e-mail: rostova.dariya@yandex.ru

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕРНОЙ И ИЗОЦИАНОВОЙ КИСЛОТ

**Rostova D.P. Krovyakova E.I., Degtyarev A.A., Korostylev A.A, Yakovleva A.N.,**  
Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: rostova.dariya@yandex.ru

### INTERACTION OF SULFURIC AND ISOCYANIC ACID

*Аннотация.* Рассматривается один из путей получения сульфаминовой кислоты взаимодействием серной и изоциановой кислот. Определено значение энергетического барьера реакции, констант скоростей, изменение концентраций реагентов и продуктов в ходе реакции и устойчивость продуктов реакций.

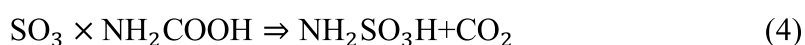
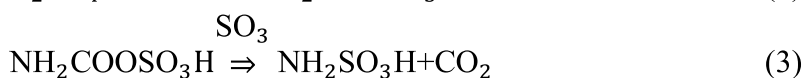
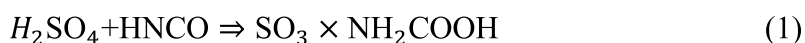
*Ключевые слова:* олеум, изоциановая кислота, сульфирование, константа скорости, сульфаминовая кислота.

*Abstract.* The process of obtaining sulfamic acid by interaction of sulfuric and isocyanic acids was investigated. The value of the energy barrier of the reaction, the rate constants of change of concentrations of reagents and products during the reaction, stability of the reaction products were determined.

*Keywords:* oleum, isocyanic acid, sulfuration, rate constant, sulfonic acid.

Механизмы получения сульфаминовой кислоты достоверно не изучены. Ранее были опубликованы крупные работы на эту тему [1,2], они дали хорошую основу для дальнейших исследований.

Предложим следующий путь взаимодействия изоциановой и серной кислот. Отмечены следующие продукты: карбаминовая, карбамоилсульфоная и сульфаминовая кислоты (1-5).



Запишем уравнения для нахождения скоростей используемых реакций:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= k_1 C_{H_2SO_4} C_{HNCO} - k_{-1} C_{SO_3 \times NH_2COOH} \\
 r_2 &= k_2 C_{H_2SO_4} C_{HNCO} - k_{-2} C_{NH_2COOSO_3H} \\
 r_3 &= k_3 C_{NH_2COOSO_3H} - k_{-3} C_{NH_2SO_3H} C_{CO_2} \\
 r_4 &= k_4 C_{SO_3 \times NH_2COOH} C_{HNCO} - k_4 C_{NH_2SO_3H} C_{CO_2} \\
 r_5 &= k_5 C_{H_2SO_4} C_{HNCO} - k_{-5} C_{SO_3} C_{NH_2COOH}
 \end{aligned}$$

Система дифференциальных уравнений, отражающая изменение концентрации, прописана следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_{NH_2SO_3H}}{d\tau} &= r_3 + r_4 \\
 \frac{dC_{HNCO}}{d\tau} &= -r_1 - r_2 - r_5 \\
 \frac{dC_{SO_3}}{d\tau} &= -r_5 \\
 \frac{dC_{H_2SO_4}}{d\tau} &= -r_1 - r_2 - r_5 \\
 \frac{dC_{SO_3 \times NH_2COOH}}{d\tau} &= r_1 - r_4 \\
 \frac{dC_{NH_2COOH}}{d\tau} &= r_5 \\
 \frac{dC_{NH_2COOSO_3H}}{d\tau} &= r_2 - r_3 \\
 \frac{dC_{CO_2}}{d\tau} &= r_3 + r_4
 \end{aligned}$$

В результате были получены значения энергии Гиббса для реагентов, продуктов и активированного комплекса.

Константа скорости образования продукта рассчитывалась по зависимости:

$$k = \frac{k_B T}{hc_0} e^{\frac{-\Delta G^\ddagger}{RT}}$$

Последнее выражение называется уравнение Эйринга [3].

Для оценки скоростей взаимодействия веществ составим табл. 1.

По полученным значениям скоростей реакций видно, что самой медленной стадией является первая – взаимодействие серной и изоциановой кислот, приводящее либо к образованию комплекса карбаминовой кислоты и триоксида серы (1), либо к карбамоилсульфоновой кислоте (2). В дальнейшем оба данных интермедиата могут превращаться в сульфаминовую кислоту (3-4). Также возможна побочная реакция – распад комплекса карбаминовой кислоты и триоксида серы на отдельные молекулы (5).

Таблица 1. Кинетические характеристики реакций

T, K	298	313	328	343
$H_2SO_4 + HNCO \Rightarrow SO_3 \times NH_2COOH$				
к прямой реакции	3.40E+00	9.82E+00	2.58E+01	6.23E+01
к обратной реакции	7.00E-01	3.05E+00	1.17E+01	3.99E+01
K	4.86E+00	3.21E+00	2.21E+00	1.56E+00
$H_2SO_4 + HNCO \Rightarrow NH_2COOSO_3H$				
к прямой реакции	1.11E+07	1.66E+07	2.41E+07	3.40E+07
к обратной реакции	1.20E+06	2.81E+06	6.11E+06	1.24E+07
K	9.25E+00	5.92E+00	3.95E+00	2.73E+00
$SO_3$ $NH_2COOSO_3H \Rightarrow NH_2SO_3H + CO_2$				
к прямой реакции	3.32E+12	2.10E+12	1.39E+12	9.50E+11
к обратной реакции	2.48E+13	2.30E+13	2.15E+13	2.03E+13
K	1.34E-01	9.11E-02	6.43E-02	4.68E-02
$SO_3 \times NH_2COOH \Rightarrow NH_2SO_3H + CO_2$				
к прямой реакции	4.60E+06	8.65E+06	1.54E+07	2.60E+07
к обратной реакции	2.48E-06	1.24E-05	5.32E-05	2.02E-04
K	1.85E+12	7.01E+11	2.89E+11	1.29E+11
$H_2SO_4 + HNCO \Rightarrow SO_3 + NH_2COOH$				
к прямой реакции	3.40E+00	9.82E+00	2.58E+01	6.23E+01
к обратной реакции	1.48E-05	7.39E-05	3.20E-04	1.23E-03
K	2.30E+05	1.33E+05	8.05E+04	5.09E+04

## Список использованной литературы

1. Baumgarten, P. Über die durch Schwefelsäure bewirkte Spaltung (Sulfolyse) von Harnstoff. Ein einfacher Weg zur Herstellung von Amido-sulfonsäure und Imido-sulfonat / P. Baumgarten // *Chem. Ges. A/B.* – 1936. – Vol. 69, No 8. – P. 1929. – DOI 10.1002/cber.19360690824.
2. Bieber, T.I. The Action of Sulfuric Acid and Oleum on Carbamic Esters / T.I. Bieber // *Journal of the American Chemical Society.* – 1953. – Vol. 75, No 6. – P. 1409–1412. – doi:10.1021/ja01102a041.
3. Эмануэль, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Школа, 1974. – 463 с.

УДК 544.723

**Кровякова Е. И., Ахтукова М. В., Швец М. Е.,  
Ростова Д. П., Тришина А. В., Яковлева А. Н.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: k.liza.9072003@gmail.com

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ТЕТРАЭТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА НА ПОВЕРХНОСТИ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ**

**Krovyakova E. I., Akhtukova M. V., Shvets M. E.,  
Rostova D. P., Trishina A. V., Yakvovleva A. N.**

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: k.liza.9072003@gmail.com

### **STUDY OF SORPTION OF TETRAETHYLAMMONIUM CHLORIDE ON THE SURFACE OF COPPER PHTHALOCYANINE**

*Аннотация.* Провели исследование сорбции тетраэтиламмоний хлорида и его катиона на поверхности фталоцианина меди. В ходе работы выявили, что наиболее устойчивым комплексом для катиона тетраэтиламмония является молекула с симметричным расположением и энергией сорбции равной -22.02 кДж/моль. Для тетраэтиламмоний хлорида наиболее стабильным будет комплекс с прямым взаимодействием атома хлора с поверхностью пигмента, энергия сорбции при этом -131.43 кДж/моль.

*Ключевые слова:* фталоцианин меди, гидрофобность, сорбция, тетраэтиламмоний хлорид, модификация поверхности.

*Abstract.* We conducted a study of the sorption of tetraethylammonium chloride and its cation on the surface of copper phthalocyanine. During the work, it was revealed that the most stable complex for the tetraethylammonium cation is a molecule with a symmetrical arrangement and a sorption energy equal to -22.02 kJ/mol. For tetraethylammonium chloride, the most stable complex will be the one with direct interaction of the chlorine atom with the surface of the pigment, with a sorption energy of -131.43 kJ/mol.

*Keywords:* copper phthalocyanine, hydrophobicity, sorption, tetraethylammonium chloride, surface modification.

Фталоцианин меди – пигмент голубого цвета, который широко используется в производстве лакокрасочных материалов. Наиболее часто фталоцианин меди применяется в алкидном связующем (например, в пентафталевых и глифталевых лаках). Устойчивость и диспергируемость в данном типе связующего достигается увеличением гидрофобности поверхности пигмента. Наиболее эффективно данная

задача может решаться использованием третичных аминов и солей четвертичных аммониевых оснований [1]. В данной работе исследовалась сорбция тетраэтиламмоний хлорида на наименее гидрофильной поверхности фталоцианина меди, содержащей атом металла.

Сорбция тетраэтиламмоний хлорида рассматривалась в двух вариантах, в виде нейтральной частицы и катиона. Исследование проводилось на четырехмолекулярном кластере фталоцианина меди с геометрией, соответствующей экспериментальной для  $\beta$ -модификации кристаллической решетки. Расчеты осуществлялись в программном обеспечении ORCA 5 [2] методами теории функционала плотности: полуэмпирическим ХТВ2 [3] и композитным r2SCAN-3с [4] (ONIOM метод, 2 верхних молекул r2SCAN-3с, остальное ХТВ2). Также применялась континуальная модель растворителя: ALPB [5] для ХТВ2 и SMD [6] для r2SCAN-3с, в качестве растворителя использовалась вода.

В результате моделирования было выявлено, что обе частицы могут образовать по два конформационных изомера при сорбции на поверхности фталоцианина меди.

Структуры комплексов сорбат–сорбент для пигмента и солей четвертичных аммониевых оснований представлены на рисунке 1.

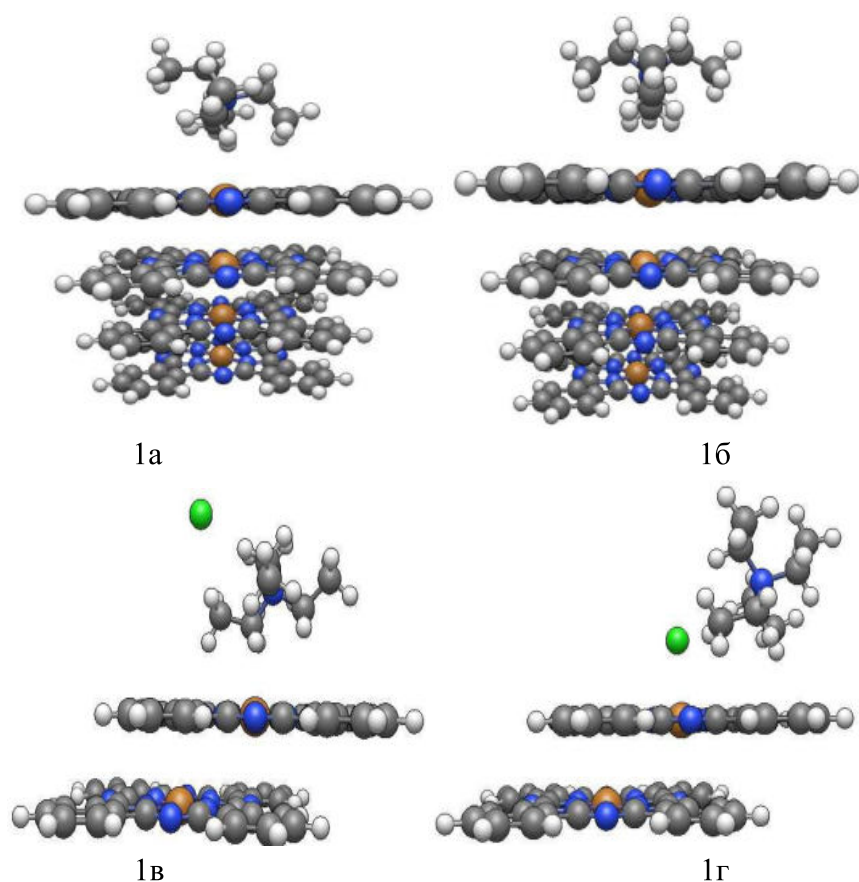


Рис. 1. Структуры комплексов сорбат – сорбент для пигмента и солей четвертичных аммониевых оснований

Катион тетраэтиламмоний хлорида имеет два положения относительно поверхности пигмента. На рисунке (1б) две алкидные группы взаимодействуют с



поверхностью пигмента, при этом молекула расположена симметрично. На рисунке (1а) три алкидные группы взаимодействуют с поверхностью пигмента, исходя из этого молекула расположена асимметрично. Тетраэтиламмоний хлорид также имеет два положения относительно поверхности пигмента. На рисунке (1г) атом хлора взаимодействует с поверхностью, на рисунке (1в) атом хлора экранирован от поверхности катионом.

Данные энергий сорбции рассчитанные методами ХТВ2 и r2SCAN-3с представлены в таблице 1.

Таблица 1. Энергии сорбции рассчитанные методами ХТВ2 и r2SCAN-3с

	Метод ХТВ2, кДж/моль	Метод r2SCAN-3с, кДж/моль
Катион тетраэтиламмония (1а)	-44.22	-18.83
Катион тетраэтиламмония (1б)	-46.30	-22.02
Тетраэтиламмоний хлорид (1в)	-50.97	-68.79
Тетраэтиламмоний хлорид (1г)	-107.75	-131.43

Исходя из данных таблицы можно сделать вывод, что наиболее стабильным комплексом для катиона тетраэтиламмония является молекула с симметричным расположением. А для тетраэтиламмоний хлорида наиболее стабильным будет комплекс с прямым взаимодействием атома хлора с поверхностью пигмента.

#### Список использованных источников

1. Прогнозирование возможности олеофилизации поверхности фталоцианина меди на основании индексов реакционной способности / А. А. Дегтярев, А. В. Тришина, Т. П. Дьячкова [и др.] // Журнал физической химии. – 2020. – Т. 94, № 8. – С. 1263-1268. – DOI 10.31857/S0044453720080051.
2. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger // The Journal of chemical physics. – 2020. – Vol. 152, No. 22. – P. 224108. – DOI: 10.1063/5.0004608.
3. Bannwarth C., Ehlert S., Grimme S. GFN2-xTB — An Accurate and Broadly Parametrized Self-Consistent Tight-Binding Quantum Chemical Method with Multipole Electrostatics and Density-Dependent Dispersion Contributions / C. Bannwarth, S. Ehlert, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2019. – Vol. 15, No 3. – P. 1652-1671.
4. R2SCAN-3c: A "swiss army knife" composite electronic-structure method / S. Grimme, A. Hansen, S. Ehlert, J. M. Mewes // Journal of Chemical Physics. – 2021. – Vol. 154, No. 6. – P. 064103. – DOI 10.1063/5.0040021.
5. Robust and efficient implicit solvation model for fast semiempirical methods / S. Ehlert, M. Stahn, S. Spicher, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2021. – Vol. 17, No. 7. – P. 4250-4261. – DOI: 10.1021/acs.jctc.1c00471.
6. Marenich, A. V. Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions / A. V. Marenich, C. J. Cramer, D. G. Truhlar // J. Phys. Chem. B. – 2009. – Vol. 113, No. 18. – P. 6378-6396. – DOI: 10.1021/jp810292n.

УДК 544.15

**Яковлева А.Н., Ахтукова М.В., Коростылев А.А.,  
Кровякова Е.И., Ростова Д.П., Швец М.Е.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: azuki2814@mail.ru,

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ МОЧЕВИНЫ НА АММИАК И ИЗОЦИАНОВУЮ КИСЛОТУ**

**Yakovleva A.N., Akhtukova M.V., Korostylev A.A.,  
Krovyakova E.I., Rostova D.P., Shvets M.E.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: azuki2814@mail.ru

## **MATHEMATICAL MODELING OF THE UREA DECOMPOSITION REACTION INTO AMMONIA AND ISOCYANIC ACID**

*Аннотация.* в статье рассматриваются реакции переноса протона в молекуле мочевины и разложения мочевины на аммиак и изоциановую кислоту. Определено значение энергетического барьера реакций и устойчивость продуктов реакций.

*Ключевые слова:* DFT, COSMO, мочевина, изоциановая кислота, аммиак.

*Abstract.* The article examines the reactions of proton transfer in the urea molecule and the decomposition of urea into ammonia and isocyanic acid. The value of the energy barrier of reactions and the stability of reaction products are determined.

*Keywords:* DFT, COSMO, urea, isocyanic acid, ammonia.

Мочевина используется, в качестве реагента, снижающего вредность выхлопных газов. Раствор карбамида снижает содержание оксида в выбросах на 90%. Таким образом, выхлопы становятся более безопасными. Мочевина имеет важное применение в качестве удобрения и кормовой добавки, а также исходного материала для производства пластмасс и лекарств. Это бесцветное кристаллическое вещество, которое плавится при температуре 132,7°C и разлагается до кипения. Мочевина является наиболее популярной формой твердого азотного удобрения, особенно в развивающихся регионах мира, и широко продается на международном рынке. Около 80-85% продукции используется в качестве удобрения. Более 40% всей выращиваемой в мире пищи удобряется мочевиной.

Разложение мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) под действием температуры может быть как целевой реакцией, так и побочной во многих промышленных производствах, например при синтезе сульфаминовой кислоты [1].

Механизм данного процесса изучался в работе [2] для газовой фазы и при низкой температуре. Однако большинство реальных процессов с использованием мочевины идут при температурах выше комнатной и в жидкой фазе. В данной работе изучается механизм разложения мочевины в растворе серной кислоты. Для моделирования механизма применялась теория функционала плотности с композитным методом  $r^2$ SCAN-3c [3], влияние растворителя учитывалось через континуальную модель COSMO [4]. Поиск переходного состояния осуществлялось через алгоритм NEB [5]. Все расчеты проводились в программном комплексе ORCA 6 [6].

Реакция разложения мочевины (1):



В ходе моделирования было выяснено, что реакция разложения мочевины состоит из двух элементарных стадий: внутримолекулярного переноса протона и разрыва связи C-N (рис. 1-2).

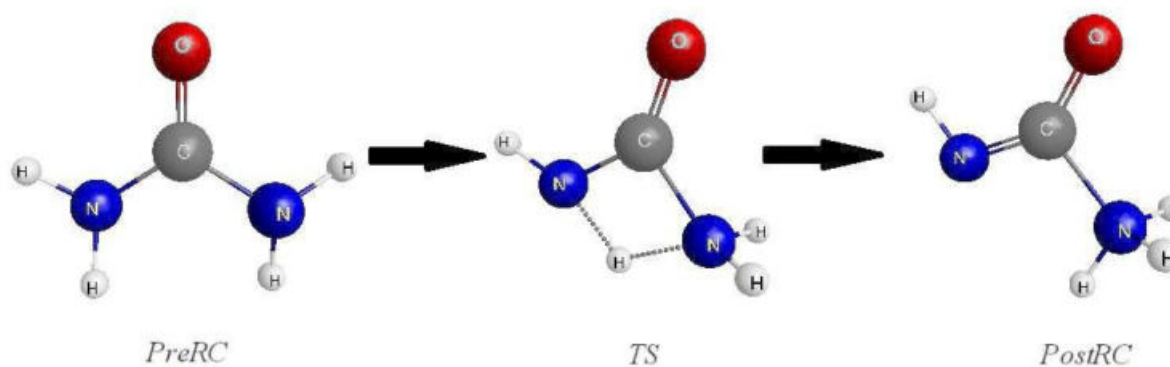


Рис. 1. Механизм переноса протона в молекуле мочевины

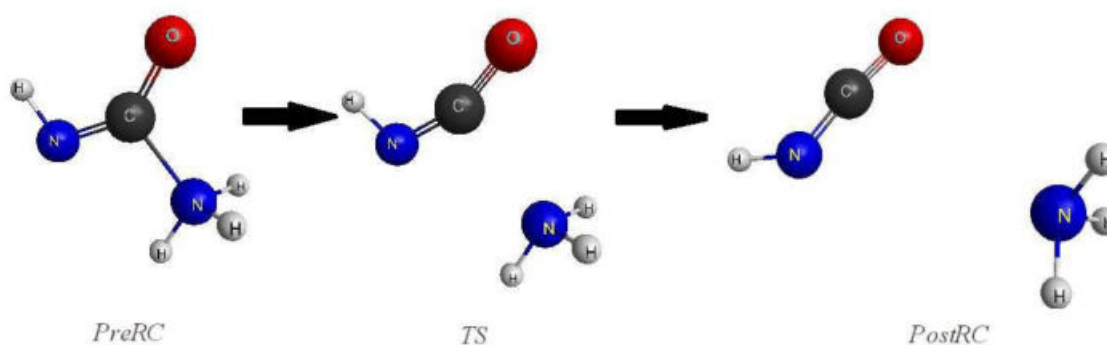


Рис. 2. Механизм разложения мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) на изоциановую кислоту ( $\text{HNCO}$ ) и аммиак ( $\text{NH}_3$ )

Для понимания условий протекания реакций рассмотрим профили изменения термодинамических параметров в ходе реакций, таких как энергия Гиббса ( $\Delta G$ ) и энтальпия ( $\Delta H$ ) при температуре 298K (рис. 3-4).

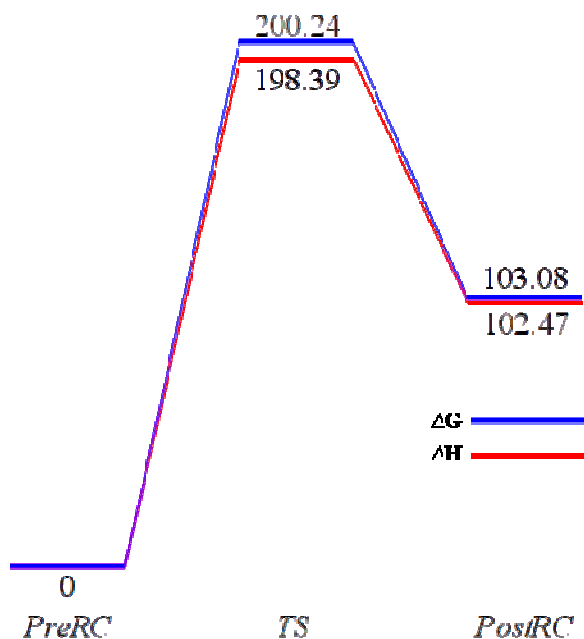


Рис. 3. Профиль изменения энергии Гиббса и энтальпии по первой реакции



Рис. 4. Профиль изменения энергии Гиббса и энтальпии по второй реакции

По представленным данным (рис. 3-4) видно, что лимитирующей является реакция переноса протона, которая протекает при достаточно жестких условиях. Вторая стадия идет достаточно легко даже при комнатной температуре.

Однако реакция переноса протона может катализироваться в кислой среде, что может существенно ее ускорить и тем самым сделать доступной при температурах не существенно выше комнатной.

#### Список использованных источников

1. Дегтярев, А. А. Исследование механизма сульфирования карбамида олеумом методом теории функционала плотности / А. А. Дегтярев, А. В. Тришина // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 59, № 8. – С. 32-39.

2. The formation of urea in space I. / F.S.Brigiano [at al.] // Astronomy & Astrophysics. / 2018. - 610. - A26. - DOI: 10.1051/0004-6361/201425195

3. R2SCAN-3c: A "swiss army knife" composite electronic-structure method / S. Grimme, A. Hansen, S. Ehlert, J. M. Mewes // *Journal of Chemical Physics*. – 2021. – Vol. 154, No. 6. – P. 064103. – DOI 10.1063/5.0040021.

4. Klamt A. COSMO: A New Approach to Dielectric Screening in Solvents with Explicit Expressions for the Screening Energy and its Gradient / A. Klamt, G. Schüürmann // *J. Chem. Soc. Perkin Trans.* – 1993. – Vol. 2. – P. 799-805. – DOI:10.1039/P29930000799.

5. Jonsson H., Mills G., Jacobsen K. Nudged elastic band method for finding minimum energy paths of transitions // *Classical and Quantum Dynamics in Condensed Phase Simulations*. 1998. Pp. 385-404. DOI: 10.1142/9789812839664\_0016.

6. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger // *The Journal of chemical physics*. – 2020. – Vol. 152, No. 22. – P. 224108. – DOI: 10.1063/5.0004608.

**Секция**

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**



УДК 616-053.32

**Любавина М.А., Фролова Т.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: milenaliubavina@mail.ru

## **СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НЕОНАТАЛЬНОГО ИНКУБАТОРА**

**Liubavina M.A., Frolova T.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: milenaliubavina@mail.ru

### **CRITICAL MODE ALARM SYSTEM FOR NEONATAL INCUBATOR**

*Аннотация.* Рассматривается возможность разработки и применения системы сигнализации неонатального инкубатора в мобильном приложении, созданное для быстрого реагирования медицинского персонала и хранения данных об изменении состояния пациента.

*Ключевые слова:* инкубатор, приложение, база данных, датчик, микроконтроллер, Flutter.

*Abstract.* The article considers the possibility of development and application of neonatal incubator alarm system in a mobile application created for quick response of medical staff and storage of data on changes in the patient's condition.

*Keywords:* Incubator, application, database, sensor, microcontroller, Flutter.

В наше время тяжело представить современную медицинскую помощь матери и ребёнка без специализированных инкубаторов для недоношенных новорожденных [1-6]. Такие аппараты приспособлены для донашивания детей путем поддержания оптимальной температуры, влаги и уровня кислорода. Инкубатор также имеет опцию сигнализации об отклонениях от нормы каких-либо показателей. Заключается она в звуковом сигнале, либо выводе на дисплей уведомления об отклонении, оба этих случая имеют свои недостатки: звуковой сигнал может нарушить покой других пациентов, а уведомление на дисплее может быть не замечено медицинским сотрудником.

Для того, чтобы обойти вышеупомянутые проблемы, предлагается внедрить систему сигнализации в мобильное устройство, например, смартфон сотрудника. При обнаружении определенных характеристик, на телефон будет подаваться вибрация с незначительно высоким уровнем громкости сигнала.

Приложение может быть создано на системе React Native или Flutter, для синхронизации и установки приложения с любой операционной системой сотрудника. Разработанное на Flutter или React Native приложение визуализирует полученные данные и осуществит получение уведомлений для пользователя. Для хранения данных в реальном времени о всех установленных системах инкубации, об информации с

датчиков, контролирования показаний и хранения их для дальнейшего мониторинга состояния пациента используется база данных Firebase. На базе Firebase также доступна функция подключения уведомлений с использованием Cloud Messaging, как один из вариантов осуществления данной функции.

После окончания создания приложения, нам необходимо произвести внедрение в инкубатор данной системы. Для этого мы должны разработать программу для микроконтроллера (на базе Arduino), которая позволит нам подключиться к сети Wi-Fi и таким образом отправлять снятые с датчиков инкубатора данные в базы Firebase. Запрограммированные на работу с базами данных микроконтроллеры устанавливаются в инкубатор, далее тестируется работа приложения на искусственной среде инкубатора.

Таким образом, внедрение сигнализационного приложения поспособствует быстрому реагированию медицинского персонала на возникшую проблему и поможет оперативно устранить нарушения функционирования инкубатора пациента. Создание такого приложения требует внимательного и комплексного подхода ко многим факторам, которые необходимо учитывать. Медицинские приборы, со встроенным сигнализационным приложением, в первое время использования будут нуждаться в частой проверке работы как инкубатора, так и встроенного приложения, для исключения случаев неполадок в работе взаимосвязанной системы.

#### Список использованных источников

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. - 2014. - № 3. - С. 35 - 45. EDN: STTXHD
2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного университета. - 2013. - Т. 19(3). - С. 553 - 561.
3. Фролова, М. С. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112-116.
4. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / М.С.Фролова, А.Ю.Потлов // Врач и информационные технологии. -2014. -№ 3. С. 35-45.
5. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 553 - 561.
6. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. - 2013. - № 11. - С. 50 - 61.



УДК 57.087

**Моргунов Н. Р.<sup>1</sup>, Сеченева Е.В.<sup>2</sup>, Евстигнеева Е.П.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.ru,

<sup>2</sup>e-mail: secenevaekaterina995@gmail.com,

<sup>3</sup>e-mail: Elizavetaevst44@gmail.com

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ДИАМЕТРА МИТРАЛЬНОГО КЛАПАНА С ВОЗРАСТОМ**

**Morgunov N. R.<sup>1</sup>, Seheeva E. V.<sup>2</sup>, Evstigneeva E.P.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.ru,

<sup>2</sup>e-mail: secenevaekaterina995@gmail.com,

<sup>3</sup>e-mail: Elizavetaevst44@gmail.com

## **MATHEMATICAL MODELING OF MITRAL VALVE DIAMETER CHANGES WITH AGE**

*Аннотация.* В статье рассматривается гипотеза об экспоненциальной зависимости изменения диаметра митрального клапана у детей с возрастом. Предложенная модель позволяет врачам более точно диагностировать изменения митрального клапана, что способствует разработке профилактических мер и улучшает профилактику и лечение сердечно-сосудистых заболеваний у детей.

*Ключевые слова:* сердечно-сосудистая система, экспоненциальный закон, диаметр митрального клапана.

*Abstract.* The article discusses the hypothesis about the exponential dependence of changes in the diameter of the mitral valve in children with age. The proposed model allows doctors to more accurately diagnose changes in the mitral valve, which contributes to the development of preventive measures and improves the prevention and treatment of cardiovascular diseases in children.

*Keywords:* cardiovascular system, exponential law, mitral valve diameter.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются одной из ведущих причин смертности во всем мире, и эта проблема также затрагивает детей. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), они занимают первое место среди причин смерти, вызывая около 32% всех летальных исходов. Эта статистика подчеркивает серьезность проблемы и необходимость внимания к вопросам профилактики и лечения ССЗ. Несмотря на то что ССЗ чаще встречаются у взрослых, растущее число случаев среди детей вызывает серьезные опасения. По данным ВОЗ,

около 1,5 миллиона детей и подростков умирают ежегодно от заболеваний, связанных с ССЗ, что составляет примерно 10% от общего числа летальных исходов в данной возрастной группе. Эти показатели подчеркивают необходимость акцентирования внимания на кардиологическом здоровье детей и подростков [1].

Митральный клапан (МК) – это один из четырех клапанов сердца, обеспечивающий однонаправленный кровоток из левого предсердия в левый желудочек. Важным аспектом функционирования МК является его диаметр, изменяющийся в зависимости от возраста, роста и развития ребенка [2].

Опираясь на полученные данные, можно предположить, что график среднего диаметра МК (рисунок 1) с возрастом имеет экспоненциальную структуру. Исследования показывают, что в неонатальном периоде и раннем детстве диаметр МК увеличивается гораздо быстрее, чем в более поздние периоды [3].

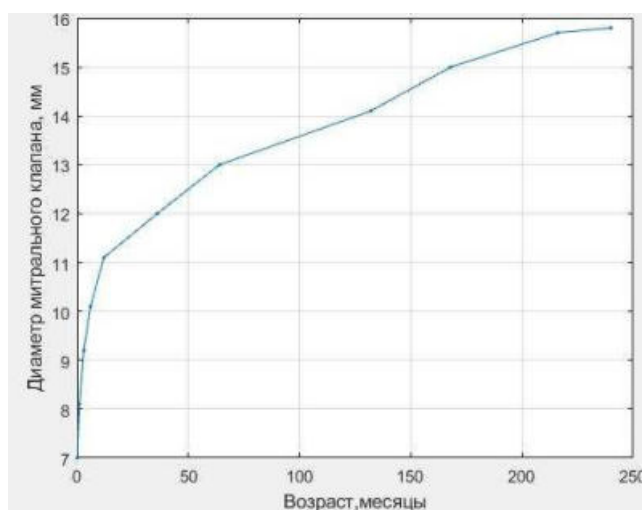


Рис. 1. Мониторинг среднего диаметра МК в зависимости от возраста

Мы предполагаем, что диаметр МК с возрастом, меняются по экспоненциальному закону:

$$D = A + B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right),$$

где  $D$  – диаметр МК, мм;  $\tau$  – время, месяцы;  $A$ ,  $B$  и  $T$  – константы.

Для определения параметров  $B$  и  $T$  применяется следующая методика. Берутся две произвольные точки в момент времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , для которых известно значение диаметра МК:

$$\begin{cases} D_1 = B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{T}}\right) \\ D_2 = B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{T}}\right) \end{cases} \quad (1)$$

Для параметра  $A$  получаем:

$$A = \frac{D_1^2}{2 \cdot D_1 - D_2}. \quad (2)$$

Для определения  $T$  подставим полученное значение  $A$  в изначальную систему уравнений (1):

$$T = \frac{-\tau_1}{\ln\left(\frac{R(\tau_2)}{R(\tau_1)} - 1\right)}. \quad (3)$$

На основании (2) и (3) находим коэффициенты А и Т, строим график полученной зависимости (рисунок 2).

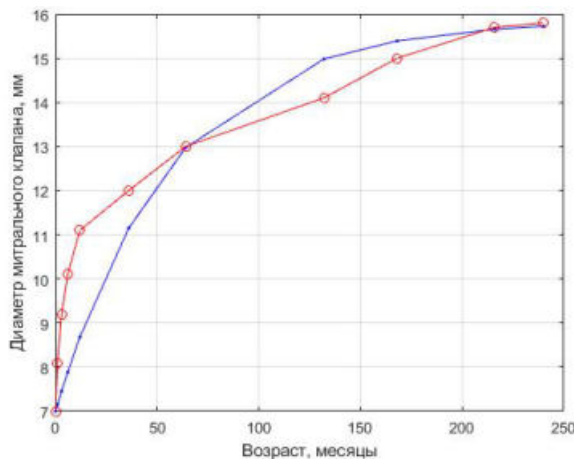


Рис. 2. Моделирование диаметра МК по экспоненциальному закону

Данная экспоненциальная зависимость облегчает диагностический процесс, предоставляя врачам наглядный графический инструмент для визуализации состояния МК. На основе этих данных можно будет выработать рекомендации, направленные на снижение риска ССЗ у детей с учетом индивидуальных факторов.

Внедрение данной модели в клиническую практику будет стимулировать специалистов к повышению квалификации, тем самым, повышая качество диагностики и лечения ССЗ у детей. Понимание самой динамики изменений МК может привести к разработке новых методов лечения пациентов, поэтому внедрение экспоненциальной модели позволит не только улучшить диагностику, но и создать прочную основу для эффективной профилактики ССЗ.

Гипотеза о том, что изменения среднего диаметра МК у детей происходят по экспоненциальному закону, позволяет по-новому оценить состояние сердечно-сосудистой системы. Важно продолжать исследования для уточнения этой гипотезы, чтобы способствовать улучшению здоровья детей и снижению смертности.

#### Список использованных источников

1. Бокерия, Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия. Болезни и врожденные anomalies системы кровообращения / Л.А. Бокерия, Р.Г. Гудкова // М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2016; 228 с.
2. Frolov S.V., Sindeev S.V., Lischouk V.A. A Lumped parameter model of cardiovascular system with pulsating heart for diagnostic studies / S.V. Frolov, S.V. Sindeev, V.A. Lischouk // Journal of Mechanics in Medicine and Biology 2017;17(5), 1750056 (21).
3. Фролов, С.В. Построение зависимостей изменения параметров организма ребенка от возраста / С.В. Фролов, Д.Е. Судаков, Д.Г. Старых // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024;12(3).

УДК 57.087

**Сеченева Е. В.<sup>1</sup>, Моргунов Н. Р.<sup>2</sup>, Евстигнеева Е.П.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.ru

<sup>2</sup>e-mail: secenevaekaterina995@gmail.com

<sup>3</sup>e-mail: Elizavetaevst44@gmail.com

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ДИАМЕТРА В ПРОЦЕССЕ РОСТА И РАЗИТИЯ ОРГАНИЗМА**

**Secheneva E. V.<sup>1</sup>, Morgunov N. R.<sup>2</sup>, Evstigneeva E.P.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.ru

<sup>2</sup>e-mail: secenevaekaterina995@gmail.com

<sup>3</sup>e-mail: Elizavetaevst44@gmail.com

## **INVESTIGATION OF THE EXPONENTIAL NATURE OF DIAMETER CHANGES IN THE PROCESS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE ORGANISM**

*Аннотация.* В статье рассматривается гипотеза о том, что изменение среднего диаметра аорты у детей подчиняется экспоненциальному закону, что может помочь в оценке состояния сердечно-сосудистой системы.

*Ключевые слова:* Сердечно-сосудистая система, экспоненциальный закон, диаметр аорты.

*Abstract.* The article considers the hypothesis that the change in the average diameter of the aorta in children is subject to an exponential law, which can help in assessing the state of the cardiovascular system.

*Key words:* Cardiovascular system, exponential law, aortic diameter.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются одной из основных причин смерти во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно от этих заболеваний умирает около 17,8 млн человек, что составляет 37 % всех случаев неинфекционной смертности. По данным на 2022 год, в России сердечно-сосудистые заболевания являются причиной 43,8 % всех случаев смерти, или около 830 000 смертей. Кроме того, врожденные пороки сердца остаются ведущей причиной смерти у детей. Современные диагностические и хирургические методы позволили снизить уровень смертности, однако доступность этих методов и своевременность лечения остаются важными проблемами здравоохранения во многих странах [1].

Аорта - самая большая артерия в организме иуле, которая снабжает кровью все органы и ткани. Средний диаметр аорты является важным показателем, который позволяет нам оценить, как аорта адаптируется к изменениям в организме, связанным с ростом и развитием. Понимание этих изменений критично для ранней диагностики патологий, таких как аневризмы, коарктация аорты и врождённые пороки сердца [2].

Исходя из имеющихся данных, можно предположить, что при построении графика зависимости изменения среднего диаметра аорты от возраста, он будет близок к экспоненциальному закону [3].

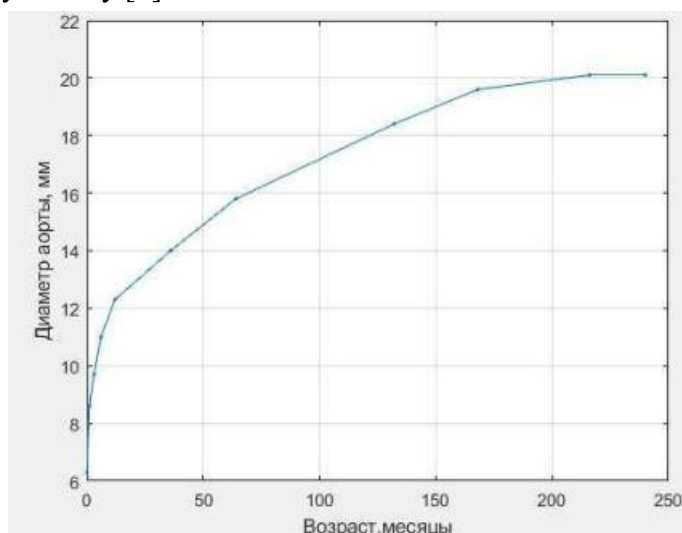


Рис. 1. Мониторинг среднего диаметра аорты в зависимости от возраста

Мы предполагаем, что диаметр аорты с возрастом, меняются по экспоненциальному закону:

$$D = A + B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right),$$

где  $D$  – диаметр аорты, мм;  $\tau$  – время, месяцы;  $A$ ,  $B$  и  $T$  – константы.

Для определения параметров  $B$  и  $T$  применяется следующая методика. Берутся две произвольные точки в момент времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , для которых известно значение диаметра аорты:

$$\begin{cases} D_1 = B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{T}}\right) \\ D_2 = B \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{T}}\right) \end{cases} \quad (1)$$

Для параметра  $A$  получаем:

$$A = \frac{D_1^2}{2 \cdot D_1 - D_2}. \quad (2)$$

Для определения  $T$  подставим полученное значение  $A$  в изначальную систему уравнений (1):

$$T = \frac{-\tau_1}{\ln\left(\frac{R(\tau_2)}{R(\tau_1)} - 1\right)}. \quad (3)$$

На основании (2) и (3) находим коэффициенты  $A$  и  $T$ , строим график полученной зависимости.

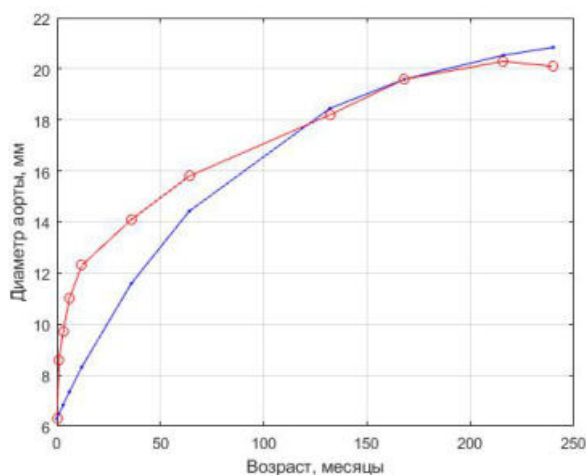


Рис. 2. Аппроксимация изменения диаметра аорты

Предложенная экспоненциальная модель изменения диаметра аорты у детей имеет значительное практическое значение в области кардиологии и педиатрии. Определение нормальных значений диаметра аорты в разных возрастных группах позволит врачам своевременно вмешиваться в отклонения от нормальных значений. В результате такие возможные состояния, как аневризма и врожденные пороки сердца, можно будет диагностировать на ранних стадиях, что станет залогом успешного лечения и профилактики серьезных осложнений.

Кроме того, экспоненциальная зависимость может значительно упростить диагностику, создав простые графические инструменты для визуализации состояния аорты. С помощью наглядных графиков и диаграмм можно легко проследить динамику изменения диаметра аорты, что повысит осведомленность и понимание важности регулярного контроля за состоянием сердечно-сосудистой системы.

Гипотеза о том, что изменения среднего диаметра аорты у детей происходят по экспоненциальному закону. Данная модель может стать ценным инструментом для диагностики и мониторинга заболеваний, позволяя своевременно выявлять отклонения и принимать необходимые профилактические и терапевтические меры. Необходимы дальнейшие исследования для проверки и уточнения этой гипотезы, что в будущем может привести к улучшению состояния здоровья и снижению смертности от сердечно-сосудистых заболеваний у детей.

#### Список использованных источников

1. Бокерия, Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения / Л.А. Бокерия, Р.Г. Гудкова // М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2016; 228 с.
2. Фролов, С.В. Экспертная система оценки физического развития ребенка на основе аппарата реляционной алгебры / С.В. Фролов, М.А. Лядов, О.А. Остапенко // Биотехносфера. 2013;6(30). 28 с.
3. Фролов, С.В. Построение зависимостей изменения параметров организма ребенка от возраста / С.В. Фролов, Д.Е. Судаков, Д.Г. Старых // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024;12(3).

УДК 616.12-008.318

**Кузнецова А.В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: irinka.dro@yandex.ru

## **ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРИТМИИ**

**Kuznetsova A.V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: irinka.dro@yandex.ru

## **THE PROBLEM OF DETERMINING THE NUMERICAL CHARACTERISTICS OF ARRHYTHMIA**

*Аннотация.* Исследованы способы выявления аритмии кардиологическими приборами. Описаны биофизические методы, позволяющие оценить вариабельность сердечного ритма.

*Ключевые слова:* аритмия, вариабельность сердечного ритма, электрокардиография.

*Abstract:* Methods of detecting arrhythmia with cardiological devices is investigated. Biophysical methods are described to assess heart rate variability.

*Keywords:* arrhythmia, heart rate variability, electrocardiography.

Сердечно-сосудистые заболевания на сегодняшний день остаются главной причиной смертности населения. По данным Российского кардиологического общества, в 2019 году в России насчитывалось около 2,5 млн человек с диагнозом фибрилляция предсердий – мерцательной аритмией. Согласно исследованиям, проведенным экспертами НИУ ВШЭ, которые основываются на демографических тенденциях и старении населения, к 2036 году число пациентов с фибрилляцией предсердий в России может превысить 3 млн человек [1,2].

Для диагностики аритмии в кардиологии применяют приборы, предназначенные для мгновенной или длительной регистрации электрической активности сердца – электрокардиографы, холтер, событийные мониторы ЭКГ, имплантируемые кардиомониторы и эхокардиографы. Несмотря на их широкое внедрение в клиническую практику, у существующих подходов наблюдается общий недостаток – невозможность определить точные количественные характеристики аритмии.

Известно, что вычисление процента аритмии тесно связано с определением вариабельности сердечного ритма. Вариабельность сердечного ритма (ВСР) – это показатель, характеризующий изменчивость интервалов между последовательными сердечными сокращениями [3]. Он отражает состояние вегетативной нервной системы и позволяет оценить баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами и

зависит от следующих параметров: физиопатологические, немодифицируемые факторы, образ жизни, нейропсихологические состояния, окружающая среда.

Трудности определения численных характеристик аритмии вызывают немалое количество разновидностей патологического состояния – мерцательная аритмия, тахикардия, брадикардия, экстрасистолия и пароксизмальные нарушения. Это приводит к трудностям при установлении единых стандартов среди способов вычисления значений ВСП каждой группы населения.

Целью исследования является исследование методов количественной оценки аритмии и перспективы их дальнейшего совершенствования.

На сегодняшний день для оценки вариабельности сердечного ритма используются методы временной, частотной, частотно-временной областей, а также нелинейные методы.

Временные методы оценки ВСП являются одними из основных подходов к анализу данных вариабельности сердечного ритма. Они позволяют оценить различные статистические характеристики интервалов между последовательными сердечными сокращениями (RR-интервалов). Наиболее распространенные временные методы: SDNN (стандартное отклонение всех RR-интервалов), SDANN (стандартное отклонение средних значений RR-интервалов за пятиминутные периоды), RMSSD (квадратный корень из суммы квадратов разностей между соседними RR-интервалами), pNN50 (доля RR-интервалов, различающихся более чем на 50 мс от предыдущего), HR (средняя частота сердечных сокращений). SDNN отражает общую вариабельность сердечного ритма. SDANN показывает долгосрочные компоненты вариабельности. RMSSD выявляет краткосрочные компоненты вариабельности, связанные с парасимпатической активностью. pNN50 также связан с активностью парасимпатической нервной системы. HR – важный показатель, используемый в комплексе с другими метриками ВСП [6].

Частотные методы анализа вариабельности сердечного ритма основаны на оценке распределения мощности сигнала ВСП в различных частотных диапазонах. Основные частотные методы включают: низкочастотный (LF) диапазон (0,04-0,15 Гц), высокочастотный (HF) диапазон (0,15-0,4 Гц), соотношение LF/HF. LF отражает активность симпатической нервной системы. HF отражает активность парасимпатической нервной системы. LF/HF отражает баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [4].

Среди нелинейных методов выделяют: фрактальный анализ, анализ энтропии, анализ нелинейных динамических показателей. Фрактальный анализ оценивает самоподобие и сложность сигнала ВСП. Анализ энтропии оценивает степень хаотичности сигнала. Анализ нелинейных динамических показателей оценивает нелинейные свойства системы регуляции сердечного ритма [5].

Методы инструментальной диагностики (ЭКГ) не всегда позволяют точно зафиксировать все эпизоды аритмии, особенно если они носят короткий или пароксизмальный характер. Также при определении ВСП можно столкнуться со следующими техническими ограничениями: наличие артефактов и помех (мышечная



активность, движения, электромагнитные помехи), правильное наложение электродов и подготовка кожи, погрешности в автоматическом выявлении R-зубцов, влияние аритмий, экстрасистол, нарушений ритма; выбор длины анализируемого интервала для достоверного анализа (не менее 5 минут), влияние движений и физической нагрузки [6].

Для преодоления этих проблем требуется комплексный подход, включающий сочетание объективных методов оценки (ЭКГ, холтеровское мониторирование), субъективную оценку симптомов пациентом, а также учет клинических факторов. Перспективным также представляется развитие методов автоматизированного анализа данных, что может повысить точность и объективность количественной оценки аритмий.

Применение комплексного подхода, основанного на комбинации существующих методов, а также современных возможностей анализа, обработки информации и математического моделирования в перспективе могут повысить определение частотных характеристик аритмий, что является актуальным трендом для современной кардиологии [2].

#### Список используемых источников

1. Хурумова, И.С. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний в России: эмпирический анализ: выпускная квалификационная работа. – СПб.: НИУ ВШЭ, 2021. – С. 20-21.
2. Система прогнозирования рисков сердечно-сосудистых заболеваний на основе мониторинга биомедицинских данных / А.В. Горбунов [и др.] // Вестник РГРТУ. – 2023. – № 84. – С. 7.
3. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р.М. Баевский [и др.] // Вестник аритмологии. – 2002. – № 3. – С.65.
4. Кулаичев, А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика: учебное пособие / А.П. Кулаичев. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2007. – С.370-389.
5. Михайлов, В. М. Variability ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму): моногр. / В. М. Михайлов. – Иваново, 2017. – С. 516.
6. Баевский, Р. М. Variability сердечного ритма: основы метода и новые направления / Р.М. Баевский, Г. Г. Иванов. – М.: Техносфера, 2007. – С. 473-496.

УДК 378

**Фролова Т.А.<sup>1</sup>, Евстигнеева Е.П.<sup>2</sup>, Сеченева Е. В.<sup>3</sup>, Моргунов Н. Р.<sup>3</sup>**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: ekaterina48\_48\_secheneva@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: elizavetaevst44@gmail.com

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОЛОДЫХ МАТЕРЕЙ**

**Frolova T.A.<sup>1</sup>, Evstigneeva E.P.<sup>2</sup>, Secheneva E. V.<sup>3</sup>, Morgunov N. R.<sup>3</sup>**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

<sup>1</sup>e-mail: morgunov68ru@gmail.com

<sup>2</sup>e-mail: ekaterina48\_48\_secheneva@mail.ru

<sup>3</sup>e-mail: elizavetaevst44@gmail.com

## **DESIGNING AN APP FOR YOUNG MOTHERS**

*Аннотация.* Материнство – важный этап в жизни любой девушки, но совмещать домашние обязанности, работу и уход за младенцев не так уж и прост. В статье приводится этап разработки нового приложения для матерей. С его помощью можно получать рекомендуемые данные об уходе за новорожденным ребенком.

*Ключевые слова:* Приложение, молодые родители, здоровый ребенок, медицина, реализация.

*Abstract.* Motherhood is an important stage in any girl's life, but combining household chores, work and baby care is not so easy. The article describes the stages of developing a new application for mothers. With its help, you can get recommended data on the care of a newborn child.

*Keywords:* Application, young parents, healthy child, medicine, implementation.

Современные технологии и мобильные приложения оказывают все более значительное влияние на нашу повседневную жизнь и предоставляют новые возможности для облегчения разных аспектов жизни [1-3]. В сфере материнства, особенно для молодых матерей, возникает необходимость в надежной поддержке, информации и понимании. Поскольку период материнства является особенно важным и ответственным для девушек, создание мобильного приложения, направленного на помощь молодым мамам, становится актуальностью.

Задача конструирования приложения для молодых матерей состоит не только в технической реализации функционала, но и в создании понятного интерфейса, способного эффективно помочь и поддержать целевую аудиторию. Существует множество уже доступных приложений, которые помогают молодым родителям в

уходе за ребенком. Популярными, среди опрошенных мам, стали: Huckleberry: Baby & Child; Baby Sleep Tracker – Midmoon и Baby Daybook, но у каждого из них имеются определенные недостатки.

В рамках проектного обучения на кафедре Биомедицинская техника в настоящее время решается задача Разработка мобильного приложения для молодых матерей. Все приложения лишь ведут статистику по дням, наш проект предполагает в течение дня давать подсказки, сколько укладывать ребенка и будить. Существуют нормы сна и бодрствования для детей, разработанные ВОЗ, по месяцам, однако, интервалы в них слишком широкие и меняются из месяца в месяц. Данные таблицы необходимо адаптировать под каждого ребенка индивидуально. От адаптации зависит качество сна ребенка, его настроение, скорость засыпания и количество ночных пробуждений. При успешной адаптации и правильному выбору режима качество жизни молодой семьи возрастает многократно. Таблицы сна и бодрствования будут выступать как основа для модели. Далее через мобильное приложение мама заносит с помощью голосового сообщения в режиме онлайн либо постфактум реальный режим ребенка.

В зависимости от текущего режима ребенка, времени его подъема, качества предыдущей ночи, норм, модель дает подсказки, в какое время пора укладывать ребенка, в какое время пора будить, когда переходить к спокойному бодрствованию и начинать укладывание на сон.

Анализируя статистики, приведенные ниже, актуальность проекта направлена на укрепление благополучия молодых родителей и снижению их стресса.

Проанализирована статистика по рождаемости:

- Каждый день в России рождается 5100 детей.
- 15-20% новорожденных - высокочувствительные дети с проблемами сна. Их невозможно быстро обучить самозасыпанию.
- В день рождаются 1000 детей с проблемами сна и им требуется особая помощь в организации режима дня (рис. 1).

Статистика по молодым родителям:

- Средний возраст родителей сдвигается в сторону 30 лет
- С каждым годом недосып для родителей становится все более актуальной проблемой, а постродовая депрессия поражает 15-20% молодых матерей.



Рис. 1. Статистика по рождаемости

Основа реализации данного проекта состоит в следующем (рис.2). Основная информация о ребенке, рост, вес и возраст, будут поступать на телефон, и обновляться

в течение определенного промежутка времени. Родитель, взаимодействуя с ребенком и приложением, будет получать наиболее полезные варианты ухода за малышом, а также создавать свою базу данных о развитии новорожденного.

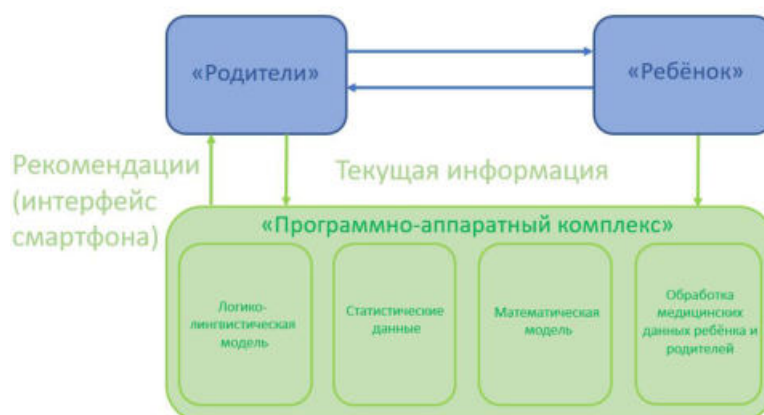


Рис.2. Структура задачи

Реализация приложения делится на два этапа – аппаратную и программную. Аппаратная реализация представляет собой выбор платформы, на которой будет работать данное приложение. Программная реализация основана на взаимодействии следующих блоков: база данных о требуемых условиях для ребенка на основе его данных, основная информация о ребенке и здоровья его родителей, и создание рекомендаций для ухода за младенцем на основе всех данных. Информация, поступающая на вход информационные модели, будет обрабатываться относительно баз данных и выводится рекомендуемые данные об уходе за ребенком. Такая техника позволит быстро и качественно получать информацию и рекомендации о заботе малыша.

Разработка такого приложения для молодых матерей представляет собой важный шаг в использовании технологий для поддержки девушек в период материнства. Это облегчит их ежедневную жизнь, предоставит необходимую информацию и создаст сообщество взаимоподдержки и понимания.

#### Список использованных источников

1. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного университета. - 2013. - Т. 19(3). - С. 553 - 561.
2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 553 - 561.
3. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. - 2013. - № 11. - С. 50 - 61.

УДК 57.089

**Попов И.А., Фролова Т.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: popovigor99@mail.ru

## **БИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР КАК КЛАСС ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ**

**Popov I.A., Frolova T.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: popovigor99@mail.ru

## **BIOCHEMICAL ANALYZER AS A CLASS INFORMATION MODEL OF MEDICAL EQUIPMENT PRODUCT**

*Аннотация.* В данной работе разработана информационная модель биохимического анализатора на языке моделирования UML на основе метода декомпозиции и анализа технических заданий.

*Ключевые слова:* атрибут, биохимический анализатор, информационная модель, класс, клиничко-диагностическая лаборатория.

*Abstract:* In this paper, an information model of a biochemical analyzer has been developed in the UML modeling language based on the method of decomposition and analysis of technical specifications.

*Keywords:* attribute, biochemical analyzer, information model, class, clinical diagnostic laboratory.

Отделение клиничко-диагностической лаборатории оборудовано современной медицинской техникой, которых насчитывается более десяти различных наименований таких как: биохимические, гематологические, иммунологические анализаторы, анализаторы глюкозы и лактата, анализаторы мочи, анализаторы электролитов, анализаторы гликированного гемоглобина и другие. Наиболее сложные по устройству являются биохимические анализаторы. Существует более ста различных моделей и модификаций данного оборудования, каждый из которых имеет преимущества и недостатки по сравнению с другими. Это делает выбор подходящего анализатора под задачи клиничко-диагностической лаборатории затруднительным. Целью данной работы является разработка информационной модели биохимического анализатора [1-5].

Биохимические анализы позволяют провести оценку функциональности различных органов и систем организма человека и выявить наиболее распространённые

заболевания. Такие исследования производят с помощью биохимического анализатора, который используется для определения наличия различных веществ в крови, их количественные и качественные характеристики.

Данное оборудование имеет ряд следующих характеристик:

Тип исполнения (напольный или настольный);

Методы измерения;

Производительность;

Габариты;

Наличие дополнительных устройств и механизмов автоматизации проведения анализов и другие.

Важнейшим шагом создания информационной модели является анализ технических заданий на закупку анализаторов, который производится на Официальном сайте РФ.

Следующим шагом является выбор метода, на основе которого будет строиться информационная модель. Решением данной задачи является метод декомпозиции, который заключается в разбитии целого на части и представляет собой диаграмму классов.

Построение информационной модели биохимического анализатора производится с использованием унифицированного языка моделирования UML, который позволяет описать структуру классов и их взаимодействие.

Информационная модель биохимического анализатора представляет собой диаграмму классов (рис. 1).

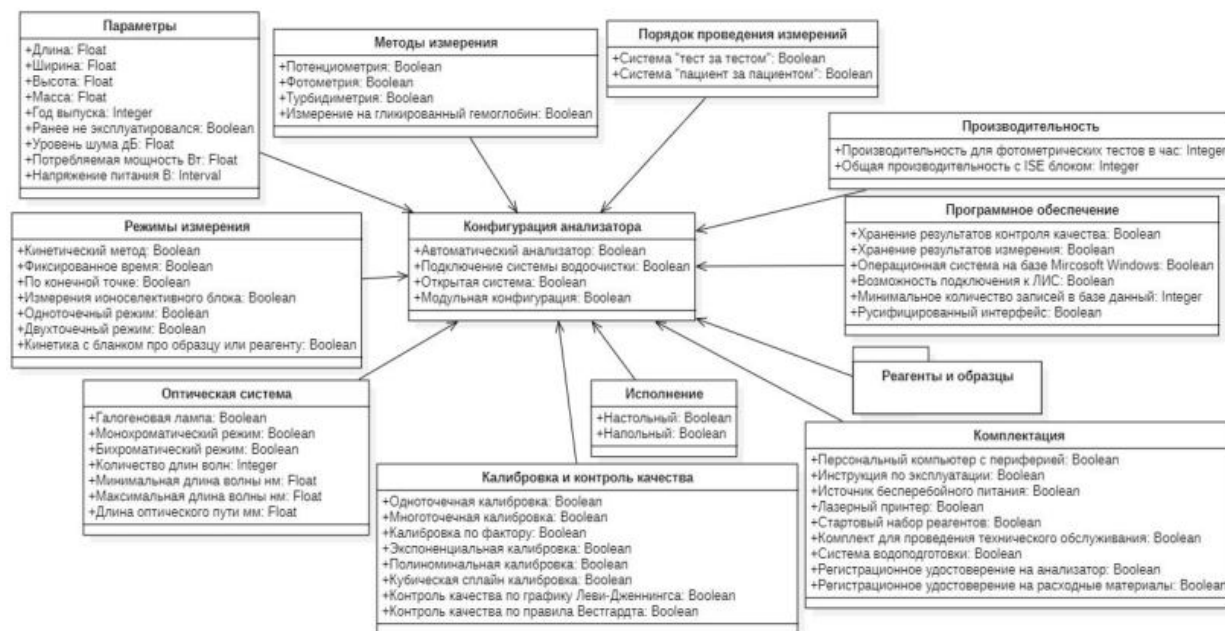


Рис. 1. Диаграмма классов биохимического анализатора

Отдельно выделен пакет классов «Реагенты и образцы» (рис. 2).



Рис. 2. Пакет классов «Реагенты и образцы»

Результатом данной работы является разработанная на языке моделирования UML информационная модель биохимического анализатора на основе метода декомпозиции.

#### Список использованных источников

1. Фролова, М.С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М.С. Фролова, С.В. Фролов, И.А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск 52. – С. 106-111.
2. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С.В. Фролов, М.С. Фролова, А.Ю. Потлов, // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.
3. Фролов, С.В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С.В. Фролов, М.С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. С. 112-117.
4. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 553 - 561.
5. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. - 2013. - № 11. - С. 50 - 61.

УДК 004

**Родионов С.В.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: madof25@yandex.ru

## **РАЗРАБОТКА САЙТА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА ПО ПРОДАЖЕ МАММОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Rodionov S.V.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: madof25@yandex.ru

## **DEVELOPMENT OF A WEBSITE FOR AN ONLINE STORE FOR THE SALE OF MAMMOGRAPHIC EQUIPMENT**

*Аннотация.* Описывается процесс создания интернет-магазина для продажи маммографического оборудования. Рассматриваются теоретические основы маммографов, выбор платформы для создания сайта и результаты разработки. Основное внимание уделено функциональности сайта и удобству использования для медицинских учреждений.

*Ключевые слова:* Маммограф, интернет-магазин, медицинское оборудование, сайт, разработка.

*Abstract.* The process of creating an online store for selling mammography equipment is described. The theoretical foundations of mammographs, the choice of a platform for creating a site and the results of development are considered. The main attention is paid to the functionality of the site and ease of use for medical institutions.

*Keywords:* Mammograph, online store, medical equipment, website, development.

Маммографическое оборудование занимает ключевую роль в диагностике заболеваний молочных желез. В связи с ростом интернет-торговли создание специализированного сайта для продажи медицинского оборудования становится важной задачей для расширения доступа к современным диагностическим средствам [1-4]. Целью данной работы является разработка интернет-магазина для продажи маммографов.

Маммографические аппараты предназначены для проведения маммографических исследований, которые являются важным методом скрининга и диагностики заболеваний молочных желез, включая рак молочной железы. Основная задача маммографии – раннее обнаружение патологий, таких как опухоли и кисты, что позволяет своевременно начать лечение и повысить шансы на выздоровление пациента.

Маммографические аппараты можно классифицировать по нескольким критериям:

- **Аналоговые маммографы** – используют рентгеновские пленки для получения изображений, постепенно уступают место цифровым технологиям.



- **Цифровые маммографы** – работают на цифровых технологиях, что позволяет хранить и обрабатывать изображения в цифровом формате, улучшает чувствительность и детализацию.

- **3D-маммографы** – обеспечивают получение трехмерных изображений, что значительно повышает точность диагностики в случае сложных или плотных тканей.

- **Портативные маммографы** – используются для диагностики на местах, где нет доступа к стационарному оборудованию, например, в мобильных центрах.

В рамках работы был создан интернет-магазин для продажи маммографического оборудования с использованием конструктора сайтов Wix. Платформа была выбрана за свою доступность и универсальность для пользователей с разным уровнем навыков.

Wix предоставляет гибкие инструменты для разработки сайтов с возможностью настраивать дизайн и структуру сайта с помощью визуального редактора. Платформа предлагает сотни шаблонов для различных бизнесов, включая медицинские.

Процесс создания сайта начинается с выбора шаблона. В проекте был создан интернет-магазин под названием "MammoTechStore", который включает следующие разделы:

- **Главная страница:** представляет новинки и информацию о компании.
- **Каталог товаров:** содержит полный список маммографических аппаратов с возможностью фильтрации по категориям и стоимости.
- **Карточка товара:** каждая карточка содержит детальное описание товара, его технические характеристики и возможность добавления в корзину.

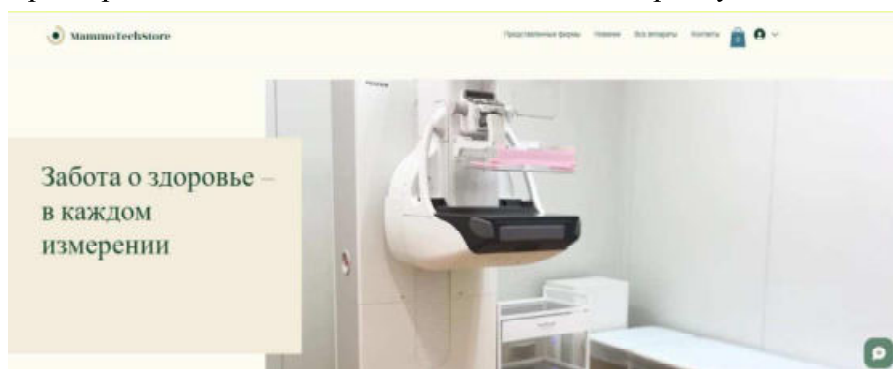


Рис. 1. Главная страница сайта

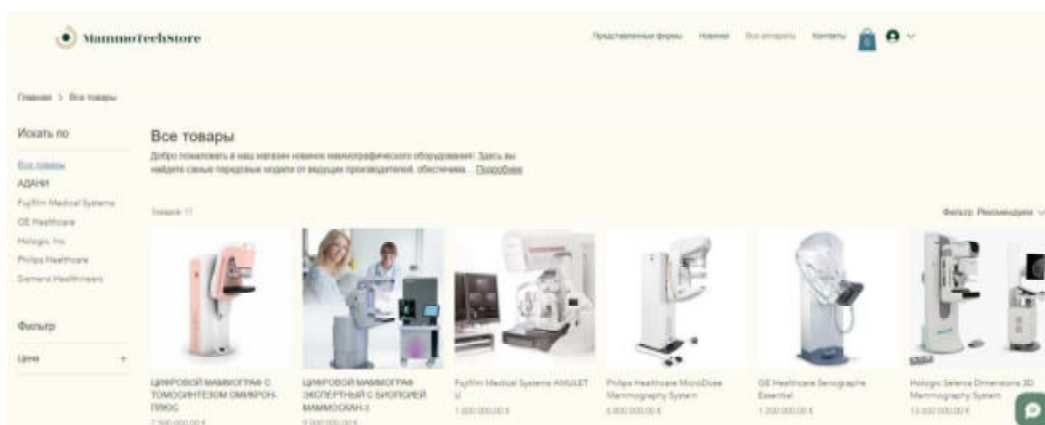


Рис. 2. Каталог товаров



Рис. 3. Карточка товара

Таким образом, сайт предоставляет удобный интерфейс для клиник и медицинских учреждений, что способствует упрощению процесса приобретения маммографического оборудования и повышению доступности высокотехнологичных медицинских устройств. Это решение упрощает покупку медицинского оборудования для клиник, позволяя расширить доступ к высокотехнологичным средствам диагностики.

#### Список использованных источников

1. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / М.С.Фролова, А.Ю.Потлов // Врач и информационные технологии. -2014. -№ 3. С. 35-45.
2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 553 - 561.
3. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. - 2013. - № 11. - С. 50 - 61.
4. Коновалова, К. Н. Ядерная медицина / К. Н. Коновалова, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы III Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс, Тамбов, 15–17 ноября 2016 года / Общая редакция: В. А. Немтинов. Том III, Выпуск 3. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2016. – С. 204-208.

УДК 004.932.2

**Солодков И.Д., Митин К. А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: ilya.solodkov02@mail.ru

## **АНАЛИЗ МОЧИ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННОГО АЛГОРИТМА МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

**Solodkov I.D., Mitin K.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: ilya.solodkov02@mail.ru

### **URINE ANALYSIS USING A MODERN MACHINE VISION ALGORITHM**

*Аннотация.* Разработано приложение с машинным зрением, которое будет анализировать цвета и по ним показывать результат теста для того, чтобы минимизировать человеческий фактор ошибки. анализ мочи с использованием тест-полосок является удобным и доступным методом, который может быть использован как для первичной диагностики, так и для контроля за состоянием здоровья.

*Ключевые слова:* анализ мочи, тест-полоски, приложение с машинным зрением.

*Abstract.* An application with machine vision has been developed that will analyze colors and show the test result based on them in order to minimize the human error factor. urine analysis using test strips is a convenient and affordable method that can be used both for primary diagnosis and for monitoring health status.

*Keywords:* urine test, test strips, machine vision app.

Анализ мочи является важной частью диагностики различных заболеваний и состояний человека [1-5]. Одним из простых и удобных способов проведения анализа мочи является использование специальных тест-полосок. Этот метод позволяет быстро и эффективно получить информацию о состоянии здоровья пациента, обнаружить наличие различных патологий и следить за динамикой изменений. В данной работе мы рассмотрим принцип работы тест-полосок для анализа мочи, их преимущества и недостатки, области применения, а также основные параметры, которые можно измерить с их помощью.

Анализ мочи с использованием тест-полосок – это метод, основанный на химических реакциях между компонентами мочи и специальными веществами на полосках. Тест-полоски содержат различные реагенты, способные изменять свой цвет, в зависимости от наличия определенных веществ в моче.

Гемоглобин/кровь: Гемоглобин и миоглобин катализируют реакцию окисления хромогена, содержащегося в сенсорном элементе тест-полоски за счет перекисей органического происхождения. Порог чувствительность на наличие гемоглобина составляет 10,0 эритроцитов в 1 микролитре мочи (эри/мкл) или 0,3 мг/л.



Рис.1



Рис.2

В нашем случае мы разрабатываем приложение с машинным зрением, которое будет анализировать цвета и по ним показывать результат теста, для того что бы минимизировать человеческий фактор ошибки. Все тесты для приложения производятся с разным количеством того или иного препарата и под разным освещением для того, чтобы показать максимально правильный результат вне зависимости от освещения

Алгоритм работы машинного зрения обучается вручную.



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Преимущества использования тест-полосок для анализа мочи включают простоту и быстроту проведения анализа, возможность проведения исследования в домашних условиях, возможность отслеживания динамики изменений показателей, а также относительно невысокую стоимость процедуры.

Однако следует помнить, что анализ мочи с помощью тест-полосок имеет и некоторые ограничения. Например, этот метод не всегда обеспечивает высокую точность результатов, особенно в сравнении с более сложными лабораторными

методами исследования мочи. Кроме того, существует риск ошибок при проведении анализа, если не соблюдаются все инструкции по сбору и проведению исследования.

В заключении следует отметить, что анализ мочи с использованием тест-полосок является удобным и доступным методом, который может быть использован как для первичной диагностики, так и для контроля за состоянием здоровья. Однако для получения точных результатов необходимо строго соблюдать все рекомендации по проведению анализа и, при необходимости, дополнительно консультироваться с врачом. В целом, использование тест-полосок для анализа мочи является важным инструментом в рутинной практике медицинского персонала и для самоконтроля пациентов.

#### Список использованных источников

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. - 2014. - № 3. - С. 35 - 45.

2. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / М.С.Фролова, А.Ю.Потлов // Врач и информационные технологии. -2014. -№ 3. С. 35-

3. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.

4. Фролов, С. В. тенденции, которые изменят перспективы отрасли медицинского оборудования / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2022 : Сборник трудов XXXV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 07–09 декабря 2022 года / Под общей редакцией В.И. Жулева. – Рязань: Индивидуальный предприниматель Коняхин Александр Викторович, 2022. – С. 292-295.

5. Фролов, С. В. Тенденции индустрии медицинских устройств / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 12–14 октября 2022 года. Том Выпуск 8. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 294-296.

УДК 616.31-073.7:616.714.1-071.3:616.724

**Али Абделлатиф Мохамеделхади Абделлатиф,  
Фролова Т.А.**

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: frolova2000@gmail.com

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ТРЁХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ СРЕЗОВ (ТОМОГРАММ) ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ  
ИССЛЕДОВАНИИ**

**Ali Abdellatif Mohamedelhadi Abdellatif,  
Frolova T.A.**

Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: frolova2000@gmail.com

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONSTRUCTION OF THREE-  
DIMENSIONAL IMAGES BASED ON SLICES (TOMOGRAMS) DURING  
ULTRASONIC RESEARCH**

*Аннотация.* Разработан метод построения трёхмерного изображения на основе срезов (томограмм) при ультразвуковом исследовании. Чем меньше шаг по глубине каждого среза, тем более точным будет восстановленное объёмное изображение, что, несомненно, является важным аспектом при реализации и дальнейшем осмыслении данной идеи в математической форме.

*Ключевые слова:* трехмерное изображение, ультразвуковое исследование, компьютерная томография.

*Abstract.* A method has been developed for constructing a three-dimensional image based on slices (tomograms) during ultrasound examination. The smaller the step in depth of each slice, the more accurate the reconstructed volumetric image will be, which, undoubtedly, is an important aspect when implementing and further understanding this idea in mathematical form.

*Keywords:* 3D imaging, ultrasound, computed tomography.

Медицинская диагностика является основой лечения различных заболеваний и патологических процессов. Она предназначена для получения информации о расположении, форме, размере, структуре, кровоснабжении органов и тканей человека и помогает выявить структурные изменения и воспалительные процессы, либо информирует о здоровом состоянии исследуемой части организма. От своевременной диагностики зависит успех лечения того или иного заболевания.

Ультразвуковое исследование в настоящее время является одним из наиболее популярных видов диагностики и используется практически во всех областях медицинской практики. Это обусловлено доступностью и высокой информативностью данного метода. Клиническими и экспериментальными данными не было выявлено патологических изменений в тканях после ультразвукового воздействия, что говорит также и о безопасности исследования.

В связи с тем, что имеется большой спрос на ультразвуковую диагностику, расширяется и функционал аппаратов УЗИ – появляются новые технологии визуализации и методы сканирования. Так, в настоящее время доступны исследования в режиме реального времени, что используется чаще всего в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний и при беременности.

Для получения полной информации о той или иной структуре ткани и органа в целом недостаточно классической двумерной визуализации, так как компьютерная томография и МРТ дадут больше деталей на диагностических снимках. Следовательно, актуальным вопросом является разработка и улучшение существующих решений по преобразованию нескольких изображений УЗИ в одно объёмное. Это выведет ультразвуковую диагностику на качественно новый уровень, позволит получить детальные снимки исследуемого органа с разных ракурсов и поможет врачу-специалисту в принятии решений по лечению.

В данной работе будет представлена реализация метода построения трёхмерного изображения на основе ультразвуковых томограмм.

Получение трёхмерного массива данных с ультразвукового исследования является сложной вычислительной задачей. Для трёхмерного изображения объём данных увеличивается минимум в число раз, равное числу полученных слоёв изображения, например, 32 слоя. Это предполагает наличие высокопроизводительных вычислительных систем [31, 32].

В процессе трёхмерного сканирования из оцифрованной информации (сигнала ультразвуковых волн) формируется трёхмерный массив чисел, каждый из которых соответствует отражающей способности некоторой точки исследуемого объекта.

При использовании классических методов трёхмерной визуализации изображение сильно искажается. Объекты, расположенные ближе к датчику вытянуты по горизонтали, а прямые линии и плоскости получаются изогнутыми. Это связано с тем, что полученный массив, состоящий из записи отдельных лучей формируется в различных криволинейных системах координат. В связи с этим необходимо выполнение процесса перехода к привычной для эксперта декартовой системе, а образующиеся при этом пустоты исключать интерполяционными методами. Однако, наглядное представление изображений на мониторе также является непростой задачей.

Аппаратная реализация предлагаемого способа представлена принципиальной схемой на рисунке 1.





Рис. 1. Принципиальная схема получения томограммы УЗИ для дальнейшего преобразования в трёхмерном виде

С панели управления аппарата УЗИ выбирается режим реконструкции трёхмерного изображения, с генератора на датчик поступают колебания с изменяющейся частотой, а также автоматически меняется фокусное расстояние для для получения детализированных изображений на каждой частоте.

#### Список использованных источников

1. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / М.С.Фролова, А.Ю.Потлов // Врач и информационные технологии. -2014. -№ 3. С. 35-45.
2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2013. - Т. 19, № 3. - С. 553 - 561.
3. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. - 2013. - № 11. - С. 50 - 61.
4. Frolov, S.V., Potlov, A.Y., Korobov, A.A., Savinova, K.S. Neural Network Control of Environmental Parameters in Neonatal Incubators//Proceedings of 2023 4th International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies, NeuroNT 2023, pp. 21–24.



УДК 539

**Филатов Н. О.<sup>1</sup>, Мордасова А.-М. С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов  
e-mail: darkfrost\_20@mail.ru

<sup>2</sup> ГБУЗ КДЦ 6 ДЗМ Филиал №6, Россия, г. Москва  
e-mail: esmordasova@yandex.ru

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ЦИФРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Filatov N. O.<sup>1</sup>, Mordasova A.-M. S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Tambov State Technical University, Russia, Tambov  
e-mail: darkfrost\_20@mail.ru

<sup>2</sup> GBUZ CDC 6 DZM Branch No. 6, Russia, Moscow  
e-mail: esmordasova@yandex.ru

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A METHOD FOR IMPROVING THE  
QUALITY OF DIGITAL X-RAY IMAGES BASED ON OPERATIONS OF  
MATHEMATICAL MORPHOLOGY OF RASTER IMAGES**

*Аннотация.* Разработан метод коррекции цифровых рентгеновских изображений, который позволяет, благодаря использованию пирамид Лапласа и операторам первой и второй производной, усилить контраст на изображении и при этом не привнося искажений в обработанное изображение. Результаты работы могут быть использованы в лечебных учреждениях для улучшения цифровых рентгеновских изображений.

*Ключевые слова:* рентгеновское изображение, операторы первой и второй производной, низкочастотные и высокочастотные уровни, пирамида Лапласа, операция математической морфологии.

*Abstract.* A method for correcting digital X-ray images has been developed, which allows, through the use of Laplace pyramids and the first and second derivative operators, to enhance the contrast in the image without introducing distortion into the processed image. The results of the work can be used in medical institutions to improve digital X-ray images.

*Keywords:* X-ray image, first and second derivative operators, low-frequency and high-frequency levels, Laplace's pyramid, mathematical morphology operation.

В настоящее время одним из самых распространенных методов исследования внутренней структуры биологических объектов является рентгенография [1-8]. Неотъемлемой частью цифровой рентгенографии является цифровая обработка рентгеновского изображения. Она позволяет врачу при постановке диагноза опираться

уже не только на свой опыт, но и на качественную и количественную меру информации, т. е. информационную способность, которая дает возможность выявлять минимальные изменения в тканевой структуре легких и выполнять диагностику без проведения контрольных снимков на пленке. Основной недостаток исходных цифровых рентгеновских изображений – это недостаточный контраст, из-за которого затруднено восприятие деталей изображен. В связи с этим целесообразно разработать метод коррекции, который позволит улучшить восприятие цифровых рентгеновских изображений человеком.

Целью работы являлась разработка и исследование метода повышения качества цифровых рентгеновских изображений на основе операций математической морфологии растровых изображений в градациях серого.

В рамках проведенного исследования решены следующие задачи:

1. Проведен анализ известных методов повышения качества цифровых рентгеновских изображений при помощи аппаратных средств, который показал, что основным способом уменьшения шумов и артефактов на изображении являются отсеивающие решетки.

2. Проведено исследование недостатков программных методов повышения качества цифровых рентгеновских изображений, показавшее, что наиболее эффективным из методов повышения качества цифровых рентгеновских изображений является детектор скрытых краев.

3. Разработан метод повышения качества цифровых рентгеновских изображений при помощи операторов первой и второй производной, включающий в себя считывание исходного изображения, усиление высоких частот и вывод обработанного изображения, отличающейся тем, что для уменьшения артефактов и усиления контраста использованы разложение исходных изображений на низкочастотные и высокочастотные уровни при помощи операторов первой и второй производной, контрастно-ограниченное адаптивное выравнивание гистограммы на всех низкочастотных уровнях и последующая реконструкция изображения.

4. Разработан, базирующийся на вышеописанном методе, алгоритм повышения цифровых рентгеновских изображений при помощи пирамид Лапласа, отличающийся использованием интуитивно понятных пользовательских интерфейсов, в частности быстрого ввода и вывода изображения на экран;

5. Алгоритм коррекции цифровых рентгеновских изображений практически реализован в виде программного продукта в среде MATLABR2014bc использованием ImageProcessingToolbox что позволило улучшать цифровые рентгеновские изображения в диалоговом режиме работы;

6. Доказана эффективность предложенного метода коррекции цифровых рентгеновских изображений при помощи операторов первой и второй производной, в частности установлено повышение контраста на 29% по сравнению с фильтрацией с усилением высоких частот.

Результаты работы могут быть использованы в лечебных учреждениях для улучшения цифровых рентгеновских изображений.

## Список использованных источников

1. Ильин, Г. П. Информационная модель рентгеновского аппарата С-дуга / Г. П. Ильин, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 24–25 октября 2023 года. Том Выпуск 9. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 354-355.
2. Фролов, С. В. Тенденции, которые изменят перспективы отрасли медицинского оборудования / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2022 : Сборник трудов XXXV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 07–09 декабря 2022 года / Под общей редакцией В.И. Жулева. – Рязань: Индивидуальный предприниматель Коняхин Александр Викторович, 2022. – С. 292-295.
3. Фролов, С. В. Тенденции индустрии медицинских устройств / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 12–14 октября 2022 года. Том Выпуск 8. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 294-296.
4. Фролова, Т. А. Эффективный проектный менеджмент для медицинского оборудования / Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы VII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 12–14 октября 2021 года. Том Выпуск 7. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2021. – С. 300-302.
5. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67-70. – DOI 10.52348/2712-8873\_ММТТ\_2021\_6\_67.
6. Гундарцова, Е. С. Применение GMR-датчиков в медицине / Е. С. Гундарцова, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы II Международной научно-практической конференции, Тамбов, 17–19 ноября 2015 года. Том 2. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2016. – С. 255-259.
7. Коновалова, К. Н. Современные средства обработки информации в ядерной медицине / К. Н. Коновалова, Т. А. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы II Международной научно-практической конференции, Тамбов, 17–19 ноября 2015 года. Том 2. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2016. – С. 259-263.
8. Фролов, С.В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / М.С.Фролова, А.Ю.Потлов // Врач и информационные технологии. -2014. -№ 3. С. 35-45.

Научное электронное издание

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И  
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН**

**Материалы X Международной  
научно-практической конференции**

**Выпуск 10**

Компьютерное макетирование Е. Е. Румянцевой  
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

**ISBN 978-5-8265-2835-8**



Подписано к использованию 12.11.2024.  
Тираж 100 шт. Заказ № 124

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.  
Телефон (4752) 63-81-08.  
E-mail: [izdatelstvo@admin.tstu.ru](mailto:izdatelstvo@admin.tstu.ru)