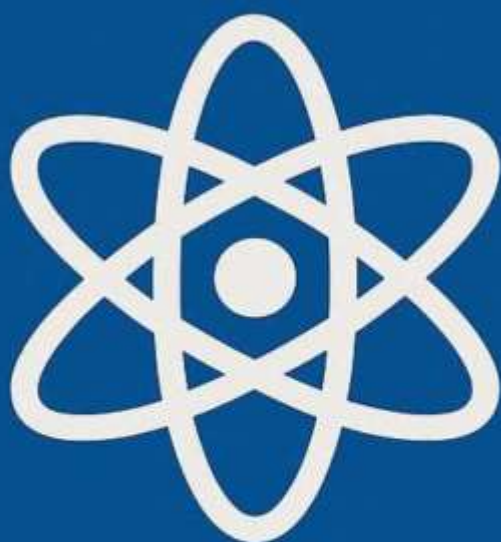


# ПРОМТЕХДИЗАЙН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»

## **ПРОМТЕХДИЗАЙН**

### **Естественные и технические науки**

Сборник статей всероссийской научной конференции  
молодых ученых с международным участием

#### **Часть 2**

УДК 009+67/68(063)

ББК 6/8+37.2я43

П40

П40 ПРОМТЕХДИЗАЙН. Естественные и технические науки. Сборник статей всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Часть 2 / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026. – 285 с.

ISBN 978-5-7937-3000-6

ISBN 978-5-7937-2997-0

Научно-технические конференции институтов, высших школ и факультетов – сроки проведения уточняются редакцией.

Оргкомитет:

Макаров А.Г. – д.т.н., профессор, председатель

Шванкин А.М. – к.т.н., ответственный секретарь

Вагнер В.И. – к.т.н., доцент

Ванькович С.М. – к.искусств., доцент

Ветрова Ю.Н. – к.т.н., доцент

Гамаюнов П.П. – профессор

Жукова Л.Т. – д.т.н., профессор

Иванов К.Г. – д.ф.-м.н., профессор

Иванов О.М. – д.т.н., профессор

Иванова С.Ю. – к.т.н., доцент

Киселев А.М. – д.т.н., профессор

Куров В.С. – д.т.н., профессор

Лебедева Г.Г. – к.т.н., доцент

Лезунова Н.Б. – к.филолог.н., доцент

Мамонова В.А. – к.культур.

Марковец А.В. – д.т.н., профессор

Переборова Н.В. – д.т.н., профессор

Рожков Н.Н. – д.т.н., доцент

Сухарева А.М. – к.т.н., доцент

Энтин В.Я. – д.т.н., профессор

ISBN 978-5-7937-3000-6

ISBN 978-5-7937-2997-0

УДК 009+67/68(063)

ББК 6/8+37.2я43

© ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Е.С. Яркова, А.Ю. Трясцын СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА И ФОРМАТОВ ДАНЫХ ДЛЯ СИСТЕМ INDOOR-НАВИГАЦИИ .....	7
Али к. К. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛОЖНОФАКТУРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОДЕЖДЫ В СИСТЕМАХ 3D ГРАФИКИ .....	11
Арапко А.М. СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ БРЕНДОВЫХ АТТРИБУТОВ АДАПТИВНОЙ ШВЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ .....	18
Бескостова П.Р., Лиджеева Ц. А.-С. ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ АВАТАРОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ОДЕЖДЫ .....	24
Егупова Е.В. КОНФЕКЦИОНИРОВАНИЕ КАК БАЗОВАЯ ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ БЮСТГАЛЬТЕРОВ .....	30
А.В. Юр-Кириллук, М.А.Гусева ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭКИПИРОВКИ СПОРТСМЕНОВ ПАРАЛИМПИЙСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВОЛЕЙБОЛ СИДЯ» .....	37
П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ УФ/ВИД СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ РАВНОВЕСИЙ .....	44
С. Ю. Ледовских, В. А. Дживан АКТУАЛЬНОСТЬ .....	50
А.О. Орлова, А.С. Пиляева, И.Г. Груздева АНАЛИЗ ПЕЧАТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ МЕЛОВАННЫХ БУМАГ .....	61
Ю. Ц. Юндунова, В.А. Дживан РАЗРАБОТКА МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭСТЕТИЧЕСКИХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНТЕРАКТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ .....	66
К. А. Антонова ПРИРОДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ КОСМЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ: О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗРАБОТОК НОВЫХ СОСТАВОВ .....	75
Е.А. Гавриленко, И.А. Хромеева ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ .....	81
Е.А. Александрова КОГНИТИВНЫЕ АСПЕКТЫ КАСТОМИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОВ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ: БАЛАНС ГИБКОСТИ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ НАГРУЗКИ .....	87
М.А. Зотова ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОЦЕСС 2D-ГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР: МЕТОДЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДОРАБОТКА AI- КОНТЕНТА .....	93
В.Д. Калинина ПУБЛИЧНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ КАК СРЕДСТВО ВОВЛЕЧЕНИЯ В ВОЛОНТЁРСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ .....	99

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Н.И. Калугина, С.В. Яриз СИНТЕЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ: КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ СБЛИЖЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТА И БИЗНЕСА В СФЕРЕ ДИЗАЙНА .....	107
Д.А. Морозов РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИНТЕРАКТИВНОЙ ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКИ «ЦИФРОВОЙ КОВЧЕГ» .....	113
А.А. Петрова ВЛИЯНИЕ GITHub CLASSROOM НА ВОСПРИНИМАЕМУЮ ПРОЗРАЧНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В КУРСЕ ВЕБ-ДИЗАЙН .....	121
Е.А. Ренева, Е.С. Кокорин AI-АССИСТИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ИНСТРУМЕНТЫ, НАВЫКИ И АРХИТЕКТУРНЫЕ ПОДХОДЫ .....	130
В.К. Селюнина ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПА К ЦИФРОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ .....	136
А.М. Хайруллина РОЛЬ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ LINUX В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ВИДЕОКОНТЕНТА В СОВРЕМЕННЫХ МЕДИАПРОИЗВОДСТВАХ .....	139
А. Д. Афанасьева АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ "ЭЛЕКТРОННЫЙ ТАЛЬМАН" В ПОРТАХ .....	145
Е. В. Фисунова, К. С. Кириш, П. П. Власов РЕЦИКЛИНГ СБРАСОВЫЕМЫХ РАСТВОРОВ КАЛИЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ .....	151
Бородинов А.А., Блинова Ю.Б., Исаков В.Р., Кондрашова А.С., Родина П.И. Название не определено .....	157
Д. Г. Брагк, П. П. Власов ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ФОСФОГИПСА КАРБОНАТОМ АММОНИЯ .....	163
П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ УФ/ВИД СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ РАВНОВЕСИЙ .....	169
А. И. Киселев СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ И УЛУЧШЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИГРОВЫХ 3D-РЕСУРСОВ .....	175
Р. А. Беспалов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОЛИГОНАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ .....	183
Е. М. Бортник, Н. А. Дедюхина ФЕНОМЕН "ЖИДКОЙ АРХИТЕКТУРЫ" В СОВРЕМЕННОМ ВЕБ-ДИЗАЙНЕ: ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ И КИНЕСТЕТИЧЕСКАЯ ЭМПАТИЯ .....	188

# ОГЛАВЛЕНИЕ

А. Брызгалов СРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФЛЕКСОГРАФИИ И ГЛУБОКОЙ ПЕЧАТИ НА РЫНКЕ ГИБКОЙ УПАКОВКИ В РОССИИ В ПЕРИОД 2010-2025 ГГ .....	195
А. С. Донгак, Е. С. Коваленко АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА КАРТРИДЖЕЙ И ТОНЕРОВ .....	200
С. Ю. Ледовских ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР .....	205
Нгуен Минь Хоанг ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ СВЯЗИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ .....	213
М. Ю. Негуляева СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ В ДОПЕЧАТНОЙ ПОДГОТОВКЕ .....	223
М. К. Новикова ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПЕЧАТИ ПО ТКАНИ: ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ .....	228
М. А. Петров ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ УПАКОВКЕ ПЛОСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТОВАРОВ: ПРИМЕНЕНИЯ В УПАКОВКЕ ВИНИЛОВЫХ ПЛАСТИНОК .....	236
Е.В. Петрушак ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ .....	243
Абдулхаирова А.А. ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ УПАКОВОК .....	250
Д.В. Арефьев ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	256
В.И. Горелов ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ .....	261
А.А. Квятковский, Н.М. Бабкина МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРУППЫ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ .....	268
А.С. Морев ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НИЗКОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ДЛЯ ТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	274
Н.Ю. Новожилов, И.М. Беспалова РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТЕРНОГО КОМПЛЕКТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ В СИСТЕМЕ КОМПАС-3D .....	280

УДК 004.9

**Е.С. Яркова, А.Ю. Трясцын**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА И ФОРМАТОВ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ INDOOR-НАВИГАЦИИ**

© Е.С. Яркова, А.Ю. Трясцын, 2026

*Статья посвящена анализу технологий создания интерактивных навигационных карт для сложных многоуровневых объектов — на примере корпуса университета. Рассматриваются основные модели представления пространства: сетевая, метрическая и ячеистая, — а также форматы хранения картографических данных: растровый и векторный. Для каждого подхода проведена сравнительная оценка по критериям точности позиционирования, скорости маршрутизации, сложности реализации и гибкости редактирования. По результатам анализа обоснован выбор сочетания векторного формата данных и сетевой модели пространства как оптимального для задачи indoor-навигации. На основе данного подхода предложена реляционная модель данных навигационной системы корпуса вуза, реализующая помещения и переходы в виде графовой структуры.*

**Ключевые слова:** интерактивная карта, навигационная система, indoor-навигация, векторные данные, сетевая модель, граф маршрутизации, реляционная модель данных.

E.S. Yarkova, A.Yu. Triastyn

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**COMPARATIVE ANALYSIS OF SPACE REPRESENTATION MODELS AND DATA FORMAT FOR INDOOR NAVIGATION SYSTEMS**

*The paper presents an analysis of technologies for developing interactive navigation maps for complex multi-level buildings, using a university building as a case study. Three spatial representation models are examined — network-based, metric, and grid-based — along with two cartographic data formats: raster and vector. Each approach is evaluated against criteria including positioning accuracy, routing speed, implementation complexity, and editing flexibility. Based on the comparative analysis, the combination of vector data format and a network spatial model is identified as the optimal solution for indoor navigation tasks. Building on this approach, a relational data model for a university building navigation system is proposed, representing rooms and passages as a graph structure.*

**Keywords:** interactive map, navigation system, indoor navigation, vector data, network model, routing graph, relational data model.

Развитие современной городской инфраструктуры и архитектурных объектов способствует усложнению структуры зданий и общественных пространств. Современные здания — торговые центры, образовательные учреждения, музеи, аэропорты — представляют собой многоуровневые комплексы со сложной системой помещений и переходов. Посетителям таких объектов становится всё сложнее использовать традиционные средства ориентирования: настенные указатели, печатные карты и схемы оказываются недостаточно информативными и не позволяют динамически адаптировать маршрут. [1]

В ответ на эту проблему всё шире внедряются цифровые навигационные системы класса indoor navigation — системы, обеспечивающие ориентирование внутри здания с использованием интерактивных карт и алгоритмов построения маршрутов. По данным аналитического агентства MRFR, рынок систем навигации внутри помещений с 2022 по 2030 год будет расти со среднегодовым темпом около 32%, достигнув объёма свыше 90 млрд долларов США [2]. Это свидетельствует о высокой практической значимости задачи и интересе как со стороны бизнеса, так и со стороны государственных учреждений.

Одним из типичных и при этом недостаточно изученных объектов для внедрения цифровой навигации является университетский корпус. Корпус университета представляет собой сложный картографический объект вследствие многоуровневой планировки, большого количества аудиторий и служебных помещений, которые затрудняют ориентирование, особенно для первокурсников и

посетителей. Внедрение цифровой интерактивной навигации позволит сократить время поиска помещений и снизить нагрузку на административный персонал.

Задача indoor-навигации активно изучается в зарубежной и отечественной литературе. Работы в данной области можно разделить на несколько направлений: разработка алгоритмов маршрутизации, проектирование моделей пространства и выбор форматов данных.

В работе [3] рассматривается применение графовых структур в сочетании с BIM-моделями зданий для построения навигационных систем. Авторы предлагают использовать алгоритмы оптимизации непосредственно на основе топологических данных BIM, что позволяет автоматически извлекать граф маршрутизации без ручной разметки. Однако данный подход требует наличия готовой BIM-модели здания, что не всегда реализуемо на практике.

Иной подход представлен в работе [4], где исследуется офлайн-система 2D-навигации для мобильных приложений, разработанная для университетских зданий. Авторы используют матричную (ячеистую) модель пространства в сочетании с облегченными структурами данных, что позволяет обеспечить работу системы в условиях нестабильного интернет-соединения. Эксперименты показали значительное улучшение пользовательского опыта по сравнению с традиционными схемами.

Применительно к отечественным вузам следует отметить опыт команды VibeLab СПбГЭТУ «ЛЭТИ», разработавшей навигационную систему SmartMap [5]. В качестве картографической основы использовались данные AutoCAD, маршрутизация строилась на основе тепловых карт расстояний до стен. Авторы отмечают, что данный подход потребовал порядка 100 000 узловых точек для обеспечения приемлемой точности, что свидетельствует о вычислительной затратности ячеистых методов.

Работа [6] посвящена разработке интерактивной карты университета на основе открытых картографических решений — библиотеки Leaflet и СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS. Авторы обосновывают выбор в пользу векторного представления данных и открытых инструментов, подчёркивая преимущества с точки зрения скорости работы приложения и простоты сопровождения.

Анализ перечисленных источников позволяет выделить ключевые характеристики, влияющие на выбор архитектуры системы: модель пространства, формат хранения данных, требования к точности и производительности. Настоящая работа систематизирует эти аспекты в форме сравнительных таблиц и предлагает обоснованное решение для конкретного прикладного случая.

Для сравнения существующих моделей и подходов определены критерии, отражающие требования всех участников системы: пользователей, разработчиков и администраторов данных.

С точки зрения пользователя приоритетными являются точность позиционирования (насколько точно система определяет местонахождение объекта или строит маршрут) и скорость поиска маршрута (время отклика при запросе пути от точки А до точки Б). С точки зрения разработчика — сложность реализации, то есть объём необходимых работ по сбору исходных данных, построению модели и реализации алгоритмов. С точки зрения администратора данных — гибкость редактирования: возможность оперативно вносить изменения в карту при перепланировке или смене назначения помещений.

На основе этих критериев все рассматриваемые подходы классифицированы по двум измерениям: принципу представления пространства (сетевая, метрическая, ячеистая модель) и формату хранения картографических данных (растровый и векторный). [6]

Таблица 1 – Сравнительный анализ по принципу представления пространства

Вид модели	Точность позиционирования	Скорость поиска маршрута	Сложность реализации
<b>Сетевая.</b> Граф по центральным линиям коридоров и проходов	Средняя — координаты узлов отражают топологию, но не точную геометрию помещений	Высокая — граф напрямую обрабатывается алгоритмами Дейкстры и A*	Низкая — требует только разметки узлов и рёбер без точных измерений
<b>Метрическая.</b> Точные координаты объектов и реальные расстояния между ними	Высокая — использует реальные пространственные координаты каждого объекта	Средняя — требует вычисления евклидовых расстояний на каждом шаге поиска	Высокая — необходима точная съёмка или BIM-модель здания
<b>Ячеистая.</b> Дискретная сетка клеток покрывающая план здания	Низкая — точность ограничена размером ячейки, мелкие объекты теряются	Высокая — поиск по сетке эффективен для волновых алгоритмов и A*	Средняя — генерация сетки автоматизируема, но требует настройки разрешения

Независимо от выбранной модели пространства её практическая реализация определяется форматом хранения картографических данных. Рассмотрим два основных формата: растровый и векторный.

Растровый формат представляет план здания в виде изображения (PNG, JPEG), где каждый пиксель соответствует фиксированному участку пространства. Данный формат прост в получении — достаточно отсканировать или сфотографировать архитектурный план. Однако он лишён семантики: объекты не имеют атрибутов, координаты точек извлекаются через трансформацию пикселей, а любые изменения требуют редактирования в графическом редакторе. Построение графа маршрутизации по растру возможно, но требует дополнительного шага векторизации.

Векторный формат представляет пространство в виде геометрических объектов (полигонов, полилиний, точек) с атрибутивной информацией и точными координатами. Каждое помещение, коридор или точка входа является отдельным объектом с набором свойств: идентификатор, название, тип, этаж, доступность. Такой формат напрямую пригоден для построения графа навигации и легко интегрируется с реляционными СУБД и ГИС-инструментами, такими как PostGIS или GeoJSON. [6]

Таблица 2 – Форматы хранения картографических данных

Вид модели	Точность позиционирования	Гибкость редактирования	Пригодность для маршрутизации
<b>Растровый.</b> Изображение плана здания в виде пикселей (PNG, JPEG)	Низкая — нет семантики объектов, координаты извлекаются через трансформацию пикселей	Низкая — редактирование требует графического ПО, атрибуты объектов отсутствуют	Низкая — построение графа маршрутизации по растру требует дополнительной векторизации
<b>Векторный.</b> Геометрические объекты с атрибутивной информацией и координатами	Высокая — каждый объект имеет точные координаты и семантические атрибуты	Высокая — гибкое управление слоями, атрибутами и стилями без потери качества	Высокая — структура данных напрямую используется для построения графа навигации

Анализ двух классификаций позволяет сделать обоснованный выбор: векторный формат хранения данных в сочетании с сетевой моделью пространства обеспечивает оптимальный баланс между точностью позиционирования, скоростью маршрутизации и практической реализуемостью. Сетевая модель требует минимальных исходных данных и напрямую совместима с алгоритмами кратчайшего пути, а векторный формат обеспечивает семантическую полноту и простоту сопровождения.

На основе данного подхода разработана реляционная модель данных навигационной системы корпуса вуза (рисунок 1). Центральными сущностями модели являются помещения (аудитории, коридоры, лестничные пролёты, служебные помещения) и переходы между ними, представленные в виде направленных рёбер графа. Каждое помещение обладает атрибутами: уникальным идентификатором, наименованием, типом, номером этажа и признаком доступности (например, наличия пандуса или лифта). Переходы характеризуются идентификаторами связанных помещений и весом ребра — расчётным временем или расстоянием прохода.

Такая структура позволяет непосредственно применять стандартные алгоритмы нахождения кратчайшего пути — в частности, алгоритм Дейкстры — для построения оптимального маршрута между любыми двумя точками здания. Модель также допускает расширение: добавление сущностей для позиционирования пользователя в реальном времени, учёта временного расписания закрытия помещений и интеграции с системой расписания занятий вуза.

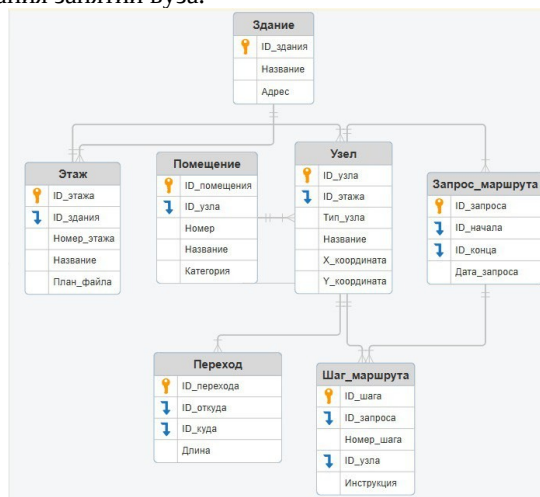


Рисунок 1 – Модель данных разрабатываемой навигационной системы корпуса ВУЗа

Проведённый анализ показал, что для реализации интерактивной навигационной системы корпуса вуза наиболее эффективным является сочетание векторного формата хранения данных и сетевой модели представления пространства: первый обеспечивает семантическую полноту и гибкость редактирования, второй — высокую скорость маршрутизации при низкой сложности реализации. Предложенная реляционная модель данных реализует данный подход и может служить основой для разработки прикладной навигационной системы. Дальнейшее развитие работы предполагает реализацию алгоритмов маршрутизации и тестирование системы на реальных данных корпуса университета.

#### Список литературы:

1. Яркова Е.С., Трясцын А.Ю. Анализ технологий создания интерактивных карт навигации // Материалы и методы инновационных научно-практических исследований и разработок. — 2025. — С. 182–185.
2. Navigine. Indoor-навигация: полное руководство. — 2024. — URL: <https://nvgn.ru/blog/navigacziya-vnutri-pomeshhenij-polnoe-rukovodstvo/> (дата обращения: 20.03.2026).
3. Rachidi Y. et al. Graph-based indoor navigation system using BIM data and optimization algorithms // Proceedings of the 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA). — 2023.
4. Marciniak J.B., Wiktorzak B. Offline System for 2D Indoor Navigation Utilizing Advanced Data Structures // Informatics. — 2025. — Vol. 12, No. 2. — P. 34.
5. VibeLab СПбГЭТУ «ЛЭТИ». SmartMap — электронная навигация для университета. — 2023. — URL: <https://vibelab.ru/blog/smart-university/> (дата обращения: 20.03.2026).
6. Баженова В.А., Манеев Г.А. Основные виды и функции интерактивных карт // Сквозные цифровые технологии и бизнес-информатика. — С. 633–635.
7. Разработка интерактивной карты университета / КиберЛенинка. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-interaktivnoy-karty-universiteta> (дата обращения: 20.03.2026).

#### References

1. Yarkova E.S., Tryastsyn A.Yu. Analiz tekhnologij sozdaniya interaktivnyh kart navigacii [Analysis of technologies for creating interactive navigation maps]. Materialy i metody innovacionnyh nauchno-prakticheskikh issledovanij i razrabotok. 2025. 182–185 pp. (in Rus.).
2. Navigine. Indoor-navigaciya: polnoe rukovodstvo [Indoor navigation: complete guide]. 2024. URL: <https://nvgn.ru/blog/navigacziya-vnutri-pomeshhenij-polnoe-rukovodstvo/> (date accessed: 20.03.2026).
3. Rachidi Y. et al. Graph-based indoor navigation system using BIM data and optimization algorithms. Proceedings of the 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA). 2023.
4. Marciniak J.B., Wiktorzak B. Offline system for 2D indoor navigation utilizing advanced data structures. Informatics. 2025. Vol. 12, No. 2. 34 p.
5. VibeLab SPbGETU «LETI». SmartMap — elektronnaya navigaciya dlya universiteta [SmartMap — electronic navigation for university]. 2023. URL: <https://vibelab.ru/blog/smart-university/> (date accessed: 20.03.2026).
6. Bazhenova V.A., Maneev G.A. Osnovnye vidy i funkcii interaktivnyh kart [Main types and functions of interactive maps]. Skvoznye cifrovye tekhnologii i biznes-informatika. 633–635 pp. (in Rus.).
7. Razrabotka interaktivnoj karty universiteta [Development of an interactive university map]. KiberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-interaktivnoy-karty-universiteta> (date accessed: 20.03.2026).

УДК 687.021

**Али к. К.**

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)  
119071, Москва, ул. Малая Калужская, д.1

## **СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ СЛОЖНОФАКТУРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОДЕЖДЫ В СИСТЕМАХ 3D ГРАФИКИ**

© К. Али к., 2026

*Аннотация.* В статье представлена структурированная информация о доступных инструментах генерирования сложной фактуры меховой одежды в трехмерных графических программах. Классификация позволяет проектировщику выбрать редактор в соответствии с пользовательскими компетенциями и вычислительными возможностями компьютера.

**Ключевые слова** – трехмерное проектирование, фактура меха, текстура цифровой поверхности, свойства меха.

**Aly k. K.**

The Kosygin State University of Russia  
1, Malaya Kalugskaya Street, Moscow, 119071

## **SYSTEMATIZATION OF TOOLS FOR GENERATING COMPLEX-TEXTURED CLOTHING SURFACES IN 3D GRAPHICS SYSTEMS**

*Summary (Abstract):* This article presents structured information on available tools for generating complex fur garment textures in 3D graphics programs. This classification allows designers to select an editor based on user skills and computer computing capabilities.

**Keywords** – 3D design, fur texture, digital surface texture, fur properties.

Современный период развития технологий для проектных работ в швейной отрасли направлен на достижение достоверности образов цифровых аналогов изделий в трехмерной среде [1]. Востребованы программные продукты (модули систем), предоставляющие пользователям инструменты визуализации спектра свойств материалов (эстетические, физико-механические, оптические и др.) для симуляции посадки одежды на аватарах.

Одежда из меха – это наиболее сложный для визуализации объект, поскольку каждый из свыше 90 видов меха характеризуется особыми свойствами фактуры [2], различающейся на топографических участках шкурки и породой зверьков [3]. В настоящее время в задачи проектирования включены процедуры построения конструкций одежды и выбор графических редакторов для генерирования цифрового меха, достоверно передающих свойства волосяного покрова и кожаной ткани шкурки.

Первые успехи по визуализации сложнофактурных поверхностей достигнуты разработчиками компьютерных игр [4], где объектам проектирования были волосы и мех персонажей, при этом, от достоверности передачи свойств объемных оболочек текстуре визуалов зависел коммерческий успех программного продукта. В швейной отрасли качество генерирования цифрового меха влияет на адекватность восприятия образов цифровой одежды, поскольку виртуальные примерки востребованы как на стадии проектирования, так и потребителями при тестировании покупки [5].

В статье представлены исследования возможностей инструментария доступных российским пользователям графических программ и компьютерных движков применительно к процессу генерирования сложной текстуры цифровой оболочки, имитирующей фактуру меха. Результаты систематизации использованы в процессе генерирования посадки меховой одежды на аватарах женских фигур различной степени полноты.

Приобретению пользовательских компетенций в среде универсальных и специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР, DCC-пакеты) уделяется большое внимание при подготовке специалистов для швейных предприятий. Уже обыденным стали требования к соискателям при трудоустройстве, такие как владение навыками работ в графических программах. Обучение проектированию в цифровой среде проходят в средних, средне-специальных и высших учебных заведениях. Наиболее востребованы программы: Autodesk Maya, 3ds Max, Blender, ZBrush, XGen, Ornatix,

Unity Shader Graph, и другие. Перечисленные программы доступны и выбраны нами в качестве объектов для исследования.

Наличие волосяного покрова у шкурок усложняет процесс визуализации оболочки швейного изделия из меха, поскольку генерирование текстуры приходится выполнять в несколько этапов [6].

На первом этапе создают единичные объекты – волоски разных категорий (остевые, пуховые и т.д.). Данную процедуру многие проектировщики выполняют в универсальных САПР (3ds Max, Maya), с последующим генерированием (многократным повторением). Генерирование возможно, как в среде программы, используемой на первичном этапе, так после экспорта единичных объектов в Blender или шейдеры, для ускорения процедуры. Тестирование возможностей универсальных редакторов [6] показало, что цифровые объекты получаются достоверными (рис. 1).

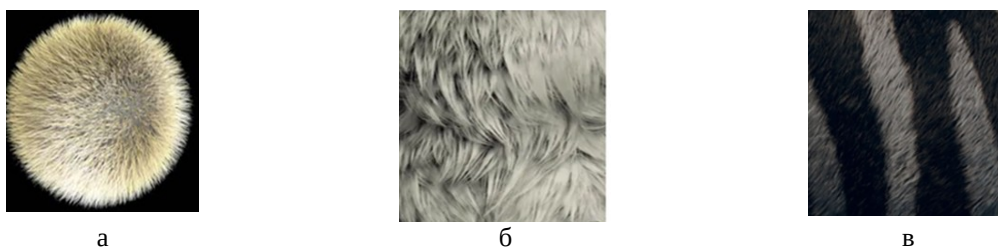


Рис. 1 – Примеры визуализации текстуры цифрового меха в различных графических редакторах: а) 3ds Max, б) Maya, в) Blender

Исследование показало, что возможности графических программ в обновленных версиях расширены различными инструментами, позволяющими проектировать сложные текстуры. Так, в 3ds Max предусмотрены модификатор «Hair and Fur» и плагин VRayFur, а среда Autodesk Maya поддерживается плагинами и скриптами, что ускоряет генерирование. Программа Blender оснащена модулем процедурного груминга, где настройками инструментов осуществляют симуляцию физических свойств волосной поверхности [7].

Отличительной характеристикой меховой поверхности является подвижность структуры – кончики волосков в реальной среде перемещаются под воздействием воздушного потока, причем как в статике, так и при движении. Следовательно, для достоверности визуалов цифрового меха необходимо генерировать различное направление наклона единичных волосков [8], что задает разную толщину волосяного покрова [9] и, соответственно, комплекс параметров цифровой оболочки. Определено, что данный этап генерирования является наиболее трудоемким. Анализ опыта работы IT-специалистов, разрабатывающих «пушистых» персонажей для компьютерных игр, показал, что для ускорения вычислительных процедур применяют гибридный способ, где первично моделируют единичные объекты (остевые волоски разных размеров, наклона, цвета и т.д.), а пуховой слой имитируют объемными полями различной плотности [4, 7]. Для проектирования объемно-плотностных полей используют шейдеры, где моделируют поведение динамических частиц средствами освещения сцен и отражения. Данная технология именуется Strand-based и реализуется в игровых движках системами RTX и новыми RT-шейдерами (Unreal Engine, Shell & Fin technique), а также импортом объектов из DCC-систем в груминг-редакторы (3ds Max + Hair&Fur/Ornatrix; Maya + XGen/nHair; Blender Hair Curves) [10].

Эксперимент по генерированию цифровых моделей меховых шкурок разных видов и одежды из них выполнен в различных графических программах и шейдерах. Общая последовательность действий представлена на рисунке 2.

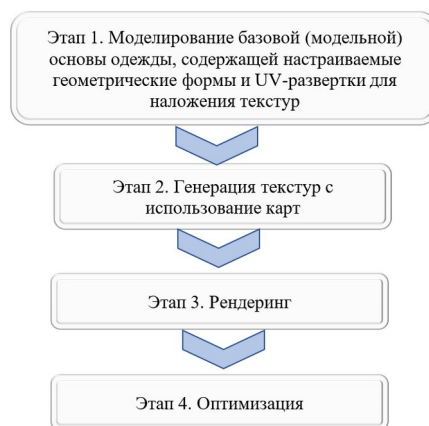


Рис. 2 – Последовательность проектирования одежды из меха с визуализацией образов

Для каждого этапа подобраны DCC-системы. Моделирование полигональных поверхностей швейных изделий целесообразно выполнять в универсальных графических программах или программах-симуляторах (например, CLO3D). Генерацию текстуры цифрового меха начинают с разметки на оболочке цифрового изделия зон с меховыми деталями (рис. 3).

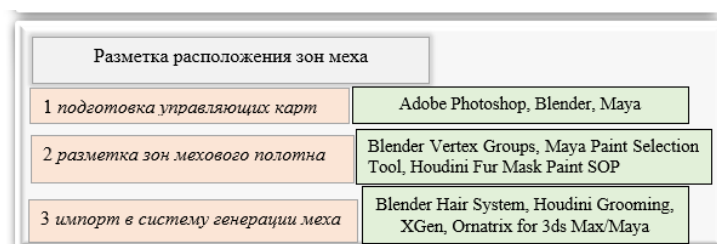


Рис. 3 – Систематизация графических систем для реализации этапа разметки зон меха

Далее проектировщик выполняет проектирование единичных объектов (волосков разных категорий) в плоскостных DCC-системах (рис. 4). Этап «Генерация волосков» - ключевой для выбора способа визуализации фактуры. В зависимости от сложности дизайна модели меховой одежды (инкрустация, измененная фактура, цветовой градиент, или натуральные свойства меха) проектировщик выбирает универсальные редакторы или процедурные генераторы.

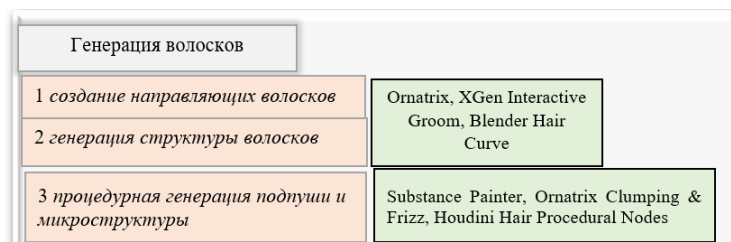


Рис. 4 – Систематизация графических систем для реализации этапа генерации единичных волосков и подушки

Физическая симуляция и рендеринг структуры цифрового меха выполняют в шейдерах настройкой параметров или способом симуляции в графической среде физических свойств детальным изображением на основе математических расчетов (рис. 5).

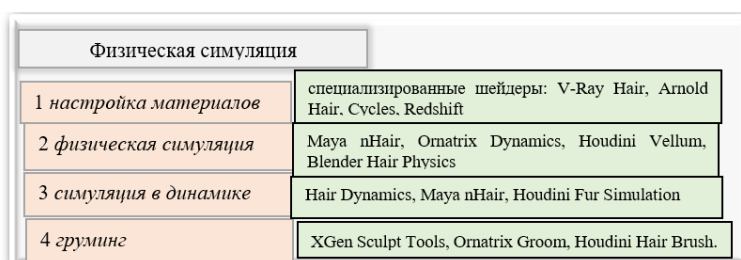


Рис. 5 – Систематизация графических систем для реализации этапа физической симуляции свойств меха в статике и динамике

Для финальной оптимизации полученных изображений целесообразно использование генеративных алгоритмов [11], что значительно ускоряет процесс (рис. 6).

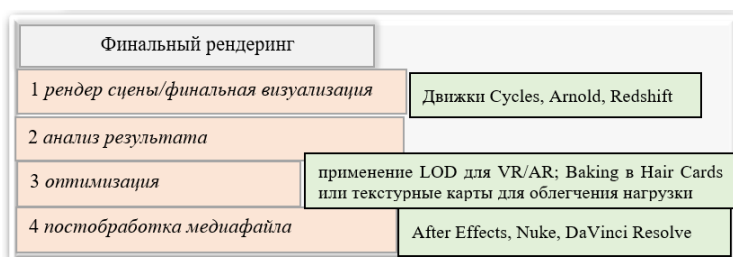


Рис. 6 – Систематизация графических систем для реализации этапа финального рендеринга

По результатам эксперимента сформирована библиотека цифровых моделей меховых полотен [12]. База данных является пополняемым ресурсом, обеспечивающим быстрый выбор данных для адекватного генерирования цифровых моделей меховой одежды с классической фактурой поверхности или повышенной декоративности. Использование подготовленных шаблонов меховых полотен позволяет кастомизировать процесс проектирования, оперативно изменяя модельное решение и текстуру цифровой одежды по художественному эскизу дизайнера или требованиям заказчика в условиях швейных предприятий и индивидуального производства.

Эксперимент по проектированию меховой одежды с этапом генерирования текстуры цифрового меха реализован на изделиях разных размерных групп, включая одежду для фигур корпулентного телосложения.

По итогам эксперимента определено, что для моделей малого размера применима модель генерирования мехового полотна с применением текстурных карт (например, из модуля CLO3D), при этом, полигональная поверхность изделия экспортирована из симулятора и дополнена элементами текстуры, подготовленными в Adobe Photoshop с последующим рендерингом в Blender.

Сложный рельеф корпулентного тела [13] усложняет задачу, поскольку формирует дополнительные опорные зоны [14], что меняет траекторию светового потока по окружающей цифровой объект среде (environment mapping). Имитацию подвижности меховой текстуры в изделиях для корпулентных фигур мы выполнили отражением света по сферическим картам (sphere mapping), а имитацию изменения толщины волосяного покрова - затенением отдельных участков (например, подмышечные впадины и боковые участки изделия, где происходит уменьшение высоты волосяного покрова путем смятия при соприкосновении). Результаты визуализации представлены на рисунке 7.



Рис. 7 – Примеры визуализации текстуры цифрового меха на оболочках одежды

**Заключение.** Современный этап развития швейно-мехового производства заполнен успешными результатами освоения цифровых технологий проектирования. Поскольку темпы развития меховой моды значительно ускорились, то трехмерное проектирование с визуализацией образов одежды становится ведущей технологией. Наполнение информационной базы новыми знаниями и лучшим опытом проектировщиков, в том числе IT-специалистов по компьютерной графике, прикладным программам и игровой индустрии, позволяет дизайнерам меховых производств приобрести новые пользовательские компетенции и вывести отрасль на очередную ступень развития.

*Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук, доцент Гусева М.А.*

*Scientific supervisor: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Guseva M.A.*

#### Список литературы

1. Гусев И. Д. 3D-визуализация дизайна швейных изделий простых форм / И. Д. Гусев, К. К. Али, М. А. Гусева [и др.] // ДИСК-2021: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 22–26 ноября 2021 года. Том Часть 3. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2021. – С. 216-219. – EDN VQDCSK.

2. Гусева, М. А. Разработка концептуальной схемы процесса переработки производственных меховых остатков с интеграцией искусственного интеллекта в механизм управления отходами / М. А. Гусева, К. К. Али // "Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления". "Современные задачи инженерных наук. Проблемы промышленного роста": Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и V Международного Косыгинского Форума, Москва, 26–27 ноября 2025 года. Часть 2. – Москва: Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 42-46. – EDN NEERLN.
3. Гринькова, А. А. Анализ спектра свойств пушно-меховых полуфабрикатов для целей конфекционирования одежды / А. А. Гринькова, М. А. Гусева // Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство : Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти выдающегося советского ученого Н.В. Чернова, Москва, 27 ноября 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 123-128. – EDN CQZVMK.
4. Гусева, М. А. Исследование механизма повышения реалистичности цифровых аналогов меховой поверхности / М. А. Гусева, К. Али Кызы // Дизайн. Материалы. Технология. – 2024. – № 3(75). – С. 220-228. – DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_3(75)\_220\_228. – EDN NDVRTG.
5. Гусева, М. А. Визуализация меха для симуляции его фактуры в одежде / М. А. Гусева, Е. Г. Андреева, К. К. Али // Костюмология. – 2021. – Т. 6, № 2. – EDN RPUPDM.
6. Гусева, М. А. Цифровое конфекционирование материалов при сквозном проектировании меховой одежды / М. А. Гусева, Е. Г. Андреева // Дизайн и технологии. – 2020. – № 78(120). – С. 44-51. – EDN MQWYNZ.
7. Гусева, М. А. Инструменты генерирования меховых полотен в универсальных и специализированных САПР (DCC-системы трехмерной графики) / М. А. Гусева, К. Али Кызы // Дизайн и технологии. – 2025. – № 107(149). – С. 76-87. – EDN JNULQW.
8. Али Кызы, К. Варианты технологий симуляции фактуры меховой поверхности / К. Али Кызы, М. А. Гусева // Инновации молодежной науки: тезисы докладов всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием, Санкт-Петербург, 22–26 апреля 2024 года. Часть 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2024. – С. 618-619. – EDN EOKHNR.
9. Койтова, Ж. Ю. Выбор характеристик строения волосяного покрова в качестве исходных данных для визуализации меховых изделий / Ж. Ю. Койтова, К. В. Перминова, Е. Ю. Долгова, Е. Н. Борисова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2(398). – С. 146-151. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_146. – EDN HASDPR.
10. Али, К. К. Технология Strand-based для генерирования текстуры меха в цифровом проектировании одежды / К. К. Али, М. А. Гусева // Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство : Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти выдающегося советского ученого Н.В. Чернова, Москва, 27 ноября 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 28-31. – EDN MMESHZ.
11. Али, К. К. О применении сверточных нейросетей для рендеринга поверхности меховой одежды / К. К. Али, М. А. Гусева // Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство : Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти выдающегося советского ученого Н.В. Чернова, Москва, 20–21 ноября 2024 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 66-69. – EDN MEDWGY.
12. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625050 Российская Федерация. Цифровые модели меховых полотен для виртуальной симуляции примерок одежды: заявл. 28.10.2024; опубл. 11.11.2024 / М. А. Гусева, к. К. Али, Е. Г. Андреева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина». – EDN SQHTVZ.
13. Шаршова, А. С. Особенности представления сложного рельефа корпулентного тела в виртуальной среде / А. С. Шаршова, А. И. Рогачева, М. А. Гусева // Исследования ВКР - в практику профессиональной жизни : Сборник материалов IV Международной научно-практической межвузовской конференции, Москва, 17 ноября 2023 года. Часть 1. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. – С. 98-101. – EDN KDDCUV.
14. Шаршова, А. С. Особенности генерирования аватаров для полных женщин / А. С. Шаршова, М. А. Гусева, Е. Г. Андреева // Инновации молодежной науки: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием, Санкт-Петербург, 24–28 апреля 2023 года. Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2023. – С. 74-75. – EDN NCZLOP.

## References

1. Gusev, I. D. *3D-vizualizaciya dizajna shvejnyh izdelij prostyh form* [3D Visualization of Simple Garment Designs] / I. D. Gusev, K. K. Ali, M. A. Guseva [et al.] // DISK-2021: Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 22–26 noyabrya 2021 goda. Tom Chast' 3 [DISC-2021: Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, November 22–26, 2021. Volume, Part 3]. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A. N. Kosygin State University of Russia (Technology. Design. Art)”, 2021. – P. 216–219. – EDN VQDCSK. (in Rus.).
2. Guseva, M. A. *Razrabotka konceptual'noj skhemy processa pererabotki proizvodstvennyh mekhovyh ostatkov s integraciej iskusstvennogo intellekta v mekhanizm upravleniya othodami* [Development of a Conceptual Scheme for the Process of Recycling Industrial Fur Waste with the Integration of Artificial Intelligence into the Waste Management Mechanism] / M. A. Guseva, K. K. Ali // "Sovremennye inzhenernye problemy v proizvodstve tovarov narodnogo potrebleniya". "Sovremennye zadachi inzhenernyh nauk. Problemy promyshlennogo rosta": Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo simpoziuma i V Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo Forumu [“Modern Engineering Problems in the Production of Consumer Goods”. "Modern Tasks of Engineering Sciences. Problems of Industrial Growth": Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium and the V International Kosygin Forum], Moscow, November 26–27, 2025. Part 2. – Moscow: A.N. Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art), 2025. – Pp. 42–46. – EDN NEERLN. (in Rus.).
3. Grinkova, A. A. *Analiz spektra svojstv pushno-mekhovyh polufabrikatov dlya celej konfekcionirovaniya odezhd* [Analysis of the spectrum of properties of fur semi-finished products for the purposes of clothing confectionery] / A. A. Grinkova, M. A. Guseva // Innovacionnye tekhnologii: kozha, mekh, himicheskie materialy, proizvodstvo : Sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati vydayushchegosya sovetskogo uchenogo N.V. Chernova [Innovative technologies: leather, fur, chemical materials, production: Collection of scientific papers of the III International scientific and practical conference dedicated to the memory of the outstanding Soviet scientist N.V. Chernov], Moscow, November 27, 2025. – Moscow: A.N. Kosygin State University of Russia. Kosygina (Technologies. Design. Art), 2025. – Pp. 123-128. – EDN CQZVMK. (in Rus.).
4. Guseva, M. A. *Issledovanie mekhanizma povysheniya realistichnosti cifrovyyh analogov mekhovoj poverhnosti* [Study of the mechanism for increasing the realism of digital analogues of the fur surface] / M. A. Guseva, K. Ali Kızı // Dizajn. Materialy. Tekhnologiya. [Design. Materials. Technology]. – 2024. – No. 3 (75). – Pp. 220-228. – DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_3 (75)\_220\_228. – EDN NDVRTG. (in Rus.).
5. Guseva, M. A. *Vizualizaciya mekha dlya simulyacii ego faktury v odezhd* [Visualization of fur to simulate its texture in clothing] / M. A. Guseva, E. G. Andreeva, K. K. Ali // Kostyumologiya [Costume Design]. – 2021. – Vol. 6, No. 2. – EDN RPUPDM. (in Rus.).
6. Guseva, M. A. *Cifrovoe konfekcionirovanie materialov pri skvoznom proektirovanii mekhovoj odezhd* [Digital confectionery of materials in end-to-end design of fur garments] / M. A. Guseva, E. G. Andreeva // Dizajn i tekhnologii [Design and Technology]. – 2020. – No. 78(120). – Pp. 44-51. – EDN MQWYNZ. (in Rus.).
7. Guseva, M. A. *Instrumenty generirovaniya mekhovyh poloten v universal'nyh i specializirovannyh SAPR (DCC-sistemy trekhmernoj grafiki)* [Tools for generating fur fabrics in universal and specialized CAD systems (DCC 3D graphics systems)] / M. A. Guseva, K. Ali Kızı // Dizajn i tekhnologii. [Design and Technology]. – 2025. – No. 107(149). – Pp. 76-87. – EDN JNULQW. (in Rus.).
8. Ali Kızı, K. *Varianty tekhnologij simulyacii faktury mekhovoj poverhnosti* [Options for fur surface texture simulation technologies] / K. Ali Kızı, M. A. Guseva // Innovacii molodezhnoj nauki: tezisy dokladov vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem [Innovations in youth science: abstracts of the All-Russian scientific conference of young scientists with international participation], St. Petersburg, April 22–26, 2024. Part 1. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2024. – Pp. 618–619. – EDN EOKHNR. (in Rus.).
9. Koitova, Zh. Yu. *Vybor harakteristik stroeniya volosyanogo pokrova v kachestve iskhodnyh dannyh dlya vizualizacii mekhovyh izdelij* [Selection of hair structure characteristics as initial data for visualization of fur products] / Zh. Yu. Koitova, K. V. Perminova, E. Yu. Dolgova, E. N. Borisova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2022. – No. 2 (398). – Pp. 146–151. – DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_2\_146. – EDN HASDPR. (in Rus.).
10. Ali, K. K. *Tekhnologiya Strand-based dlya generirovaniya tekstury mekha v cifrovom proektirovanii odezhd* [Strand-based technology for generating fur texture in digital clothing design] / K. K. Ali, M. A. Guseva // Innovacionnye tekhnologii: kozha, mekh, himicheskie materialy, proizvodstvo : Sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati vydayushchegosya sovetskogo uchenogo N.V. Chernova [Innovative technologies: leather, fur, chemical materials, production: Collection of scientific papers of the III International scientific and practical conference dedicated to the memory of the

- outstanding Soviet scientist N.V. Chernov], Moscow, November 27, 2025. – Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), 2025. – pp. 28-31. – EDN MMESHZ. (in Rus.).
11. Ali, K. K. *O primeneniі svertochnyh nejrosetej dlya renderinga poverhnosti mekhovoj odezhdy* [On the application of convolutional neural networks for rendering the surface of fur garments] / K. K. Ali, M. A. Guseva // *Innovacionnye tekhnologii: kozha, mekh, himicheskie materialy, proizvodstvo* : Sbornik nauchnyh trudov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj pamyati vydayushchegosya sovetskogo uchenogo N.V. Chernova, [Innovative technologies: leather, fur, chemical materials, production: Collection of scientific papers of the II International scientific and practical conference dedicated to the memory of the outstanding Soviet scientist N.V. Chernov], Moscow, November 20–21, 2024. – Moscow: A.N. Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art), 2024. – Pp. 66–69. – EDN MEDWGY. (in Rus.).
12. Certificate of state registration of the database No. 2024625050 Russian Federation. *Cifrovye modeli mekhovyh poloten dlya virtual'noj simulyacii primerok odezhdy: zayavl.* [Digital models of fur fabrics for virtual simulation of clothing fittings]: declared. 28.10.2024: publ. 11.11.2024 / M. A. Guseva, Ph.D. K. Ali, E. G. Andreeva; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A.N. Kosygin State University of Russia". - EDN SQHTVZ. (in Rus.).
13. Sharshova, A. S. *Osobennosti predstavleniya slozhnogo rel'efa korpulentnogo tela v virtual'noj srede* [Features of representing the complex relief of a corpulent body in a virtual environment] / A. S. Sharshova, A. I. Rogacheva, M. A. Guseva // *Issledovaniya VKR - v praktiku professional'noj zhizni* : Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj mezhvuzovskoj konferencii, [Research of the final qualifying work - into the practice of professional life: Collection of materials of the IV International scientific and practical interuniversity conference], Moscow, November 17, 2023. Part 1. - Moscow: RossiyskA.N. Kosygin State University (Technologies. Design. Art), 2024. – P. 98-101. – EDN KDDCUV. (in Rus.).
14. Sharshova, A. S. *Osobennosti generirovaniya avatarov dlya polnyh zhenshchin* [Features of generating avatars for overweight women] / A. S. Sharshova, M. A. Guseva, E. G. Andreeva // *Innovacii molodezhnoj nauki: Tezisy dokladov Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem* [Innovations in youth science: Abstracts of the All-Russian scientific conference of young scientists with international participation], St. Petersburg, April 24–28, 2023. Part 2. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2023. – P. 74-75. – EDN NCZLOP. (in Rus.).

УДК 687.021

**Арапко А.М.**

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)  
119071, Москва, ул. Малая Калужская, д.1

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ БРЕНДОВЫХ АТТРИБУТОВ АДАПТИВНОЙ ШВЕЙНОЙ ПРОДУКЦИИ**

© А.М. Арапко, 2026

*Аннотация.* В статье представлен опыт применения искусственного интеллекта в разработке брендовой атрибутики функциональной одежды для пациентов с травмами конечностей.

**Ключевые слова** – функциональная одежда, формообразование, промты, искусственный интеллект, бренд.

**Арапко А.М.**

The Kosygin State University of Russia  
1, Malaya Kalugskaya Street, Moscow, 119071

## **MODERN TOOLS FOR DEVELOPING BRAND ATTRIBUTES FOR ADAPTIVE GARMENT PRODUCTS**

*Summary (Abstract):* The article presents the experience of using artificial intelligence in the development of branded attributes for functional clothing for patients with limb injuries.

**Keywords** – Functional clothing, shaping, prompts, artificial intelligence, brand.

Наличие функциональной одежды в гардеробе потребителей, проходящих лечение в стационарах, способствует формированию комфорта и психологической устойчивости в этот трудный жизненный период. Травматизм – одна из причин, изолирующих человека от общества на длительный срок. Согласно данным Росстата, ежегодно регистрируют 12192 тыс. - 12768,6 тыс. различных травм, причем наиболее распространены скелетные повреждения конечностей. На статистику и тяжесть травматизма влияют последствия военных конфликтов и техногенных катастроф, и другие глобальные факторы. Восстановление после скелетных травм длительное, методики лечения различны, при этом, общим показателем является изменение внешней формы травмированных конечностей за счет установки фиксаторов, стабилизирующих положение сегментов опорно-двигательного аппарата [1]. Наличие фиксаторов влечет за собой необходимость пополнения гардероба эргономичной одеждой и дополнительными аксессуарами, защищающими травмированный участок тела от воздействия внешней среды [2]. Специально разработанная функциональная одежда должна учитывать комплекс специфических требований, а ее конструктивно-технологическое решение необходимо адаптировать под новую морфологию человека [3].

Производством адаптивной одежды (АО), как правило, занимаются специализированные швейные предприятия. Российский рынок АО наполняет как отечественная, так и зарубежная продукция.

Цель представляемого исследования – анализ рынка одежды, адаптированной под особенности эксплуатации потребителями с травмами конечностей, расширение ассортиментной линейки плечевой и поясной одежды новыми изделиями узнаваемого специфического покроя, с характеристиками, заложенными в атрибутику бренда, специализирующегося на изготовлении АО.

Анализ современных методик лечения скелетных травм конечностей показал, что успешному сращиванию костных отломков при осложненных переломах способствует установка чрескостных систем (аппаратов чрескостной фиксации - АЧФ) [4]. Известны различные модели АЧФ, отличающиеся конструктивно и габаритами. Медицинские классификации АЧФ отражают способы крепления несущих стержней (или спиц) к кости, наличие кольцевых (или полукольцевых) деталей, локализацию аппаратов относительно конечности и др.

Систематизацией конструктивного решения и параметрической информации об известных моделях фиксаторов [5] установлено, что их наличие меняет очертания тела человека в двух видах – симметрично и асимметрично. Симметричное увеличение формы происходит при установке спице-кольцевых конструкций (аппараты Г.А. Илизарова, Ettinger, В.К. Калнберза, А.П. Барабаша, А.Г.

Каплунова, О.Н. Гудушаури, Н.Д. Флоренского, Я.Н. Родина, А.П. Чулкова, Dixon, Diveli, Anderson, H. Greifensteiner и др.), а также при использовании ортезов, тугоров, гипсовых повязок.

Несимметричность очертаний формируется при односторонней фиксации чрескостными системами, основанными на билатеральном прохождении через кости несущих стержней или спиц (аппараты A. Lambotte, Л.А. Розена, O. Stader, Сушко, Hoffman и др.).

При этом, независимо от модели фиксатора, его наличие на конечности формирует на поверхности одежды дисбаланс формы и вызывает множественные эстетические и эргономические дефекты посадки. Связанный в этом физический и психологический дискомфорт становится провоцирующим фактором, негативно отражающимся на процессе выздоровления.

Систематизация модельного ряда адаптивной одежды, присутствующей на отечественном рынке [7], и доступной через онлайн-покупки, показала, что в основном, производители предлагают изделия фиксированной формы, распашные в нескольких местах (рис. 1). Основным недостатком таких моделей является статичность объема и симметричность конфигурации. Установка АЧФ на травмированной конечности придает телу стойкую асимметрию, что необходимо учитывать в конструкции одежды.



Рис.1 – Модели разъемной адаптивной одежды для потребителей с травмами конечностей

Разработанные в РГУ им. А.Н. Косыгина конструктивно-технологические решения швейных изделий «Плечевая одежда со вставкой» [8] и «Брюки со вставкой» [9] направлены на расширение модельного ряда адаптивной одежды, отличительным признаком которой является регулируемая асимметрия формы. Наличие в изделиях разъемных участков (по плечевой зоне и внешней поверхности рукавов, по боковым участкам брюк) позволяет локально изменять объем за счет встраивания съемных вставок. В зависимости от того, с какой стороны (слева/справа) установлен АЧФ, к изделиям крепятся вставки со статичной или складчатой поверхностью. Складки, раскрываясь, увеличивают объем пододежного пространства для формирования эргономичной оболочки (рис. 2).



Рис. 2 – Вид сбоку моделей адаптивной одежды с регулируемой вставками асимметрией формы, изделия для больных с травмами верхних конечностей: а) плечевая одежда, б) поясная одежда

Анализ рынка показал отсутствие аналогов одежды с регулируемой асимметрией формы. Следовательно, актуальным является разработка бренда и наполнение ниши перспективной востребованной продукцией.

Для анализа конкурентных компаний, работающих на отечественном рынке, выбраны бренды Med Fashion Lab, Rehabwear, OrthoStyle, характеризующиеся устойчивой позицией и широкой клиентурой. Сравнение концепции, миссии и обещаний брендов-аналогов показало единство позиционирования (табл. 1). Продукция MedFashion ориентирована на потребителей, проходящих реабилитацию после травм или операций, а также на пожилых людей с ограниченной подвижностью. Изделия Rehabwear приобретают люди, перенесшие хирургические вмешательства или находящиеся в состоянии малой подвижности после травм. Модельный ряд OrthoStyle ориентирован на потребителей с ортопедическими проблемами, включая детей и пожилых людей. Общим признаком целевой аудитории исследуемых конкурентов является наличие физических ограничений, связанных с травмами или заболеваниями в области ортопедии и травматологии. Однако, обобщенная характеристика целевых потребителей, исключение личного

профиля клиента, связанного со спецификой терапии, снижают ценность конструктивно-технологических решений швейной продукции.

Таблица 1 – Некоторые характеристики анализируемых брендов

Характеристики	Med Fashion Lab	Rehabwear	OrthoStyle
Концепция	Стильная и функциональная одежда для реабилитации и пожилых людей с ограниченной подвижностью	Одежда адаптированная, для восстановления после хирургических вмешательств и травм	Ортопедическая одежда с учетом модных трендов для людей с ортопедическими проблемами
Миссия	Предоставить комфортную, стильную одежду для людей с ограниченными возможностями	Помочь людям вернуться к активной жизни с помощью удобной и функциональной одежды	Сделать ортопедическую одежду доступной и стильной
Обещание бренда	Качественная и удобная одежда, не уступающая по стилю обычной моде	Облегчение процесса восстановления через удобную и практичную одежду	Комфорт и поддержка без ущерба для стиля
Целевая аудитория	Люди, проходящие реабилитацию, пожилые люди с ограниченной подвижностью	Люди, останавливающиеся после хирургических вмешательств и травм	Люди с ортопедическими проблемами, включая детей и пожилых людей
Диапазон цен	1500–3500 руб.	3000–6000 руб.	3000–5000 руб.
Брендовая продукция	Этикетки, функциональные сумки, постельные тона	Этикетки с информацией о материалах, удобные сумки, яркие цвета	Медицинские ткани, стильные сумки, разнообразие цветов

Анализ брендовой атрибутики показал, что компании уделяют внимание цветовому решению, наличию узнаваемой упаковки и этикеток с информацией о продукте (особенности изделия, значимые свойства материалов и т.п.).

Важным элементом дизайна брендовой атрибутики являются логотип и шрифты. В представляемом проекте для бренда «Анатомия» в ходе разработки логотипа использован современный инструмент – генеративные алгоритмы. Удобными редакторами изображений, в настоящее время, признаны нейросети ChatGPT, MidJourney, Promli, Mitup AI, YollyAI, KlingAI, Шедевриум. Для эксперимента выбран редактор YollyAI.

Для детализированной генерации искусственным интеллектом (ИИ) составлены подробные промты (на русском языке и переведенные на английский с помощью переводчика Deep Translate). В названии бренда «Анатомия» актуализированы понимание структуры и функций организма человека. В контексте одежды он призван символизировать внимание к деталям изделий, комфортность моделей и индивидуальные потребности клиентов с особенностями функционирования организма. Логотип на адаптивной одежде является мощным инструментом, соединяющим маркетинговые стратегии, корпоративную культуру и практичность.

В список промтов, загруженных в генеративную систему включены:

- 1) изображение абриса человека,
- 2) элементы названия бренда «Анатомия»,
- 3) изображение спирали,
- 4) цветовое решение (теплые тона, гамма оттенков – зеленый, бежевый, розовый, серый) (рис. 2).

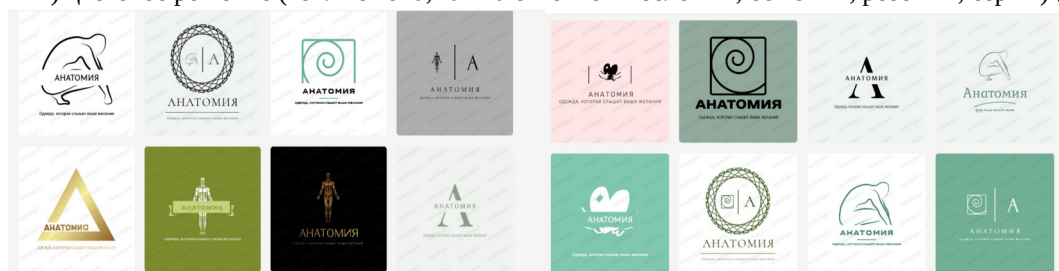


Рис.3 – Логотипы бренда «Анатомия», сгенерированные нейросетью

В качестве символа бренда выбрано изображение человека, свернутого в виде спирали (рис. 4а). Спираль символизирует движение, развитие и гибкость, что может отражать идею о том, что одежда подходит для разных ситуаций и образа жизни. Формы, связанные с телом, подчеркивают здоровье и гармонию, что может быть важным аспектом для целевой аудитории. Логотип предлагается размещать на этикетках изделий, упаковке (рис. 4б), форме сотрудников магазина (рис. 4 в), рекламном щите (рис. 4г).



Рис.4 – Логотипы на атрибутах бренда

В концепцию бренда «Анатомия» включена идея разработки коллекции одежды, сочетающей потребности (множественная разъемность, доступность участков тела для осуществления медицинских манипуляций, эргономичность изделий, эксплуатируемых поверх АЧФ и др.) и модные тенденции.

Тенденцией современного этапа развития швейной отрасли является использование систем искусственного интеллекта в качестве визуализатора посадки разрабатываемой швейной продукции. Нейросеть YollyAI была применена нами для генерирования изображений посадки одежды с регулируемой асимметрией формы [10]. Установлено, что для получения корректных аватаров системы «фигура с АЧФ-адапционная одежда» необходимо длительное обучение нейросети. Эксперимент выполнен поэтапно:

- 1) нейросеть подбирала модели АЧФ, выполняла распознавание аппаратов,
- 2) на аватарах синтезировались визуалы фиксаторов (рис. 5а), уточнялись участки размещения АЧФ;
- 3) синтезировалась посадка изделий (рис 5б).

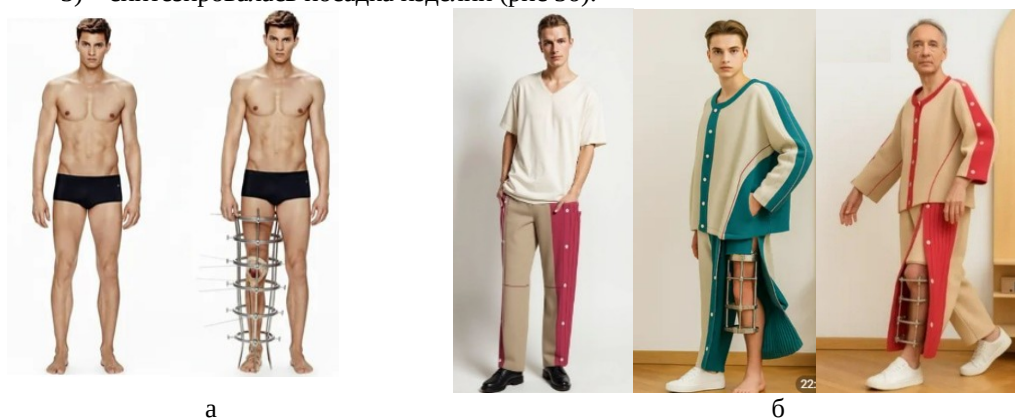


Рис. 5 – Результаты работы с нейросетью YollyAI: а) подготовка аватаров б) работа с одеждой

Полученные результаты прогрессируют по мере обучения нейросетей. Для оценки адекватности полученных визуалов привлечены эксперты (работники швейных предприятий, выпускающих адаптивную одежду, студенты и преподаватели учебных заведений, целевые потребители). Сгенерированные изображения оценивались экспертами по 10-бальной системе. Наиболее достоверному изображению присуждался максимальный балл (10), наименее достоверному – минимальный (1). Обработка результатов ранжирования показала высокую степень согласованности мнений экспертов ( $W=0,81$ , коэффициент конкордации) [10].

По итогам эксперимента определено, что внедрение инструментов искусственного интеллекта в процесс проектирования адаптивной одежды возможно на разных этапах разработки. Наиболее эффективный результат можно получить на этапе дизайна модели и разработки атрибутов бренда. Генерирование визуалов адаптивной одежды – наиболее трудоемкий процесс, требующий обучения нейросетей, разработки базы лингвистически грамотно составленных промтов, отражающих особенности формообразования изделий в зависимости от особенностей морфологии человека или наличия на теле медицинских приспособлений, аппаратов или устройств.

**Заключение.** Современный этап развития промышленности характеризуется использованием нового инструмента – искусственного интеллекта. Встраивание ИИ в процесс разработки адаптивной одежды позволяет расширить креативность проекта и получить новые решения.

Исследование выполнено в рамках Федерального проекта «Обучение служением».

*Научные руководители: доцент, кандидат технических наук, доцент Гусева М.А., профессор, доктор технических наук, профессор Гетманцева В.В.*

*Scientific supervisors: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Guseva M.A., Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Getmantseva V.V.*

### Список литературы

1. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Клочкова О.В., Знамцева (Арапко) А.М., Бескостова П.Р. Особенности проектирования одежды для потребителей с осложненными травмами конечностей // Дизайн. Материалы. Технология. 2025. № 2 (78). С. 109-117.
2. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Зотов В.В., Клочкова О.В., Джоджуа А.В., Иванова А.О. Повышение эргономических характеристик одежды для потребителей с боевыми травмами верхних конечностей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3 (411). С. 160-169.
3. Гусев И.Д., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Проектирование адаптивной швейной продукции с учетом специфических требований маломобильных потребителей // Дизайн. Материалы. Технология. 2024. № 2 (74). С. 149-157.
4. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Знамцева (арапко) А.М., Бескостова П.Р. Совершенствование эргономических и эстетических характеристик одежды для потребителей с политравмами конечностей // Костюмология. 2025. Т. 10. № 1.
5. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Клочкова О.В., Арапко А.М., Бескостова П. Р. Варианты фиксаторов травмированных конечностей как исходная информация для проектирования одежды / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025622365, 30.05.2025. Заявка № 2025622066 от 23.05.2025.
6. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Клочкова О.В., Арапко А.М., Бескостова П. Р. Одежда для травмированных потребителей / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025622397, 03.06.2025. Заявка № 2025622065 от 23.05.2025.
7. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Знамцева А.М., Бескостова П.Р. Ключевые особенности проектирования одежды для потребителей с осложненными травмами конечностей // В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы. Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции. Москва, 2025. С. 23-27.
8. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Клочкова О.В., Знамцева А.М., Бескостова П.Р. Плечевая одежда со вставкой / Патент на промышленный образец RU 145205, 12.12.2024. Заявка № 2024501702 от 29.03.2024.
9. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Клочкова О.В., Знамцева А.М., Бескостова П.Р. Брюки со вставкой / Патент на промышленный образец RU 144742, 21.11.2024. Заявка № 2024501703 от 29.03.2024.
10. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Арапко А.М., Бескостова П.Р. О применении искусственного интеллекта в разработке дизайна адапционной одежды // Костюмология. 2025. Т. 10. № 4.

### References

1. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Klochkova O.V., Znamtseva (Arapko) A.M., Beskostova P.R. *Osobennosti proektirovaniya odezhdyy dlja potrebitelej s oslozhnennymi travmami konechnostej* [Features of designing clothing for consumers with complicated limb injuries] // Dizajn. Materialy. Tehnologija. [Design. Materials. Technology] - 2025. - № 2. (in Rus.).
2. Guseva M.A., Getmanceva V.V., Zotov V.V., Klochkova O.V., Jojua A.V., Ivanova A.O. *Povyshenie jergonomicheskikh harakteristik odezhdyy dlja potrebitelej s boevymi travmami verhnih konechnostej* [Improving the ergonomic characteristics of clothing for consumers with combat injuries of the upper limbs] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. - 2024. - № 3 (411). - S. 160-169. (in Rus.).
3. Gusev I.D., Andreeva E.G., Guseva M.A. *Proektirovanie adaptivnoj shvejnoj produkcii s uchetom specificheskikh trebovanij malomobil'nyh potrebitelej* [Design of adaptive sewing products taking into account the specific requirements of consumers with limited mobility] // Dizajn. Materialy. Tehnologija. [Design. Materials. Technology] – 2024. – № 2 (74) – S. 149-157. (in Rus.).
4. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Znamtseva (arapko) A.M., Beskostova P.R. *Sovershenstvovanie jergonomicheskikh i jesteticheskikh harakteristik odezhdyy dlja potrebitelej s politravmami konechnostej*

[Improvement of ergonomic and aesthetic characteristics of clothing for consumers with multiple injuries to the limbs] // *Kostjumologija*. [Costume design]— 2025. — Т. 10. — № 1. (in Rus.).

5. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Klochkova O.V., Arapko A.M., Beskostova P.R. *Varianty fiksatorov travmirovannykh konechnostej kak iskhodnaya informacija dlya proektirovaniya odezhdny* [Variants of fixators for injured limbs as initial information for clothing design] / Certificate of database registration RU 2025622365, 05/30/2025. Application No. 2025622066 dated 05/23/2025. (in Rus.).

6. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Klochkova O.V., Arapko A.M., Beskostova P.R. *Odezhdna dlya travmirovannykh potrebitelej* [Clothing for injured consumers] / Certificate of registration of database RU 2025622397, 03.06.2025. Application No. 2025622065 dated 23.05.2025. (in Rus.).

7. Guseva M.A., Getmanceva V.V., Znamceva A.M., Beskostova P.R. *Klyuchevye osobennosti proektirovaniya odezhdny dlya potrebitelej s oslozhnennymi travmami konechnostej* [Key Design Considerations for Consumers with Complicated Limb Injuries] // V sbornike: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizajna i tekhnologij: opyt, praktika i perspektivy*. Sbornik nauchnyh trudov XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Moskva, 2025. S. 23-27. (in Rus.).

8. Guseva M.A., Getmanceva V.V., Klochkova O.V., Znamceva A.M., Beskostova P.R. *Plechevaja odezhdna so vstavkoj* [Shoulder clothing with an insert] / Patent na Promyshlennyj obrazec RU 145205 МКРО 02-02, opubl. 12.12.2024 bjul. № 12. (in Rus.).

9. Guseva M.A., Getmanceva V.V., Klochkova O.V., Znamceva A.M., Beskostova P.R., *Brjuki so vstavkoj* [Trousers with an insert] / Patent na promyshlennyj obrazec RU 144742 МКРО 02-02, opubl. 21.11.2024 bjul. № 12. (in Rus.).

10. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Arapko A.M., Beskostova P.R. *O primenenii iskusstvennogo intellekta v razrabotke dizajna adaptacionnoj odezhdny* [On the use of artificial intelligence in the development of adaptive clothing design] // *Kostyumologija* [Costumeology]. 2025. Vol. 10. No. 4. (in Rus.).

УДК 687.021

**Бескостова П.Р., Лиджеева Ц. А.-С.**

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)  
119071, Москва, ул. Малая Калужская, д.1

### **ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ АСИММЕТРИЧНЫХ АВАТАРОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ОДЕЖДЫ**

© П.Р. Бескостова, Ц. А.-С. Лиджеева, 2026

*Аннотация. В статье представлен эксперимент по генерированию аватаров детских фигур, имитирующих патологичное телосложение, сформированное под влиянием мускульной спастичности.*

**Ключевые слова** – адаптивная одежда, трехмерное проектирование, аватары, асимметрия, патология осанки.

**Beskostova P.R., Lidzheeva Ts. A.-S.**

The Kosygin State University of Russia  
1, Malaya Kalugskaya Street, Moscow, 119071

### **FEATURES OF GENERATION OF ASYMMETRICAL AVATARS FOR 3D DESIGN OF ADAPTIVE CLOTHING**

*Summary (Abstract): The article presents an experiment on generating avatars of children's figures that imitate pathological body types formed under the influence of muscular spasticity.*

**Keywords** – adaptive clothing, 3D design, avatars, asymmetry, postural pathology.

Интерес к адаптивной одежде обусловлен сформированной в обществе толерантностью к людям с нетипичным телосложением. С 1950-х годов активно развивается научное направление, где объектами проектирования являются швейные изделия, адаптируемые конструктивно и технологически под особенности морфологии и функционирования организма людей с физическими недостатками [1]. Поскольку существует разнообразие физических отклонений от нормального, то в процессе создания адаптивной одежды учитываются как общие факторы влияния на ее конструкцию (функциональность, эргономичность и т.д.), технологические особенности и конфекционирование, так и учитывающие последствия конкретного заболевания человека [2].

Одной из причин формирования патологического состояния организма при детских церебральных параличах (ДЦП) является асимметричная мышечная спастичность (АМС). В России частота встречаемости этого заболевания составляет 2,4–2,7 случаев на 1000 новорожденных ежегодно. Повышенный мышечный тонус в ногах и/или руках затрудняет сгибание/разгибание конечностей, ограничивает амплитуду движений в крупных суставах (тазобедренные, коленные, плечевые), что затрудняет переодевание ребенка и смену положения тела [3]. Спастичность мышц изменяет морфологию детей, выраженные сгибательные контрактуры в коленных и тазобедренных суставах формируют патологические формы [3]:

- для нижних конечностей при ходьбе или стоянии – это приведение бёдер и отклонение от нормального положения голеней (позы «ножницы», «лягушка»), эквинус стоп;

- в конфигурации плечевого пояса и таза – это различные деформации позвоночника и грудной клетки, разнонаправленные асимметрии, вызывающие перекос туловища.

Особо тяжелые патологии приводят к выраженной зависимости потребителей от ортезов и вспомогательных средств передвижения (трости, костыля, инвалидные кресла).

Цель представляемого исследования – систематизация знаний о патологичной морфологии детей с мышечной спастичностью для целей проектирования одежды, конструктивно и технологически адаптированной под телосложение потребителей целевой группы, подготовка исходной информации для процесса трехмерной симуляции посадки одежды, как промежуточного этапа оценки качества проектных работ.

Применительно к детям с АСМ, процесс надевания/снятия одежды очень трудоемкий, приносящий страдание как ребенку, так и матери, его одевающей [4]. Требования к адаптивной одежде для детей с ДЦП формируют на основе анализа морфологических особенностей и условий эксплуатации [5].

Анализ рынка адаптивной одежды, предназначенной для потребителей с патологичной осанкой и мускульной спастичностью показывает распространенность объемных моделей с множественной разъемностью (рис. 1). Подобные конструктивно-технологические обеспечивают легкость надевания/снятия изделий, включая доступ к ортезам, и профилактику раздражений кожи.



Рис.1 – Особенности моделей разъемной адаптивной одежды для потребителей с мускульной спастичностью: а) Адаптивный комбинезон для ребенка с ОВЗ [6]; б) Ортопедические брюки GT DRESS [7]

Зарубежные поставщики адаптивной одежды насыщают рынок изделиями с терапевтической компрессией, встроенными ортопедическими конструкциями и моделями повседневной одежды с утяжелителями, сенсорными приспособлениями и другими полезными функциями. Технологичная одежда (табл. 1) «с памятью формы» обеспечивает глубокое давление на мышечный каркас, что способствует улучшению координации движений и стабильности положения тела ребенка с АМС [8], однако, высокая стоимость изделий (от 240 долларов США) ограничивает распространенность данной продукции среди российских потребителей [9]. Таким образом, недостаток на отечественном рынке адаптивной одежды эргономичных функциональных изделий для детей с мышечной спастичностью указывает на перспективность исследования.

Таблица 1 – Брендная зарубежная адаптивная швейная продукция

Наименование бренда	Тип поставщика	Фокус на продукте	Целевые условия	Средняя стоимость единицы продукции
1	2	3	4	5
SPIO	Специализированный поставщик медицинских изделий	Медицинские компрессионные ортезы, одежда с компрессией (жилеты, брюки)	ДЦП, гипертония, гипотония, расстройства аутистического спектра (РАС)	Жилет - 249,99 долларов США. Брюки - 139,99 долларов США
TheraTogs	Специализированный поставщик медицинских изделий	Терапевтические компрессионные изделия и системы фиксации для выравнивания позвоночника	Нарушения равновесия/походки и, постуральные проблемы, ДЦП	От 247 долларов США.
SpecialKids Company	Специализированный розничный продавец адаптивной продукции	Повседневная адаптивная одежда, боди с застежками-кнопками, одежда для людей с недержанием мочи.	Особые потребности.	Жилет на кнопках от 24,00 долларов США.
Kozie Clothes	Адаптивный бренд для массового рынка	Модная повседневная одежда с магнитными застежками	Общие физические недостатки	В соответствии с ценовой политикой бренда
Target (Cat & Jack)	Адаптивный бренд для массового рынка	Доступная по цене повседневная одежда без этикеток, с плоскими швами, с доступом к	Повышенная чувствительность к внешним раздражителям, физические	В соответствии с ценовой политикой бренда

		гастростоме	ограничения	
Продолжение таблицы 1				
1	2	3	4	5
Zappos Adaptive	Интернет-магазин	Платформа с множеством брендов; ортопедическая обувь, двусторонняя одежда	Широкий спектр инвалидности, включая потребности в ортопедических изделиях	Зависит от бренда
Patti and Ricky	Интернет-магазин	Торговая площадка для адаптивной моды, включая компрессионную одежду	Широкий спектр физических и сенсорных потребностей	Зависит от бренда
Pleasure and functionality	Специализированный розничный продавец адаптивных изделий	Одежда с утяжелителями и компрессионная одежда (жилеты, рубашки), сенсорные приспособления	Нарушения обработки сенсорной информации, синдром гиперактивности	Нет информации

Результаты исследования российских специалистов проблемы проектирования функциональной и эргономичной одежды для детей с АМС способствовали развитию базы знаний о проектировании изделий асимметричной конфигурации, антропометрически соответствующей морфологии человека с патологией осанки. Предложены различные варианты моделирования с учетом характерных поз и движений, при этом определено, что одежда для целевой аудитории должна быть конструктивно персонализированной, максимально учитывающей особенности телосложения. Тем самым, швейная продукция становится не только защитным барьером, но и реабилитационным средством, улучшающим моторные функции и психологическую адаптацию.

Персонализация формы требует множественных уточнений посадки одежды на фигуре ребенка. Сложность конфигурации тела ребенка с АМС, а также наличие постоянной неустойчивости позы, затрудняют процесс примерки макетов и проектируемых изделий. Поэтому замена некоторого количества натуральных примерок виртуальными позволит не только физически разгрузить потенциальных клиентов, но улучшить психологическое восприятие процесса проектирования и изготовления адаптивной швейной продукции.

С целью подготовки базы исходной антропометрической информации о детских фигурах с патологией осанки и телосложения, сформированных под влиянием АМС, выполнен анализ публикаций, освещающих результаты медицинских исследований детей целевой группы (фотограмметрические, рентгенологические, контактный скрининг и т.п.). Определено, что у подавляющего большинства детей с ЦП в возрасте 5-14 лет сформированы кривошея и боковое искривление позвоночника. По данным Н.А. Гросс и соавторов, положения основных антропометрических уровней (положение головы, уровня плеч, положение таза, коленных точек) характеризуются патологией смещения от нормальных параметров на 20-70%, причем с дополнительной ротацией на 1,3-13,4 градусов [10]. А по информации К.Ф. Венегас и соавторов, асимметричная мускульная спастичность формирует патологичные позы нижних конечностей [3], что усиливает искривление верхней части тела. Таким образом, антропоморфная характеристика детей с АМС указывает на несимметричность и значительные отклонения параметров от типовых значений.

Систематизация полученных сведений и проведенные авторами статьи антропометрические исследования [11] структурированы и аккумулированы в базу данных «Исходная информация для цифрового проектирования адаптивной одежды для потребителей с асимметричной мускульной спастичностью» [12].

Использование в процессе проектирования одежды для детей с АМС инструментов трехмерного моделирования позволяет визуализировать на аватарах патологию телосложения. В качестве программной среды в эксперименте выбрана программа-симулятор CLO3D. Алгоритм работы с виртуальными фигурами CLO3D позволяет преобразовать типовую конфигурацию аватаров с учетом фиксированных антропометрических измерений индивидуальной фигуры.

Генерирование аватара асимметричной фигуры выполнено в несколько этапов.

На первом этапе для верификации параметров выполнен по фотографии абрис фигуры ребенка со спастикой мышц для сопоставления цифрового аватара с реальным контуром. На «скелетной модели» (рисунок 2) выполнены корректировки линейных и угловых параметров в соответствии с измерениями натурной фигуры (использованы как контактные обмеры, так и бесконтактные – по фотоизображениям).

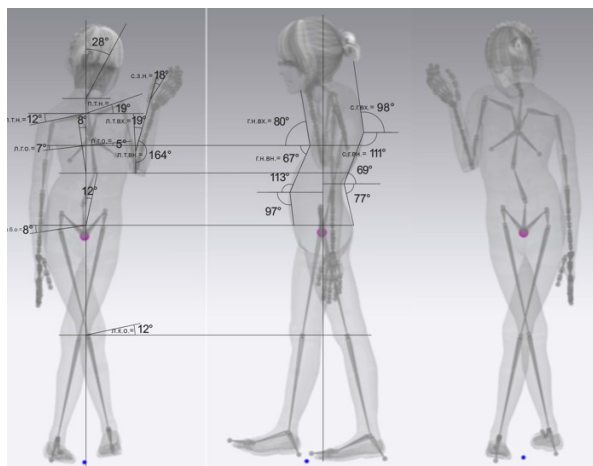


Рис. 2 – Пример этапа корректировки угловых и линейных параметров аватара девочки среднего школьного возраста

На следующем этапе выполнено моделирование реальной статичной позы ребёнка в 3D-среде. Выполнена формализация положения плечевого пояса и таза, формы грудной клетки, позвоночника, нижних и верхних конечностей. Эксперимент проведен в разных половозрастных группах. Преобразования проведены как по морфо-антропометрическим характеристикам, так и с учетом характерных поз детей с мускульной спастичностью (таблица 2).

Таблица 2 – Примеры подготовленных аватаров детей с АМС (из базы данных)

Описание позы	Визуализация
ноги согнуты в коленных суставах, бедра плотно приведены, отклонение голени вперед, колени ротированы внутрь, стопы в эквинусе, разведены, одна рука согнута в локте, вторая рука выпрямлена и напряжена, голова отклонена вперед и слегка в сторону, таз отклонен вперед, сколиоз, гиперлордоз поясничного отдела позвоночника	
ноги согнуты в коленных суставах, отклонение голени вперед, колени ротированы внутрь или наружу («поза лягушки»), стопы в эквинусе, возможно тыльное сгибание стопы до 35 градусов, плечи разного наклона с ротацией, спина округлая, сколиоз позвоночника, гиперлордоз поясничного отдела, голова отклонена вперед и в сторону, таз наклонен вперед, руки согнуты в локтях, одна приведена к туловищу, не разгибается.	
ноги прямые, не сгибающиеся, перекрещены, бедра ротированы внутрь, до 45-50 градусов, эквиноварусная стопа, плечи разного наклона с ротацией вперед, спина округлая, гиперлордоз поясничного отдела позвоночника, сколиоз. одна рука разогнута в локте и отведена вперед и в сторону, вторая рука согнута в локте с расположением ладони вверх, голова с наклоном в сторону и вперед	

По результатам генерирования сформирована цифровая библиотека фигур «Аватары детей с асимметричной мускульной спастичностью» [13].

Подготовленные аватары планируется использовать в разработке персонализированной одежды для целевой потребительской группы. Эксперимент будет проведен при поддержке генеративных алгоритмов [14]. Для успешного результата необходимы лингвистически грамотно составленные промты и верифицированные базы данных, к которым обращается искусственный интеллект.

**Заключение.** Современный этап развития процесса проектирования адаптивной одежды основан на углубленном исследовании пространственной конфигурации фигур потребителей с различными морфологическими патологиями. Применительно к целевой аудитории (с мускульной спастичностью) важными характеристиками отличающегося от типового телосложения являются количественные параметры (линейные, обхватные, угловые, проекционные) и описание деформации позы.

Цифровое моделирование позволяет проектировщику получить исходные симулятивные модели тела человека с патологией осанки, и использовать подготовленных аватаров для проектирования адаптивной одежды и проверки качества посадки.

Исследование выполнено в рамках Федерального проекта «Обучение служением».

*Научные руководители: доцент, кандидат технических наук, доцент Гусева М.А., профессор, доктор технических наук, профессор Гетманцева В.В.*

*Scientific supervisors: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Guseva M.A., Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Getmantseva V.V.*

### Список литературы

1. Lamb J.M., Kallal M.J. A conceptual framework for apparel design // Clothing and Textiles Research Journal. – 1992. – Vol.10. – No.2. – P.42-47. DOI: 10.1177/0887302x9201000207
2. Гусев И.Д., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Проектирование адаптивной швейной продукции с учетом специфических требований маломобильных потребителей // Дизайн. Материалы. Технология. - 2024. - № 2 (74). - С. 149-157. DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_2(74)\_149\_157. – EDN XTSMOG.
3. Венегас К.Ф., Збанок И.Ю., Заброец Г.В., Соловьева А.Ю., Талабаев М.В. Спастический синдром при ДЦП. Обзор литературы // Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа. - 2022. - Т. 12. - № 4. - С. 438-443. doi.org/10.34883/PI.2022.12.4.037
4. Béghin L., Mohammad Y., Fritot S., Letellier G. Safety and adherence of pressure garment therapy in children with upper limb unilateral cerebral palsy. Results from a randomized clinical trial ancillary analysis // TYPE Original Research PUBLISHED -2023. – № 21. DOI 10.3389/fped.2023.1043350
5. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Знаменцева А.М., Бескостова П.П. Анализ визуальной и описательной информации о представленной на рынке адаптивной одежде // Церевитиновские чтения - 2025 : Материалы XI Международной научно-практической конференции, Москва, 28 марта 2025 года. – Москва: Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 2025. – С. 60-63. – EDN ОРАКТU.
6. Адаптивный комбинезон для ребенка с ОВЗ [Интернет- источник] URL: <https://medtehnika-1.ru/adaptivniy-kombinezon-dlya-detey/> (дата обращения 10.11.2025)
7. Ортопедические брюки GT DRESS [Интернет- источник] URL: <https://gtdress.ru/ortopedicheskie-bruki/tproduct/567979493-285621015721-ortopedicheskie-bryuki-demisezonnie-sin>(дата обращения 10.11.2025)
8. Gerard A., Toussaint-Thorin M., Mohammad Y., Letellier G. et al PROPENSIX: pressure garment therapy using compressive dynamic Lycra® sleeve to improve bi-manual performance in unilateral cerebral palsy: a multicenter randomized controlled trial protocol // PubMed Disciamer. – 2022. - № 23 (1). – P. 117. doi: 10.1186/s13063-022-06041-1
9. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Бескостова П.П., Арапко А.М. Адаптивная одежда: эргономичность, дизайн, терапевтический потенциал // Костюмология. - 2026. - Т.11. - №1.
10. Гросс Н.А., Шарова Т.Л., Молоканов А.В., Хрекин Д.О. Статолокомоторная устойчивость детей с ДЦП // Адаптивная физическая культура и спорт. – 2022. - № 10. – С. 62-64.
11. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Бескостова П.П., Арапко А.М., Клочкова О.В. Информационное обеспечение цифрового проектирования функциональной одежды, адаптированной под телосложение потребителей с асимметричной мускульной спастичностью // Дизайн. Материалы. Технология. - 2026. - № 1.
12. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Бескостова П.П., Арапко А.М., Клочкова О.В. Исходная информация для цифрового проектирования адаптивной одежды для потребителей с асимметричной мускульной спастичностью / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2026620761, 19.02.2026. Заявка № 2026620437 от 11.02.2026. – EDN PROSBN.

13. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Бескостова П.Р., Арапко А.М., Клочкова О.В., Лиджеева Ц. А.-С. Аватары детей с асимметричной мускульной спастичностью / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2026
14. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Арапко А.М., Бескостова П.Р. О применении искусственного интеллекта в разработке дизайна адапционной одежды // Костюмология. - 2025. - Т. 10. - № 4. – EDN SOUSXP.

## References

1. Lamb J.M., Kallal M.J. A conceptual framework for apparel design // Clothing and Textiles Research Journal. – 1992. – Vol.10. – No.2. - P.42-47. DOI: 10.1177/0887302x9201000207
2. Gusev I.D., Andreeva E.G., Guseva M.A. *Proektirovanie adaptivnoj shvejnoj produkcii s uchetom specificheskikh trebovanij malomobil'nyh potrebitelej* [Design of adaptive sewing products taking into account the specific requirements of consumers with limited mobility] // Dizajn. Materialy. Tehnologija. [Design. Materials. Technology] – 2024. – № 2 (74) – S. 149-157. DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_2(74)\_149\_157. – EDN XTSMOG. (in Rus.).
3. Venegas K.F., Zbanok I.Yu., Zabrodets G.V., Solovieva A.Yu., Talabaev M.V. *Spasticheskiy sindrom pri DCP. Obzor literatury* [Spastic syndrome in cerebral palsy. Literature review] // Nevrologiya i neirohirurgiya. Vostochnaya Evropa. [Neurology and neurosurgery. Eastern Europe]. - 2022. - Vol. 12. - No. 4. - P. 438-443. doi.org/10.34883/PI.2022.12.4.037 (in Rus.).
4. Béghin L., Mohammad Y., Fritot S., Letellier G. Safety and adherence of pressure garment therapy in children with upper limb unilateral cerebral palsy. Results from a randomized clinical trial ancillary analysis // TYPE Original Research PUBLISHED -2023. – № 21. DOI 10.3389/fped.2023.1043350
5. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Znamtseva A.M., Beskostova P.R. *Analiz vizual'noj i opisatel'noj informacii o predstavlennoj na rynke adaptivnoj odezhdze* [Analysis of visual and descriptive information about adaptive clothing presented on the market] // Cerevitinovskie chteniya - 2025 : Materialy HI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 28 marta 2025 goda. – Moskva: Rossijskij ekonomicheskij universitet im. G.V. Plekhanova, 2025. [Tserevitinovskie Readings - 2025: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 28, 2025]. - Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2025. - P. 60-63. - EDN OPAKTU. (in Rus.).
6. *Adaptivnyj kombinezon dlya rebenka s OVZ* [Adaptive jumpsuit for children with disabilities] / [Internet source] URL: <https://medtehnika-1.ru/adaptivnyy-kombinezon-dlya-detey/> (date of access 11/10/2025)
7. *Ortopedicheskie bryuki GT DRESS* [GT DRESS orthopedic trousers] / [Internet source] URL: <https://gtdress.ru/ortopedicheskie-bruki/tproduct/567979493-285621015721-ortopedicheskie-bryuki-demisezonnie-sini> (date of access 11/10/2025)
8. Gerard A., Toussaint-Thorin M., Mohammad Y., Letellier G. et al PROPENSIX: pressure garment therapy using compressive dynamic Lycra® sleeve to improve bi-manual performance in unilateral cerebral palsy: a multicenter randomized controlled trial protocol // PubMed Disciamer. – 2022. - № 23 (1). – P. 117. doi: 10.1186/s13063-022-06041-1
9. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Beskostova P.R., Arapko A.M. *Adaptivnaya odezhda: ergonomichnost', dizajn, terapevticheskij potencial* [Adaptive clothing: ergonomics, design, therapeutic potential] // Kostyumologiya [Costumeology]. - 2026. - V.11. - No. 1. (in Rus.).
10. Gross N.A., Sharova T.L., Molokanov A.V., Khrekin D.O. *Statolokomotornaya ustojchivost' detej s DCP* [Statolocomotor stability of children with cerebral palsy] // Adaptivnaya fizicheskaya kul'tura i sport. [Adaptive physical education and sport]. - 2022. - No. 10. - P. 62-64. (in Rus.).
11. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Beskostova P.R., Arapko A.M., Klochkova O.V. *Informacionnoe obespechenie cifrovogo proektirovaniya funkcional'noj odezhdzy, adaptirovannoj pod teloslozhenie potrebitelej s asimetrichnoj muskul'noj spastichnost'yu* [Information support for digital design of functional clothing adapted to the body type of consumers with asymmetric muscular spasticity] // Dizajn. Materialy. Tekhnologiya [Design. Materials. Technology]. - 2026. - No. 1. (in Rus.).
12. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Beskostova P.R., Arapko A.M., Klochkova O.V. *Iskhodnaya informaciya dlya cifrovogo proektirovaniya adaptivnoj odezhdzy dlya potrebitelej s asimetrichnoj muskul'noj spastichnost'yu* [Initial information for the digital design of adaptive clothing for consumers with asymmetrical muscular spasticity] / Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh [Certificate of database registration] RU 2026620761, 19.02.2026. Application No. 2026620437 dated 11.02.2026. – EDN PROSBN. (in Rus.).
13. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Beskostova P.R., Arapko A.M., Klochkova O.V., Lidzheeva Ts. A.-S. *Avatary detej s asimetrichnoj muskul'noj spastichnost'yu* [Avatars of children with asymmetrical muscular spasticity] / Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh [Certificate of database registration] RU 2026 (in Rus.).
14. Guseva M.A., Getmantseva V.V., Arapko A.M., Beskostova P.R. *O primenenii iskusstvennogo intellekta v razrabotke dizajna adaptacionnoj odezhdzy* [On the use of artificial intelligence in the development of adaptive clothing design] // Kostyumologiya [Costumeology]. - 2025. - Vol. 10. - No. 4. – EDN SOUSXP. (in Rus.).

УДК 687.021

**Егупова Е.В.**

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)  
119071, Москва, ул. Малая Калужская, д.1

### КОНФЕКЦИОНИРОВАНИЕ КАК БАЗОВАЯ ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ БЮСТГАЛЬТЕРОВ

© Е.В. Егупова, 2026

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследования свойств материалов конфекцион-пакета ортопедических бюстгалтеров, изготавливаемых по заказам и мелкими сериями на специализированном предприятии.

**Ключевые слова** – ортопедические бюстгалтеры, гигиеничность, воздухопроницаемость, эстетика.

**E.V. Egupova**

The Kosygin State University of Russia  
1, Malaya Kalugskaya Street, Moscow, 119071

### CONFECTIONING AS A BASIC BASIS FOR DESIGNING ORTHOPEDIC BRAS

*Summary (Abstract):* The article presents the results of a study of the properties of materials used in the confectionery package of orthopedic bras manufactured to order and in small series at a specialized enterprise.

**Keywords** – orthopedic bras, hygiene, breathability, aesthetics

В ассортименте швейных изделий реабилитационного назначения ортопедическая продукция для женщин после операций мастэктомии занимает одно из значимых мест. Сложные хирургические вмешательства по излечению онкологических заболеваний груди часто заканчиваются удалением молочной железы (или ее части). Потеря груди вызывает серьезные нарушения равновесия в организме женщин – несимметричность провоцирует искривление формы спины, развитие отеков, биомеханический дисбаланс и др. Физическая деформация сопровождается психоэмоциональным стрессом [1]. Учитывая высокую социальную активность современных женщин в постоперационный период, производители расширяют ассортимент специализированной одежды (бюстгалтеры, топы, корсетные изделия), адаптируя их под задачи надежной фиксации экзопротезов и поддержки мягких тканей. Распространение ортопедической продукции осуществляется через профессиональные сети и специализированные цифровые платформы на основании медицинских рекомендаций.

Для коррекции недостатков новой морфологии успешно применяют имитаторы грудных желёз – экзопротезы разной формы и размеров, для размещения которых в специальных бюстгалтерах предусмотрены карманы по внутренней стороне изделий (рис. 1).

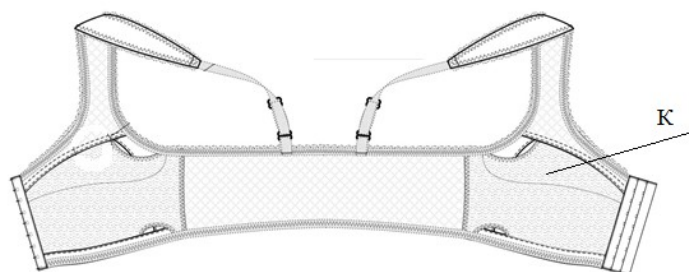


Рис.1 – Вид внутренней стороны ортопедического бюстгалтера с карманом (К) для размещения экзопротеза [2]

Конструктивное решение реабилитационных швейных изделий характеризуется специфической архитектурой, обусловленной их функциональным назначением [3]. Анализ композиционного и

конструктивно-технологического решений моделей ортопедических бюстгалтеров, представленных на отечественном рынке, показал наличие базовых отличительных черт:

- 1) линия декольте среднего размера или завышена по сравнению с моделями общебытовых бюстгалтеров, что позволяет скрыть перепады в рельефе тела на участках с утраченной грудью [4];
- 2) детали чашек выполнены, как правило, из эластичного трикотажного полотна и усилены армирующими ламинированными прокладками, что позволяет изделиям длительно сохранять желаемую форму [5];
- 3) по внутренней стороне чашек интегрированы трикотажные хлопчатобумажные карманы для экзопротезов, при этом сами экзопротезы (особенно больших размеров) предварительно размещают в чехлах из х/б трикотажного полотна [6], что гарантирует стабильную фиксацию положения внутри карманов [7];
- 4) передние и боковые детали выполнены из эластичных материалов, что обеспечивает необходимый градиент давления [5],
- 5) эластичные бретели из материала верха, с фронтальной регулировкой, комбинированы с эластичной лентой или полотном с ламинированным уплотнителем, что способствует рациональному распределению нагрузки на плечевой пояс [8];
- 6) застежка фронтальная или сзади на многорядные крючки и петли;
- 7) модельный ряд представлен в базовой цветовой гамме (белый, черный, бежевый) и других цветовых решениях, модных в конкретном сезоне.

Ортопедический бюстгалтер квалифицируется как изделие специального назначения, что обуславливает повышенные требования к свойствам пакета его материалов. Эксперимент по исследованию свойств конфекцион-пакетов ортопедических бюстгалтеров проведен на базе модельного ряда специализированного предприятия МПРЦ «Здоровье» (г. Москва) [9], выпускающего швейную ортопедическую продукцию по заказам и мелкими сериями (рис. 2).

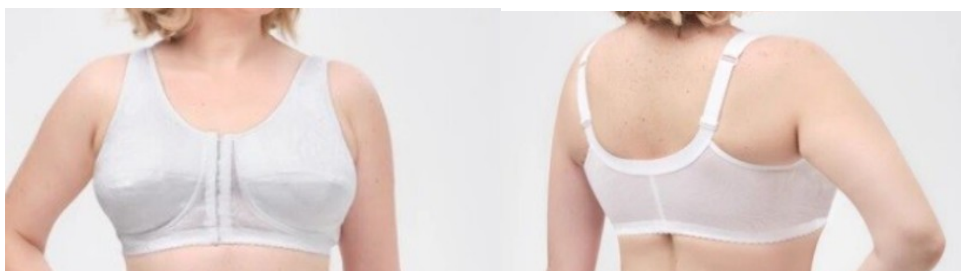


Рис.2 – Базовая модель ортопедического бюстгалтера МПРЦ «Здоровье», с застежкой спереди [9]

В отличие от изделий общебытового ассортимента, текстильные материалы для ортопедических конструкций призваны реализовать комплекс терапевтических задач [10]:

- биомеханическая поддержка, рациональное перераспределение весовой нагрузки с плечевого пояса на паравертебральные зоны и грудную клетку;
- компрессионно-стабилизирующая функция, создание дозированного давления для профилактики лимфостаза и надежной иммобилизации экзопротеза;
- протекторная функция, исключение механического раздражения и травмирования постоперационных рубцовых тканей.

Конструктивный каркас ортопедических изделий формируется на основе высокотехнологичных основовязанных и поперечновязанных трикотажных полотен из эластомерных модифицированных нитей, а также многослойных дублированных систем, предназначенных для формообразующих узлов. Применение эластомерных полотен гарантирует требуемый градиент давления при сохранении высоких показателей воздухопроницаемости [11]. В качестве объектов исследования выбраны два вида материалов, входящих в конфекцион-пакет базовых моделей ортопедических бюстгалтеров производства МПРЦ «Здоровье»:

- 1) трикотажное хлопчатобумажное полотно, производства СТАРТЕКС, характеристики: переплетение гладь, поверхностная плотность 160 г/м<sup>2</sup>, цвет бежевый;
- 2) эластичное полотно (100% эластан), производства СТАРТЕКС, характеристики: переплетение гладь, поверхностная плотность 235 г/м<sup>2</sup>, цвет бежевый.

Эксперимент по определению показателей воздухопроницаемости выполнен с использованием специального оборудования в соответствии с методикой ГОСТ 12088-77 «Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости». Определение воздухопроницаемости текстильных материалов основано на измерении расхода (объема) воздуха, прошедшего через образец в единицу времени (V), при фиксированном разрежении (h) под испытываемым образцом (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний исследуемых образцов на воздухопроницаемость

№ п/п	Хлопок (трикотаж)		Эластичное полотно		
	h, мм вод.ст	B, см <sup>3</sup> /с	h, мм вод.ст	B, см <sup>3</sup> /с	
1	55	338	140	1385	
2	52	328	135	1360	
3	51	326	140	1385	
4	57	344	130	1335	
5	46	310	132	1345	
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> с)					
		329,5			1362

Экспериментально установлено, что воздухопроницаемость исследуемых образцов материалов соответствует нормативам (согласно ГОСТ 4.26-80 «Система показателей качества продукции. Изделия трикотажные. Номенклатура показателей» величина параметра должна быть не менее 135 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с).

Важным требованием к материалам ортопедических бюстгалтеров является обеспечение необходимого уровня гигроскопичности. Физико-химическая природа гигроскопичности заключается в способности текстильных волокон абсорбировать влагу из окружающей среды или непосредственно с поверхности эпидермиса. Данное свойство обусловлено спецификой химического строения волокон и наличием развитой системы микропор. Определено, что гигроскопичность внутренних слоев пакета ортопедических бюстгалтеров обеспечивается, как правило, использованием полотен на основе целлюлозных волокон или специализированных гидрофильных полимеров, способствующих эффективному отводу экссудата и пота. Исследование гигроскопичности объектов выполнено в соответствии с методикой ГОСТ 3816 (ISO 811) «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств», при этом образцы погружались на заданное время в специальные стеклянные колбы, с последующим перемещением в сушильный шкаф (таблица 2).

Таблица 2 – Определение гигроскопичности материалов

Время	Масса образцов, г			
	Хлопок (трикотаж)		Эластичное полотно	
	№1	№2	№3	№4
4 часа во влажной среде (M <sub>влаж</sub> )				
1 сек.	23,38	21,49	24,97	24,88
2 сек.	23,38	21,48	24,97	24,87
3 сек.	23,38	21,48	24,97	24,87
Ср. значение	22,48		24,92	
1 час в сушильном шкафу (M <sub>сух</sub> )				
1 сек.	23,22	21,33	24,83	24,73
2 сек.	23,22	21,33	24,83	24,73
3 сек.	23,22	21,33	24,83	24,73
Ср. значение	22,28		24,78	

Гигроскопичность является детерминирующим параметром, определяющим уровень физиологического комфорта, гигиеническую безопасность и функциональную надежность текстильных систем. Рациональный выбор материалов на основе их сорбционных характеристик позволяет проектировать изделия, свойства которых способны адаптироваться к динамическим изменениям микроклимата пододежного пространства.

Расчет гигроскопичности выполнен по формуле:

$$(M_{\text{влаж}} - M_{\text{сух}}) / M_{\text{сух}} * 100\% \quad (1)$$

где M<sub>влаж</sub> – масса (в граммах) образца во влажном состоянии,

M<sub>сух</sub> – масса (в граммах) образца в сухом состоянии.

Получены средние величины гигроскопичности:

1) хлопчатобумажного трикотажа - 0,98 %,

2) эластичного полотна - 0,56 %.

Таким образом, экспериментально подтверждена выраженная зависимость степени влагопоглощения от природы сырья выбранных для исследования образцов материала: натуральные волокна (хлопок) обладают высокой гидрофильностью, в то время как синтетические полимеры характеризуются низким сорбционным потенциалом.

Фундаментальным критерием эксплуатационной эффективности ортопедического изделия является стабильность конструкции. Исследованием определено, что для деталей пояса и спинки приоритетным признано использование высокоэластичных полотен с содержанием эластана до 40%, что гарантирует устойчивую фиксацию изделия на туловище без ограничения дыхательных экскурсий [12]. Анализ деформационной способности образцов эластана выполнен согласно методике ГОСТ 3816 (ISO 811) «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств». Для эксперимента подготовлены 4 пробы, действие нагрузки на подвешенные на стойке релаксометра образцы фиксировалось с интервалом 5 секунд, 5 минут, 15 минут, 30 минут (таблица 3).

Таблица 3 – Определение полной деформации растяжения эластана

Вид пробы	№ пробы	Длина пробы L, мм, после времени							
		Действие нагрузки				Отдыха			
		5 с	5 мин	15 мин	30 мин/ L1	5 с/ L2	5 мин	15 мин	30 мин/ L3
Вдоль	1	21,5	23	23,4	23,5	11	10,7	10,3	10,3
	2	24,5	26,2	26,4	28,3	10,9	10,7	10,4	10,3
	среднее	23	24,6	24,9	25,9	10,95	10,7	10,35	10,3
Поперек	1	13	13,2	13,3	13,2	11	10,5	10,2	10,2
	2	12,5	13	13,2	13,2	11	10,6	10,4	10,3
	среднее	12,75	13,1	13,25	13,2	11	10,55	10,3	10,25

Результаты расчетов величин полной деформации проб эластана и ее компонентов при одноосном растяжении образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Экспериментальные величины полной деформации проб эластана и ее компоненты при одноосном растяжении образцов

Характеристики, единицы измерения	Расчеты	
	В продольном направлении	В поперечном направлении
Полная деформация, %	$100 \cdot (25,9 - 10) / 10 = 159$	$100 \cdot (13,2 - 10) / 10 = 32$
Упругая компонента, %	$100 \cdot (25,9 - 10,95) / 10 = 149,5$	$100 \cdot (13,2 - 11) / 10 = 22$
Эластичная компонента, %	$100 \cdot (10,95 - 10,3) / 10 = 6,5$	$100 \cdot (11 - 10,25) / 10 = 7,5$
Пластическая компонента, %	$100 \cdot (10,3 - 10) / 10 = 3$	$100 \cdot (10,25 - 10) / 10 = 2,5$
Доля упругой компоненты	$149,5 / 159 = 0,94$	$22 / 32 = 0,7$
Доля эластичной компоненты	$6,5 / 159 = 0,04$	$7,5 / 32 = 0,23$
Доля пластической компоненты	$3 / 159 = 0,02$	$2,5 / 32 = 0,08$

По итогам эксперимента получены следующие выводы:

1) В продольном направлении эластан характеризуется высокой полной деформацией (159%), параметр указывает на исключительную способность ткани к растяжению, что является ключевым свойством эластана. Практически вся деформация обусловлена упругой составляющей, что подтверждается высокой долей упругой компоненты в полной деформации (0,94). Данный факт означает, что после снятия нагрузки образец материала практически полностью возвращается к своим первоначальным размерам. Небольшие значения эластичной и пластической деформации (6,5% и 3% соответственно) свидетельствуют о высокой устойчивости к остаточным деформациям и сохранении формы после многократных растяжений

2) В поперечном направлении выявлена значительно меньшая по величине (32%) полная деформация. Упругая деформация также является основной, но её доля в полной деформации (0,7) ниже, чем в продольном направлении. Доля же эластичной деформации значительно выше (0,23), что указывает на большую склонность к остаточной деформации после снятия нагрузки. Небольшая пластическая компонента - 2,5%: Пластическая деформация также незначительна, но её доля (0,08) выше.

3) Продольное расположение деталей при раскрое из эластана идеально для элементов, требующих максимальной растяжимости при сохранении формы, например, участков, обеспечивающих динамику. Раскрой в поперечном направлении, где выявлена меньшая эластичность, может быть использован в элементах, требующих стабильности формы и умеренной поддержки.

При проектировании чашек, воспринимающих основную нагрузку массы грудной железы или экзопротеза, на предприятии МПРЦ «Здоровье» применяют малорастяжимые полотна, что позволяет исключить нежелательную миграцию мягких тканей и обеспечить жесткую фиксацию системы.

Функциональный потенциал фурнитуры в ортопедических конструкциях рассматривается как интегральное продолжение свойств основного материала. Использование многослойных демпфирующих прокладок из вспененных полимеров в сочетании с расширенными бретелями позволяет нивелировать вдавливающее усилие на трапецевидную мышцу и предотвратить врезание элементов конструкции в мягкие ткани плеча.

Специфика медицинского назначения ортопедических бюстгалтеров диктует необходимость высокой цветостойкости и химической инертности волокон материалов изделий в условиях регулярной санитарно-гигиенической обработки в моющих растворах при повышенных температурах.

#### **Заключение.**

Постоперационная реабилитация женщин после мастэктомии должна носить комплексный характер, ориентированный не только на компенсацию физического отклонения, но на и психологическую адаптацию к измененной морфологии тела и восстановление самооценки. Специально спроектированные изделия, адаптированные по новую морфологию человека, призваны сделать реабилитацию успешной и вернуть целевым потребителям уверенность в собственной привлекательности, повысить качество жизни [13].

Проведенное исследование свойств материалов базовых моделей ортопедических бюстгалтеров показало, что обоснованное конфекционирование должно быть основано на ключевых требованиях, что в итоге влияет на функциональность, комфорт и долговечность изделий.

Исследование подчеркивает значимость дальнейшего совершенствования технологий проектирования ортопедических швейных изделий.

*Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук, доцент Гусева М.А.*

*Scientific supervisor: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Guseva M.A.*

#### **Список литературы**

1. Климova М.О., Гладков Ю.О. Психологические особенности женщин, перенесших секторальную резекцию либо мастэктомии при раке молочной железы // Общество: социология, психология, педагогика. – 2024. – № 1 (117). – С. 98-105.
2. Гусева М.А., Арсеньева Е.П., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Загурская Ю.А. Корректирующий бюстгалтер для фиксации экзопротеза молочной железы / Патент на полезную модель RU 215784 U1 опубл. 26.12.2022. Заявка № 2022118449 от 06.07.2022.
3. Гусев И.Д., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Проектирование адаптивной швейной продукции с учетом специфических требований маломобильных потребителей // Дизайн. Материалы. Технология. - 2024. - № 2 (74). - С. 149-157. DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_2(74)\_149\_157. – EDN XTSMOG.
4. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Арсеньева Е.П., Шаршова Е.Г. Применение зрительных иллюзий в проектировании одежды для женщин после мастэктомии // Дизайн и технологии. – 2021. – № 85-86 (127-128). – С. 76-88.
5. Арсеньева Е.П., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Конфекционирование лечебно-бандажного корректирующего изделия для экзопротезирования женщин после мастэктомии // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2021. Т. 53. № 3. С. 7-9.
6. Егупова Е.В., Гусева М.А. Конструкторско-технологические особенности чехлов для экзопротезов в ортопедическое белье // В сборнике: "Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления". "Современные задачи инженерных наук. Проблемы промышленного роста". Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и V Международного Косыгинского Форума. Москва, 2025. – С. 100-103.
7. Гусев И.Д., Андреева Е.Г., Арсеньева Е.П., Гусева М.А. О роли фактуры поверхности материалов в повышении функциональности реабилитационных швейных изделий // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). - 2022. - № 1. - С. 140-145.
8. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Арсеньева Е.П. Персонализация конструктивно-технологических решений ортопедических бюстгалтеров // Дизайн и технологии. – 2022. – № 90 (132). – С. 34-45.
9. МПРЦ «Здоровье» URL: <https://zdorovie-orto.ru/salon-magazin/byustgalter-dlya-fiksaczii/> (дата обращения 20.12.2024).

10. Гусева М.А., Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Арсеньева Е.П., Загурская Ю.А. Параметрическое проектирование ортопедического женского белья / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2021620328, 25.02.2021. Заявка № 2021620196 от 17.02.2021.
11. Рубцов В.И., Шустов Ю.С., Зиновьев В.П. Особенности метода определения воздухопроницаемости различных тканей // Дизайн и технологии. – 2020. – № 77 (119). – С. 78-88.
12. Gracies JM, Marosszeky JE, Renton R, Sandanam J, Gandevia SC, Burke D. Short-term effects of dynamic lycra splints on upper limb in hemiplegic patients. // Arch Phys Med Rehabil. – 2000. – № 81(12). – P.1547–55.
13. Lamb J.M, Kallal M.J. A conceptual framework for apparel design // Clothing and Textiles Research Journal. – 1992. – Vol.10. – No.2. - P.42-47. DOI: 10.1177/0887302x9201000207

## References

1. Klimova M.O., Gladkov Yu.O. *Psihologicheskie osobennosti zhenshchin, perenesshih sektoral'nyu rezekciyu libo mastektomiyu pri rake molochnoj zhelezy* [Psychological characteristics of women who underwent sectoral resection or mastectomy for breast cancer] // Obshchestvo: sociologiya, psihologiya, pedagogika. [Society: sociology, psychology, pedagogy]. - 2024. - No. 1 (117). - P. 98-105. (in Rus.).
2. Guseva M.A., Arsenyeva E.P., Andreeva E.G., Belgorodsky V.S., Zagurskaya Yu.A. *Korrektiruyushchij byustgal'ter dlya fiksacii ekzoproteza molochnoj zhelezy* [Corrective bra for fixing a breast exoprosthesis] / Patent na poleznuyu model' [Patent for utility model] RU 215784 U1 published. 12/26/2022. Application No. 2022118449 dated 07/06/2022 (in Rus.).
3. Gusev I.D., Andreeva E.G., Guseva M.A. *Proektirovanie adaptivnoj shvejnoj produkcii s uchetom specificheskikh trebovanij malomobil'nyh potrebitel'ej* [Design of adaptive sewing products taking into account the specific requirements of consumers with limited mobility] // Dizajn. Materialy. Tehnologija. [Design. Materials. Technology] – 2024. – № 2 (74) – S. 149-157. DOI 10.46418/1990-8997\_2024\_2(74)\_149\_157. – EDN XTSMOG. (in Rus.).
4. Guseva M.A., Andreeva E.G., Arsenyeva E.P., Sharshova E.G. *Primenenie zritel'nyh illyuzij v proektirovanii odezhdyy dlya zhenshchin posle mastektomii* [Application of visual illusions in designing clothing for women after mastectomy] // Dizajn i tekhnologii. [Design and Technology]. - 2021. - No. 85-86 (127-128). - P. 76-88. (in Rus.).
5. Arsenyeva E.P., Guseva M.A., Andreeva E.G. *Konfeksionirovanie lechebno-bandazhnogo korrekiruyushchego izdeliya dlya ekzoprotezirovaniya zhenshchin posle mastektomii* [Confection of a medical bandage corrective product for exoprosthetics of women after mastectomy] // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti [News of higher educational institutions. Technology of light industry]. 2021. Vol. 53. No. 3. P. 7-9. (in Rus.).
6. Egoupova E.V., Guseva M.A. *Konstruktorско-tekhnologicheskie osobennosti chekhlov dlya ekzoprotezov v ortopedicheskoe bel'e* [Design and technological features of covers for exoprostheses in orthopedic underwear] // V sbornike: "Sovremennyye inzhenernyye problemy v proizvodstve tovarov narodnogo potrebleniya". [In the collection: "Modern engineering problems in the production of consumer goods". "Modern tasks of engineering sciences. Problems of industrial growth". Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium and the V International Kosygin Forum. Moscow], 2025. - P. 100-103. (in Rus.).
7. Gusev I.D., Andreeva E.G., Arsenyeva E.P., Guseva M.A. *O roli faktury poverhnosti materialov v povyshenii funkcional'nosti reabilitacionnykh shvejnykh izdelij* [On the role of the surface texture of materials in improving the functionality of rehabilitation garments] // Fizika voloknistykh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX) [Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (SMARTEX)]. - 2022. - No. 1. - P. 140-145. (in Rus.).
8. Guseva M.A., Andreeva E.G., Arsenyeva E.P. *Personifikaciya konstruktivno-tekhnologicheskikh reshenij ortopedicheskikh byustgal'terov* [Personification of design and technological solutions for orthopedic bras] // Dizajn i tekhnologii. [Design and Technology]. - 2022. - No. 90 (132). - P. 34-45. (in Rus.).
9. MPRC "Health" URL: <https://zdorovie-orto.ru/salon-magazin/byustgalter-dlya-fiksaczi/> (date of access 20.12.2024). (in Rus.).
10. Guseva M.A., Belgorodsky V.S., Andreeva E.G., Arsenyeva E.P., Zagurskaya Yu.A. *Parametricheskoe proektirovanie ortopedicheskogo zhenskogo bel'ya* Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh [Parametric design of orthopedic underwear for women] / [Certificate of database registration] RU 2021620328, 25.02.2021. Application No. 2021620196 dated 17.02.2021. (in Rus.).
11. Rubtsov V.I., Shustov Yu.S., Zinoviev V.P. *Osobennosti metoda opredeleniya vozduhopronicaemosti razlichnykh tkanej* [Features of the method for determining the air permeability of various fabrics] // Dizajn i tekhnologii. [Design and Technology]. – 2020. – No. 77 (119). – P. 78-88. (in Rus.).

12. Gracies JM, Marosszeky JE, Renton R, Sandanam J, Gandevia SC, Burke D. *Short-term effects of dynamic lycra splints on upper limb in hemiplegic patients.* // Arch Phys Med Rehabil. – 2000. – № 81(12). – P.1547–55.
13. Lamb J.M, Kallal M.J. *A conceptual framework for apparel design* // Clothing and Textiles Research Journal. – 1992. – Vol.10. – No.2. - P.42-47. DOI: 10.1177/0887302x9201000207

УДК 687.

**А.В. Юр-Кириллук, М.А.Гусева**

ФГБОУ ВО Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)  
119071, Москва, ул. Малая Калужская, д.1

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭКИПИРОВКИ СПОРТСМЕНОВ ПАРАЛИМПИЙСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ВОЛЕЙБОЛ СИДЯ»**

© А.Ю. Юр-Кириллук, М.А. Гусева, 2026

*Аннотация:* Рассмотрены анатомо-биомеханические особенности спортсменов паралимпийской дисциплины «волейбол сидя», выявлены недостатки традиционной экипировки. Обосновано применение бесшовных технологий (3D-вязание, сварка) и технологичного текстиля. Предложены конструктивные решения для изделий с учётом дефицита конечности и характерных поз игроков. Результаты исследования положены в основу технического задания для разработки специализированной экипировки.  
**Ключевые слова:** волейбол сидя, бесшовные технологии, технический текстиль, паралимпийский спорт, адаптивная одежда, компрессионная экипировка, профилактика травматизма, умный текстиль.

**A.V. Yur-Kirilyuk, M.A. Guseva**

The Kosygin State University of Russia  
1, Malaya Kalugskaya Street, Moscow, 119071

### **INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN DESIGNING EQUIPMENT FOR ATHLETES IN THE PARALYMPIC DISCIPLINE «SITTING VOLLEYBALL»**

*Abstract:* The anatomical and biomechanical characteristics of Paralympic sitting volleyball athletes are examined, identifying the shortcomings of traditional equipment. The use of seamless technologies (3D knitting, welding) and technical textiles is justified. Design solutions for the products are proposed, taking into account the limb deficiency and the typical postures of the players. The research findings form the basis for the technical specifications for the development of specialized equipment.  
**Keywords:** sitting volleyball, seamless technologies, technical textiles, Paralympic sport, adaptive clothing, compression sportswear, injury prevention, smart textiles.

Технология бесшовной одежды открывает возможности для проектирования изделий с заданными функциональными свойствами, что высоко востребовано в сфере спортивной экипировки, где требования к эргономичности, защитным характеристикам и комфорту являются определяющими. Особый интерес к бесшовным швейным изделиям проявляют спортсмены-паралимпийцы.

В представляемом исследовании анализ инноваций выполнен применительно к процессу проектирования одежды для спортсменов дисциплины «волейбол сидя», поскольку биомеханика и анатомические особенности игроков диктуют к экипировке особые требования, не реализуемые традиционными методами. Применение бесшовных технологий в проектировании одежды для спортсменов с поражением опорно-двигательного аппарата (ПОДА) до настоящего времени не получило достаточного научного обоснования, что обуславливает актуальность рассматриваемых вопросов.

Современный паралимпийский спорт характеризуется ростом конкуренции, что требует нового подхода к экипировке. Существующая одежда не учитывает морфологические особенности спортсменов с ПОДА: наличие швов соединения деталей в зонах трения, нерегулируемое давление материала на культи, отсутствие эргономичности изделий в положении сидя – факторы, приводящие к дискомфорту и травмам [1]. Возникает необходимость в теоретическом обосновании и разработке рекомендаций по проектированию специализированной бесшовной экипировки и применению инновационного технологичного текстиля, способного компенсировать физические ограничения спортсменов.

«Волейбол сидя» – паралимпийская дисциплина для лиц с поражением опорно-двигательного аппарата: с ампутациями конечностей, последствиями травм позвоночника и спинного мозга, с врожденными аномалиями развития и парезами [2] (рисунок 1). Для каждой нозологической группы выделены специфические особенности, определяющие приоритетные характеристики для одежды:

- наличие культи изменяет форму поверхности бедра;

- костные выступления создают зоны локального давления;
- у спортсменов с травмами позвоночника наблюдаются нарушения трофики тканей (ухудшение кровообращения, истончение кожных покровов, снижение чувствительности) [3].



Рис 1. Волейбол сидя

Перечисленные факторы не только повышают риск повреждения кожи, но и вынуждают спортсмена изменять привычную технику движений, компенсируя недостаток сенсорной обратной связи. Следовательно, проектирование бесшовной экипировки невозможно без анализа реальной динамики паралимпийцев в игровых условиях, а реализация требует систематизации типичных поз и движений, характерных для «волейбола сидя». Для изучения указанных кинематических характеристик выделены основные позы спортсменов и сформированы сегментные модели. Фиксирование поз выполнено на основе наблюдений за тренировочно-соревновательной деятельностью игроков в «волейбол сидя» и анализа методических рекомендаций по освоению техники данного вида спорта [4].

Полученные данные систематизированы в пять групп поз и движений: базовые статические позы, тактические состояния, технические приёмы в динамике, контактно-восстановительные действия и основы перемещения.

Первая группа – базовые (статические) позы – основа перемещений (рисунок 2):

- Поза готовности (универсальная) (рисунок 2а). Таз плотно прижат к полу, вес на ягодицах. Корпус слегка наклонён вперёд (10-20°), спина прямая. Ноги асимметричны (вытянуты, согнуты или одна нога согнута). Руки согнуты в локтях, кисти расслаблены, одна или обе могут служить опорой начала движения.
- Поза приёма мяча (снизу, подачи, атаки) (рисунок 2б). Быстрое перемещение руками для вывода корпуса под мяч. Таз стабилизирован, корпус наклонён. Руки соединены для приёма («доньшко», «кулаки»). Движение от ног с использованием корпуса, часто в наклонном состоянии.
- Поза передачи (сверху, для атаки) (рисунок 2в). Таз на полу, игрок сидит на передней части ягодиц. Корпус развёрнут к цели, спина прямая. Руки подняты, кисти над лицом («окошко»), локти в стороны. Опорная нога сильно согнута, стопа упирается в пол, другая нога – балансир.

Вторая группа – тактические состояния (специализированные позы):

- «Низкий блок» / опора для блока. У сетки: таз плотно прижат или слегка приподнят. Ноги широко разведены, стопы развернуты в пол. Корпус наклонён на 30-40° вперёд, плечи приподняты. Руки вдоль сетки, ладони к мячу.
- «Глубокий приём» (ожидание обманного удара). Низкая позиция: ноги вытянуты или согнуты, корпус сильно наклонён (грудь почти у бёдер). Таз сдвинут вперёд, руки на полу перед собой.
- «Подстраховка атаки» (игроки задней линии). Таз смещён вперёд, вес на передней части ягодиц. Ноги максимально согнуты, бёдра почти параллельны полу. Руки далеко вперёд, упираются ладонями в пол.

Третья группа – технические приёмы в динамике (движения, броски):

- Атака (нападающий удар). Исходно боком к сетке, опорная нога согнута. Таз на полу, корпус вытянут вверх. Удар в высшей точке: замах, скручивание, разгибание корпуса (работа пресса и спины). Хлесткое движение руки.
- Блокировка. Лицом к сетке, ноги разведены широко (согнуты или втянуты). Руки максимально подняты вверх и вперёд, пальцы расставлены, кисти напряжены. Корпус вытянут.
- Перемещение. На ягодицах, с помощью рук и ног, при этом, подъём таза, «подсадка», отталкивание ногами. В критических ситуациях – броски в сторону с подтягиванием.
- «Подкат»/«сброс» (спасание мяча). Выбрасывание тела в сторону, вперёд или назад. Таз отрывается от пола по инерции (разрешённое исключение). После касания мяча – быстрое возвращение в положение сидя.
- «Связующий в движении». Перемещение к точке паса: таз не плотно прижат, вес на одной ягодице и руке (трёхточечная опора). Опорная нога сильно согнута, стопа в пол. Корпус развёрнут к нападающему, руки над головой, кисти на уровне лба.

Четвертая группа – контактные/восстановительные действия:

- «Сидящий разворот» (приём атаки в корпус). Резкий разворот боком или спиной к мячу. Корпус напряжён, руки прижаты или амортизируют удар.
  - «Силовая опора» (восстановление после падения). Из положения на спине или боку – рывок с опорой на одну руку (локоть зафиксирован, ладонь в пол). Опорная нога согнута для толчка.
- Пятая группа (изменение позиции):
- «Подсадка». Перемещение на ягодичах: подъём таза, отталкивание ногами и руками (отталкивание сзади или подтягивание). Корпус резко наклонён вперёд.

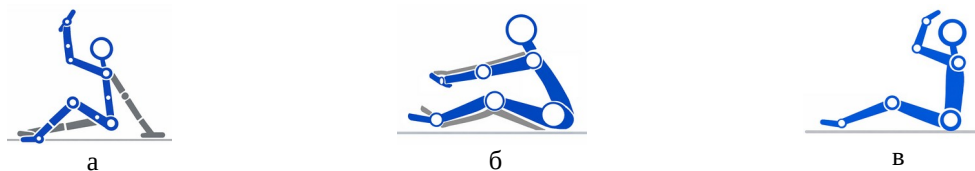


Рис 1. Базовые позы: а – универсальная, б – приём, в – передача

Таким образом, биомеханика перемещений в волейболе сидя принципиально отличается от классического волейбола. Основные игровые действия выполняются в положении сидя на ягодичах и задней поверхности бёдер, которые служат единственной опорой [4]. Игровая деятельность включает статический компонент (удержание позы) и динамические перемещения по площадке с помощью рук, сопровождающиеся интенсивным трением одежды о пол. В зонах наибольшего контакта (область седалищных бугров, задняя и боковая поверхности бёдер) возникает сочетание сдвиговых усилий и длительного давления. Анализ биомеханики и опрос спортсменов позволили выделить три основные группы повреждений тела: потертости в опорных зонах, истирание и травматизация культи, ушибы тазобедренной области. Грубые швы на спортивных трусах или тайтсах, расположенные в перечисленных зонах, действуют как дополнительные травмирующие факторы. Кроме того, спортсмены с ампутациями испытывают проблему «пустой штанины», неудобства при надевании поясных швейных изделий, отсутствие фиксации культи.

Таким образом, установлено, что традиционная одежда, используемая игроками в «волейбол сидя», функционально несостоятельна: швы, пояса, застёжки становятся причиной травм, затрудняют движения и создают барьеры при самообслуживании. Выявленные особенности традиционной экипировки диктуют необходимость перехода к изготовлению бесшовных предметов одежды с применением свойств инновационного текстиля. Проектирование новой спортивной формы основано на применении следующих методов:

- бесшовное формообразование: цельнотканая технология, технология трехмерной вязки,
- технологии с использованием лазерной резки, ультразвуковой сварки и клеевое соединение [5].

Цельнотканое формообразование представляет собой метод создания объёмных текстильных изделий непосредственно на ткацком станке за счёт изменения плотности переплетения, введения дополнительных нитей утка или использования многослойных структур. Данная технология позволяет получать бесшовные детали (например, рукава, носки, оболочки для протезов и др.) с высокой формоустойчивостью и износостойкостью. Однако, применительно к спортивной экипировке для волейбола сидя, цельнотканые методы имеют существенные ограничения. Во-первых, тканые полотна обладают низкой эластичностью в сравнении с трикотажем, что критично для одежды, требующей свободы движений и плотного облегания в динамике. Во-вторых, возможность создания сложных трехмерных контуров (например, соответствующей форме культи или с зонированной компрессией) на ткацком оборудовании крайне ограничена и требует применения специализированных станков с жаккардовыми механизмами и многозевными устройствами. Такое оборудование (например, ткацкие станки с дополнительными модулями для 3D-ткачества) имеет высокую стоимость, низкую производительность при изготовлении штучных изделий и требует сложной настройки под каждую модель. Кроме того, после ткачества часто необходима финишная влажно-тепловая обработка (ВТО) для фиксации объёмной формы, что увеличивает время производственного цикла. В результате цельнотканое формообразование, несмотря на принципиальную бесшовность, уступает технологиям 3D-вязания по эластичности, комфорту и экономической эффективности при производстве малых серий специализированной паралимпийской экипировки.

3D-вязание (цельновязанные конструкции) представляет собой сегодня наиболее перспективную технологию для создания бесшовной спортивной экипировки. В отличие от традиционного раскроя и последующего стачивания деталей в оболочку, 3D-вязание позволяет сформировать изделие или его крупную часть непосредственно на плоскофанговом или кругловязальном оборудовании как единую трёхмерную структуру. В процессе вязания за счёт программного управления иглами и перемещения петель с одной иглы на другую можно выполнять убавки, прибавки, формировать проймы, вырез горловины, а также соединять переднюю и заднюю половинки изделия (например, в области шагового шва

или плеча) без последующего стачивания. Это обеспечивает полное отсутствие соединительных швов в зонах контакта с опорной поверхностью (ягодицах, задней и внутренней поверхности бёдер), что критически важно для профилактики потёртостей и прочих травм у спортсменов с нарушенной трофикой тканей.

Ключевым преимуществом 3D-вязания является возможность функционального зонирования полотна. В рамках одного изделия можно программировать разные типы переплетений, плотность вязания и даже менять состав нити по ходу процесса. Например, в области сидения и ягодиц формируется максимально плотная, износостойкая структура с использованием высокопрочных полиамидных или арамидных нитей, устойчивая к истиранию о покрытие площадки. В поясничной зоне, напротив, создаётся более рыхлое, сетчатое переплетение, обеспечивающее вентиляцию и отвод влаги, а также умеренную компрессию для поддержания мышц спины. В области плечевого пояса и рукавов, за счёт повышенного содержания эластана, достигается высокая растяжимость, не сковывающая движений при пасах, подачах и блоках. Кроме того, 3D-вязание позволяет интегрировать дополнительные элементы непосредственно в структуру изделия: формировать «карманы» для защитных вставок (например, силиконовых или гелевых прокладок на область седалищных бугров), создавать каналы для эластичных шнуров, регулирующих облегание, а также вывязывать асимметричные детали – например, штанины разной длины и формы для спортсменов с ампутацией нижних конечностей. Закрытый дистальный конец чехла для культи (лайнер) также может быть сформирован непосредственно в процессе вязания, что исключает наличие грубого шва на наиболее уязвимой части культи. Важно отметить, что современные вязальные автоматы с компьютерным управлением позволяют изготавливать изделия по индивидуальным размерным параметрам без переналадки оборудования – достаточно загрузить новую программу. Это делает 3D-вязание экономически оправданным даже для малых серий паралимпийской экипировки, поскольку морфология каждого спортсмена уникальна. Единственными ограничениями данной технологии являются относительно высокая стоимость оборудования и необходимость в квалифицированных наладчиках, однако затраты окупаются за счёт сокращения этапов раскроя, шитья и влажно-тепловой обработки, а также снижением количества производственных отходов.

В тех случаях, когда особенности изделия не позволяют выполнить его полностью цельновязаным (например, при комбинировании материалов, различных по составу и свойствам, или при необходимости замены отдельных изношенных элементов), возникает потребность в соединительных швах. Однако, традиционные ниточные швы, даже выполненные плоскошовными машинами, создают локальные утолщения и зоны повышенной жёсткости, что в условиях длительного давления и трения, характерных для специфики игры «волейбол сидя», может приводить к травмированию кожных покровов. В связи с этим для соединения деталей экипировки целесообразно применять специализированные бесшовные методы, исключающие использование ниток и игл.

Технология лазерной резки обеспечивает идеально гладкие, оплавленные срезы, которые не осыпаются, не впитывают влагу и не создают бахромы; однако сама по себе она не соединяет детали, а лишь подготавливает край для последующего скрепления. Ультразвуковая сварка позволяет сплавлять края синтетических материалов под воздействием высокочастотных колебаний, формируя тонкий, эластичный и герметичный шов без проколов. Клеевое соединение (термоклеевые ленты и плёнки) даёт возможность скреплять различные типы материалов (в том числе натуральные с синтетическими) с образованием плоского, гибкого и практически неощутимого на коже шва.

Все перечисленные методы обеспечивают отсутствие выступающих рубцов, что критически важно для зон контакта с опорной поверхностью (ягодицы, бёдра). Сравнительный анализ технологических методов соединения представлен в таблице 1.

**Таблица 1. Методы соединения материалов для спортивной формы волейболистов сидя**

Метод	Тип операции	Характеристика края / шва	Преимущества для волейбола сидя	Ограничения
Лазерная резка	Обработка среза	Оплавленный, гладкий, неосыпающийся край, герметичный	Идеальная обработка срезов без бахромы; защита от влаги, отсутствие утолщений	Требует дополнительного соединения деталей другим методом
Ультразвуковая сварка	Соединение деталей	Тонкий, эластичный, герметичный шов (без ниток)	Отсутствие трения; защита от влаги; высокая прочность; нет проколов иглой	Требует наличия термопластических (синтетических) волокон
Клеевое соединение	Соединение деталей	Плоский, гибкий шов (термоклеевой)	Возможность соединения разных материалов; нет проколов; шов не выступает	Чувствительность к высоким температурам; старение клея

Проектирование бесшовной экипировки требует учёта положения тела сидя: при сгибании туловища длина передней части поясного изделия сокращается, задней – увеличивается, обхват талии и бёдер возрастает [6]. Конструктивно-технологическое решение одежды должно обеспечивать:

- полное отсутствие швов в опорных зонах,
- функциональное зонирование полотна (повышенная износостойкость в области таза, эластичность и вентиляция на поясице, свобода в плечевом поясе), учёт динамики игровых движений (пас, блок, подача).

Поэтому для спортсменов с ампутациями необходимо разрабатывать специальные конструктивно-технологические решения:

- асимметричность (разная форма, длина и степень облегания конечностей без и с дефицитом длины);
- увеличенная по спине и уменьшенная по переду длина изделий, в отличие от типовых конструкций плечевой и поясной одежды;
- чехол (лайнер) для культи с градиентом компрессии, интегрированный в бесшовное полотно;
- система фиксации без сдавливания.

Таким образом, выбор бесшовной технологии определяет лишь геометрию и безотходность изготовления изделия. Однако ключевые эксплуатационные свойства (износостойкость, гигиеничность, терморегуляция и компрессионное воздействие) зависят от волокнистого состава и структуры материала. В связи с этим предлагается рассмотреть основные виды инновационного текстиля и требования к волокнам материала для экипировки спортсменов дисциплины «волейбол сидя».

Текстиль для игроков в «волейбол сидя» должен обладать комплексом функциональных свойств. Гигиенические свойства обеспечиваются смесовыми материалами на основе полиэстера с волокнами, обладающими повышенным капиллярным эффектом. Для терморегуляции в зонах контакта с полом рекомендованы фазопереходные материалы (PCM, например Outlast®) с температурой перехода 28-32°C, позволяющие снизить потоотделение на 30-40%.

Защитные свойства достигаются зональным усилением высокопрочными волокнами: сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), пара-арамиды (кевлар), полиамиды. Антибактериальная обработка (наночастицы серебра, хитозан, оксид меди) обязательна в зонах повышенного потоотделения и трения для профилактики инфекционных осложнений.

Компрессионное воздействие реализуется через градуированную компрессию – максимальное давление в дистальной части конечности с постепенным снижением к проксимальной, что улучшит венозный отток, уменьшит отёки, снизит риск тромбозов и повысит проприоцепцию [7, 8].

Наряду с гигиеническими, защитными и компрессионными свойствами перспективным направлением является внедрение сенсорных систем. Интеграция сенсоров в бесшовное полотно позволит контролировать давление в зоне посадки, отслеживать биомеханику движения и частоту пульса. Пьезорезисторные датчики и акустические сенсоры вплетаются в структуру ткани на этапе вязания, сохраняя гибкость и комфорт [9-11]. Разработанные прототипы демонстрируют точность распознавания движений до 99,6% [12].

Наряду с внедрением сенсорных систем и функциональных материалов, которые усложняют утилизацию изношенной одежды, важным требованием к современной паралимпийской экипировке становится её экологическая безопасность. Принципы устойчивого развития включают использование переработанных материалов (вторичный полиэстер), биоволокон, безотходных технологий, а также модульный дизайн для замены изношенных элементов. Крупные бренды уже внедряют циркулярные модели производства [13].

Таким образом, систематизация полученных знаний о требованиях к экипировке, возможностях бесшовного производства и функциональных материалах позволяет сформулировать следующие выводы:

- Специфика игры «волейбол сидя» и морфофизиологические особенности спортсменов (ампутации, травмы позвоночника) формируют зоны повышенного риска на теле игроков – седалищные бугры, бёдра, культи. Традиционная спортивная одежда из-за наличия швов и поясов выступает прямым травмирующим фактором, вызывая потёртости и нарушение кровообращения.
- Бесшовные технологии (3D-вязание, лазерная резка, клеевые соединения) позволят исключить травмирующие швы в опорных зонах, реализовать зонирование полотна по плотности и износостойкости, а также интегрировать в оболочку изделий чехлы для культи и системы фиксации. Новые конструктивно-технологические решения, учитывающие изменение размеров тела в положении сидя и биомеханику игровых движений, обеспечат создание эргономичной одежды.
- Технологичный текстиль для экипировки должен обеспечить: гигиену и терморегуляцию (PCM, капиллярные волокна); защиту (высокопрочные волокна, арамиды, полиамиды; антибактериальную обработку); компрессию (градуированное давление для улучшения крово- и лимфооттока).
- Инновационные подходы предполагают использование «умного» текстиля (сенсоры давления и биомеханики) и принципы устойчивого развития (переработка, биоматериалы, циркулярная экономика).

Разработанные рекомендации использованы в качестве технического задания для проектирования специализированной бесшовной экипировки для спортсменов-паралимпийцев, обеспечивающей безопасность, комфорт и эффективность соревновательной деятельности.

### Список литературы

1. Юр-Кирилюк А.В., Гусева М.А. Анализ требований к адаптивной одежде для спортсменов с ограниченными возможностями по движению // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). - 2025. - № 1. - С. 426-430.
2. *World Para Volley*. Правила по классификации волейбола сидя / URL: <https://clcl.li/MODuT> (дата обращения: 07.10.2025).
3. Курдыбайло С.Ф., Евсеев С.П., Герасимова Г.В. Врачебный контроль в адаптивной физической культуре: учебное пособие. – М.: Советский спорт, 2004. – 184 с.
4. Сокур Б. П., Бобровский Д. А., Самойлов Д. Э. Особенности технико-тактических действий в волейболе сидя // Материалы конференции. Актуальные проблемы адаптивной физической культуры. – 2022. – С. 114–116.
5. *Functional and Technical Textiles*. – Cambridge: Woodhead Publishing. - 2023. – 858 p. – (The Textile Institute Book Series). – ISBN 978-0-323-91593-9.
6. Козлова Е.В., Пleshkova О.М., Никитина Н.С. Антропометрические исследования фигур людей, находящихся в инвалидном кресле // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. - No.1. – с.34-39.
7. Mikucioniene D., Halavska L., Laureckiene G., Melnyk L., Arabuli S., Milasius R. Development of Knitted Compression Covers for Amputated Limbs // *Fibers*. – 2024. – Vol. 12, No. 10. – Art. 80. – DOI: 10.3390/fib12100080.
8. *Flexible all-textile dual tactile-tension sensors for monitoring athletic motion during taekwondo* // *Nano Energy*. –2021.–Vol. 85. – Art. 105941. – DOI: 10.1016/j.nanoen.2021.105941.
9. Imran A., Zaman S., Razzaq M., et al. Textile-based strain sensors for compression measurement in sportswear // *Sensors*. – 2024. – Vol. 24, No. 23. – Art. 7495. – DOI: 10.3390/s24237495
10. *Smart Fabrics с питанием от звуковых волн* // *NewBue*. – URL: <https://clcl.li/SEtft> (дата обращения: 23.03.2026).
11. *3DKnITS: Three-dimensional Knitted Intelligent Textile Sensor* // MIT Media Lab. – URL: <https://clcl.li/OBbqN> (дата обращения: 23.03.2026).
12. *Puma and RE&UP expand circularity* // *Knitting Industry*. – 2025. – 26 марта. – URL: <https://clcl.li/cCCtZ> (дата обращения: 23.03.2026)
13. *Syre announces partnership with Nike to scale circular polyester* // *Apparel Views*. – 2025. – 11 ноября. – URL: <https://clcl.li/jBZst> (дата обращения: 23.03.2026).

### References

1. Yur-Kirilyuk A.V., Guseva M.A. *Analiz trebovanij k adaptivnoj odezhde dlya sportmenov s ogranichennymi vozmozhnostyami po dvizheniyu* [Analysis of requirements for adaptive clothing for athletes with limited mobility] // *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)*. - [Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (SMARTEX)]. - 2025. - No. 1. - P. 426-430.
2. *World Para Volley. Pravila po klassifikacii volejbola sidja* [World Para Volley. Classification rules for sitting volleyball]. URL: <https://clcl.li/MODuT> (date accessed: 07.10.2026). (in Rus.).
3. Kurdybajlo S.F., Evseev S.P., Gerasimova G.V. *Vrachebnyj kontrol' v adaptivnoj fizicheskoj kul'ture: uchebnoe posobie* [Medical control in adaptive physical culture: textbook]. – Moscow: Sovetskij sport, 2004. – 184 p. (in Rus.).
4. Sokur B.P., Bobrovskij D.A., Samojlov D.Je. *Osobennosti tehniko-takticheskikh dejstvij v volejbole sidja* [Features of technical and tactical actions in sitting volleyball]. Aktual'nye problemy adaptivnoj fizicheskoj kul'tury: materialy konferencii [Actual problems of adaptive physical culture: conference proceedings]. 2022. pp. 114–116. (in Rus.)
5. *Functional and Technical Textiles*. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2023. – 858 p. – (The Textile Institute Book Series). – ISBN 978-0-323-91593-9.
6. Kozlova E.V., Pleshkova O.M., Nikitina N.S. *Antropometricheskie issledovaniya figur ljudej, nahodjashhijhsja v invalidnom kresle* [Anthropometric studies of figures of people in wheelchairs]. *Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology]. 2019. No. 1. pp. 34–39. (in Rus.)

7. Mikucioniene D., Halavska L., Laureckiene G., Melnyk L., Arabuli S., Milašius R. *Development of Knitted Compression Covers for Amputated Limbs* // *Fibers*. – 2024. – Vol. 12, No. 10. – Art. 80. – DOI: 10.3390/fib12100080.
8. *Flexible all-textile dual tactile-tension sensors for monitoring athletic motion during taekwondo* // *Nano Energy*. – 2021. – Vol. 85. – Art. 105941. – DOI: 10.1016/j.nanoen.2021.105941.
9. Imran A., Zaman S., Razzaq M., et al. *Textile-based strain sensors for compression measurement in sportswear* // *Sensors*. – 2024. – Vol. 24, No. 23. – Art. 7495. – DOI: 10.3390/s24237495.
10. *Smart Fabrics s pitaniem ot zvukovyh voln* [Smart fabrics powered by sound waves]. NewBue. URL: <https://clc.li/SEtFt> (date accessed: 23.03.2026). (in Rus.).
11. *3DKnITS: Three-dimensional Knitted Intelligent Textile Sensor* // MIT Media Lab. – URL: <https://clc.li/OBbqN> (date accessed: 23.03.2026).
12. *Puma and RE&UP expand circularity* // *Knitting Industry*. – 2025. – 26 марта. – URL: <https://clc.li/cCctZ> (date accessed: 23.03.2026).
13. *Syre announces partnership with Nike to scale circular polyester* // *Apparel Views*. – 2025. – November 11. – URL: <https://clc.li/jBZst> (date accessed: 23.03.2026).

УДК

**П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ УФ/ВИД СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ РАВНОВЕСИЙ**

© П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий, 2026

*Метод концентрационной спектрофотометрии ранее успешно применялся для исследования кислотно-основных равновесий и определения термодинамических констант диссоциации соединений различного строения. В настоящей работе исследована возможность использования данного подхода для анализа равновесий комплексообразования и определения констант устойчивости комплексных соединений. Показано, что зависимость оптической плотности от концентрации может быть использована для исследования многокомпонентных равновесных систем без получения индивидуальных спектров поглощения отдельных форм. Полученные результаты свидетельствуют о расширении области применения метода концентрационной спектрофотометрии при изучении комплексных равновесий.*

**Ключевые слова:** концентрационная спектрофотометрия, комплексообразование, закон Бугера-Ламберта-Бера, константы устойчивости, ДТПА, хелатная терапия.

**P.D. Zakhmatova, S.S. Lysova, Y.E. Zevatskii**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**APPLICATION OF THE CONCENTRATION UV/VIS SPECTROPHOTOMETRIC METHOD IN THE STUDY OF COMPLEX EQUILIBRIUMS**

*The method of concentration spectrophotometry has previously been successfully applied to the study of acid–base equilibria and to the determination of thermodynamic dissociation constants of compounds with different structures. In the present work, the possibility of using this approach for the analysis of complex formation equilibria and the determination of stability constants of coordination compounds has been investigated. It is shown that the dependence of optical density on concentration can be used to study multicomponent equilibrium systems without obtaining individual absorption spectra of the separate species. The results obtained indicate an expansion of the applicability of the concentration spectrophotometry method for the investigation in the study of complex equilibria.*

**Keywords:** concentration spectrophotometry, complex formation, Beer-Lambert law, stability constants, DTPA, chelation therapy.

Метод концентрационной UV/Vis спектрофотометрии ранее был успешно применен для определения значений констант диссоциации  $pK_a$  различных органических кислот, оснований, амфолитов и соединений более сложного строения в водных и неводных средах [1]-[3]. По сравнению с классическим спектрофотометрическим методом, данный подход не требует получения спектров индивидуальных компонентов смеси. Вследствие этого отпадает необходимость использования буферных растворов, фоновых электролитов, концентрированных кислот и щелочей, а также учета значений pH среды при обработке экспериментальных данных.

Для систем, в которых поглощают частицы одного типа и не протекает побочных химических реакций, зависимость оптической плотности от концентрации  $A = f(C)$ , описанная законом Бугера-Ламберта-Бера (БЛБ), линейна. В растворах, где протекают кислотно-основные равновесия, реакции комплексообразования, ассоциации или диссоциации, наблюдаются отклонения от линейной зависимости. В таких системах исследуемое соединение существует одновременно в нескольких равновесных формах, каждая из которых обладает собственным электронным спектром поглощения и индивидуальным молярным коэффициентом поглощения. Закон БЛБ не соблюдается для смеси таких частиц, но выполняется для каждой формы отдельно. Экспериментально определяемый, наблюдаемый молярный коэффициент поглощения  $\epsilon_\lambda \neq const$  и изменяется в зависимости от концентрации исследуемого соединения. Зная значения оптических плотностей исследуемого соединения для растворов с различной

концентрацией, соответствующих оптимальной длине волны  $\lambda_{\text{опт}}$ , можно определить константы равновесия [4]. Пересмотр классической интерпретации закона Бугера-Ламберта-Бера позволяет рассматривать отклонения от линейности не как ограничение спектрофотометрического метода, а как инструмент для исследования равновесных систем, в которых получение индивидуальных спектров отдельных частиц является затруднительным или вовсе экспериментально невозможным.

Целью данного исследования является проверка возможности применить метод концентрационной спектрофотометрии для получения констант устойчивости в случае сложных комплексных равновесий. Комплексные соединения, благодаря своей способности образовывать устойчивые структуры и избирательно связывать ионы и молекулы, нашли широкое применение в различных областях. Особый интерес представляет хелатная терапия – процесс выведения из организма ионов токсичных металлов ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  и др.), а также радиоактивных изотопов и продуктов их распада с помощью комплексонов [5]. В качестве примера соединения, используемого с целью профилактики и лечения поражений радиоактивными веществами, можно привести кальций тринатриевую соль диэтилтриаминапентауксусной кислоты (пентацин), его структурная формула представлена на рисунке 1. Эффективность хелатной терапии определяется устойчивостью образующихся комплексов, высокие значения логарифма константы устойчивости характеризуют получаемые комплексы как термодинамически стабильные, что обеспечивает предотвращение повторного попадания токсичного металла в ткани организма [6]. Следовательно, совершенствование методов определения констант устойчивости для сложных комплексных равновесий является актуальной задачей.

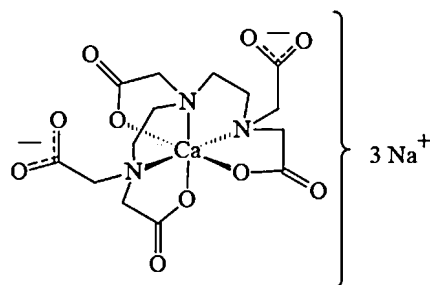


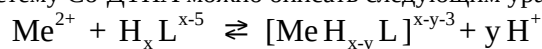
Рис. 1. Структурная формула кальций тринатривой соли диэтилтриаминапентауксусной кислоты

В данном исследовании в качестве модельной смеси была выбрана сложная система равновесий образования комплексов кобальта с диэтилтриаминапентауксусной кислотой, сокращенно ДТПА. Как было сказано ранее, она представляет интерес с точки зрения применения в фармакологии. ДТПА является восьмидентатным пятиосновным лигандом и образует устойчивые водорастворимые комплексы со многими металлами, в том числе с кобальтом. Кроме того, ДТПА является пятиосновной кислотой и ее реакционная способность зависит от кислотности среды. В таблице 1 указаны константы равновесий для каждой ступени диссоциации [7].

Таблица 1. Константы равновесий для ступенчатой диссоциации ДТПА

Уравнение равновесия	pKa
$\text{H}_5\text{L} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{L}^- + \text{H}^+$	1,82
$\text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons \text{H}_3\text{L}^{2-} + \text{H}^+$	2,65
$\text{H}_3\text{L}^{2-} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{L}^{3-} + \text{H}^+$	4,28
$\text{H}_2\text{L}^{3-} \rightleftharpoons \text{HL}^{4-} + \text{H}^+$	8,53
$\text{HL}^{4-} \rightleftharpoons \text{L}^{5-} + \text{H}^+$	10,45

Для проведения эксперимента была приготовлена смесь, содержащая катионы кобальта и ДТПА мольного состава 1:1. В качестве растворителя использована дистиллированная вода. Полученная среда оказалась сильноокислой. В этой среде ДТПА может существовать в двух формах: нейтральной  $\text{H}_5\text{L}$  и анионной  $\text{H}_4\text{L}^-$ . В общем виде систему Co-ДТПА можно описать следующим уравнением:



Согласно этому равновесию, в сильноокислой среде при взаимодействии ионов кобальта с присутствующими формами ДТПА образуются комплексные частицы  $[\text{CoH}_4\text{L}]^+$  и  $[\text{CoH}_3\text{L}]^0$ . В таблице 2 представлены уравнения комплексообразования и соответствующие константы равновесия.

Таблица 2. Образование комплексных частиц при взаимодействии ДТПА с кобальтом в сильнокислой среде

$\text{Co}^{2+} + \text{H}_5\text{L} \rightleftharpoons [\text{CoH}_4\text{L}]^+ + \text{H}^+$	$K_1 = \frac{[\text{CoH}_4\text{L}]^+ \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_5\text{L}]}$
$\text{Co}^{2+} + \text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons [\text{CoH}_3\text{L}]^0 + \text{H}^+$	$K_0 = \frac{[\text{CoH}_3\text{L}]^0 \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{L}^-]}$
$\text{Co}^{2+} + \text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons [\text{CoH}_4\text{L}]^+$	$K_2 = \frac{[\text{CoH}_4\text{L}]^+}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{L}^-]}$

Для определения констант устойчивости классическим спектрофотометрическим методом, приведенным в литературных источниках, необходимо иметь индивидуальные спектры комплексных частиц [8], в данном случае нейтральной комплексной частицы и комплексной частицы с зарядом плюс один. Методика концентрационной УФ/Вид спектрофотометрии не требует получения таких спектров.

Согласно методике концентрационной спектрофотометрии, необходимо приготовить смеси Со-ДТПА мольного состава (1:1) с различными концентрациями  $C_i$ . Для каждого  $i$ -го раствора были сняты электронные спектры поглощения и на выбранной оптимальной длине волны  $\lambda_{\text{опт}}$  рассчитаны молярные коэффициенты поглощения  $\epsilon_i$ , используя закон БЛБ. В таблице 3 представлены значения  $\epsilon_i$  в зависимости от концентрации приготовленных растворов на  $\lambda_{\text{опт}} = 537$  нм. На рисунке 2 представлены полученные спектры поглощения смеси при различных концентрациях. Для снятия спектров поглощения применялись кварцевые кюветы с толщиной поглощающего слоя 10 см, спектры поглощения регистрировали в диапазоне от 200 до 900 нм.

Таблица 3. Растворы смеси Со(II)-ДТПА при различных молярных концентрациях

№ смеси	C (Со <sup>2+</sup> :ДТПА) (1:1), М	pH	A <sub>i</sub> , 537 нм	ε <sub>i</sub> , 537 нм	Предполагаемые формы ДТПА
1	8,75·10 <sup>-3</sup>	1,78	1,043	11,92	H <sub>5</sub> L H <sub>4</sub> L <sup>-</sup>
2	8,31·10 <sup>-3</sup>	-	0,998	12,01	
3	7,87·10 <sup>-3</sup>	-	0,978	12,42	
4	7,0·10 <sup>-3</sup>	-	0,874	12,49	
5	6,12·10 <sup>-3</sup>	-	0,771	12,59	
6	5,25·10 <sup>-3</sup>	1,88	0,667	12,70	

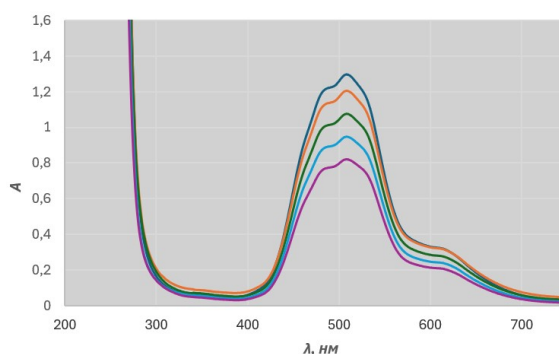


Рис. 2. Электронные спектры поглощения смеси Со(II):ДТПА мольного состава (1:1) при различных концентрациях

Известно, что от выбранной длины волны, при которой проводятся измерения, зависит погрешность спектрофотометрического метода. Поэтому оптимальную длину волны выбирали согласно методике, разработанной специально для метода концентрационной спектрофотометрии [9]. Для определения  $\lambda_{\text{опт}}$  использовали данные электронных спектров поглощения смеси, зарегистрированных при двух различных концентрациях обоих компонентов – начальной максимальной ( $C_{\text{max}}$ ) и конечной минимальной ( $C_{\text{min}}$ ). В качестве таких растворов рассматривали смеси Со-ДТПА мольного состава (1:1) с концентрациями компонентов 8,75·10<sup>-3</sup> М и 5,25·10<sup>-3</sup> М, соответствующими границам исследуемого

диапазона концентраций. Полученные спектры использовались для дальнейшей обработки, которая заключается в следующем: строят график зависимости различия молярных коэффициентов поглощения от длины волны и выбирают оптимальную длину волны  $\lambda_{\text{опт}}$ , на которой различие достигает максимума. Разность молярных коэффициентов светопоглощения двух спектров на каждой длине волны находят по формуле (1):

$$|\Delta\varepsilon| = \left| \frac{A_{\text{max}}(\lambda)}{C_{\text{max}} \times l} - \frac{A_{\text{min}}(\lambda)}{C_{\text{min}} \times l} \right| = \dot{c} \cdot |\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}}| \quad (1)$$

где  $|\Delta\varepsilon|$  – разность молярных коэффициентов светопоглощения при определенной длине волны;  
 $A_{\text{max}}(\lambda)$  – оптическая плотность раствора при максимальной концентрации исследуемого вещества на определенной длине волны;

$C_{\text{max}}$  – максимальная концентрация исследуемого вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

$l$  – толщина поглощающего слоя, см;

$A_{\text{min}}(\lambda)$  – оптическая плотность раствора при минимальной концентрации исследуемого вещества на определенной длине волны;

$C_{\text{min}}$  – минимальная концентрация исследуемого вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

$\varepsilon_{\text{max}}$  – экспериментально определяемый молярный коэффициент поглощения при  $A_{\text{max}}$  и  $C_{\text{max}}$ , дм<sup>3</sup>·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>;

$\varepsilon_{\text{min}}$  – экспериментально определяемый молярный коэффициент поглощения при  $A_{\text{min}}$  и  $C_{\text{min}}$ , дм<sup>3</sup>·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.

На рисунке 3(а) представлены полученные спектры смеси при максимальной и минимальной концентрации компонентов, на рисунке 3(б) – результаты обработки. В данном случае максимальное различие молярных коэффициентов поглощения наблюдается на длине волны 537 нм.

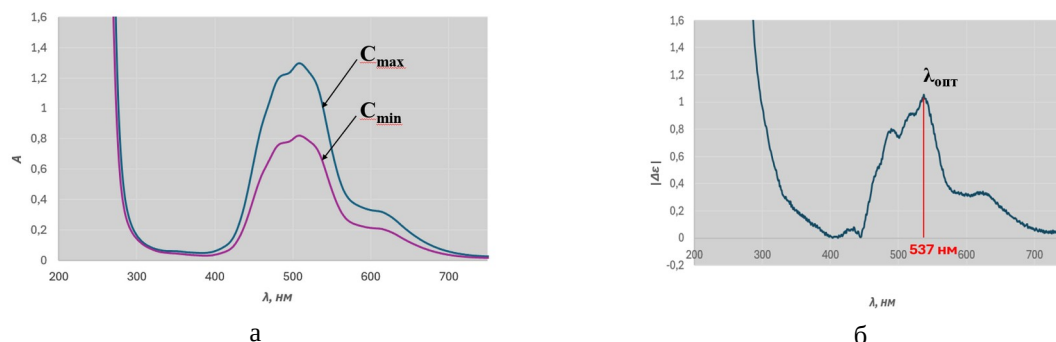


Рис. 3. Выбор длины волны  $\lambda_{\text{опт}}$  по разности молярных коэффициентов поглощения  $|\Delta\varepsilon|$  системы Co(II)-ДТПА в водном растворе при концентрациях: 1 –  $C_{\text{max}} = 8,75 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> и 2 –  $C_{\text{min}} = 5,25 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>

По полученным экспериментальным данным  $A_i = f(C_i)$  при  $\lambda_{\text{опт}}$  (таблица 3) с применением программы Mathcad были рассчитаны константы равновесия  $K_1$ ,  $K_0$ ,  $K_2$  (таблица 2) для системы Co-ДТПА мольного состава (1:1) в кислой среде и определены десятичные логарифмы констант устойчивости  $\lg\beta$ . Полученные результаты для комплексного иона  $[\text{CoH}_4\text{L}]^+$  хорошо согласуются с литературными данными. Стоит отметить, что литературное значение  $\lg\beta = 30,18$  было получено при ионной силе  $I = 0,1$  М, а в настоящей работе  $I \rightarrow 0$ , так как метод концентрационной спектрофотометрии не требует добавления фоновых электролитов. Кроме того, впервые было определено значение  $\lg\beta$  для нейтральной комплексной частицы  $[\text{CoH}_3\text{L}]^0$ , для которой в литературе отсутствуют экспериментальные данные (таблица 4).

Таблица 4. Константы устойчивости комплексов в системе Co - ДТПА при 25 °С, определенные методом концентрационной УФ/Вид спектрофотометрии.

Комплекс	$\lg\beta$	$\lg\beta$ (литература) [10]
$[\text{CoH}_4\text{L}]^+$	28,74	30,18
$[\text{CoH}_3\text{L}]^0$	26,73	–

Полученные результаты подтверждают применимость концентрационной спектрофотометрии для изучения не только кислотно-основных, но и комплексных равновесий. Метод не требует, как информации

об индивидуальном спектре какой-либо из прототропных форм в случае изучения кислотно-основных равновесий, так и информации об индивидуальном спектре какой-либо из комплексных форм в случае изучения комплексных равновесий, что позволяет получать значения молярных коэффициентов поглощения равновесных частиц без использования концентрированных растворов кислот или щелочей, что делает его особенно полезным для исследования сложных равновесий.

### Список литературы

1. Мельникова Ю. В., Скрипникова Т. А., Лысова С. С. [и др.]. Константы протолитических равновесий 1-замещенных тетразол-5-тиолов в водных растворах // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2017. № 41 (67). С. 67–70.
2. Лысова С. С., Скрипникова Т. А., Зевацкий Ю. Э. Алгоритм расчета констант диссоциации амфолитов в небуферных системах // Журнал физической химии. 2018. №5 (92). С. 755–759.
3. Лысова С. С., Скрипникова Т. А., Зевацкий Ю. Э. Алгоритм расчета констант протолитических равновесий в изопропиловом спирте // Журнал физической химии. 2021. №9 (95) С. 1370–1374.
4. Зевацкий Ю. Э. [и др.]. Закон Бугера–Ламберта–Бера. Спектрофотометрия в растворах электролитов // Журнал физической химии. 2024. №2 (98). С. 84–91.
5. Ахмадалиева Н. Д. Роль комплексных соединений и применение в медицине // Экономика и социум. 2023. № 12 (115). С. 1351–1354.
6. Ковтун В. Ю., Гладких В. Д., Давидович Ю. А. [и др.] К вопросу об использовании лекарственных форм пентацина и цинкацина // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. № 1 (60). С. 45–53.
7. Чистякова Г. В., Кокиаров С. А. Взаимодействие диэтилентриаминпентауксусной кислоты с конго красным и метиловым оранжевым в водном растворе // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2006. № 11 (49). С. 18–20.
8. Segoviano-Garfias J. J. N. Spectrophotometric determination of formation constants of Iron (III) complexes with several ligands // Chemistry. 2022. № 3 (4). С. 701-716.
9. Скрипникова Т. А. [и др.] Проблема выбора аналитической длины волны при спектрофотометрическом исследовании равновесий в растворах // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2024. №68 (94). С. 3–9.
10. Файди А. Г. [и др.] Моделирование равновесий комплексообразования кобальта (II) с диэтилентриаминпентауксусной кислотой в водных растворах // Химическая физика и мезоскопия. 2014. № 3 (16). С. 461–465.

### References

1. Mel'nikova Ju. V., Skripnikova T. A., Lysova S. S. [i dr.]. Konstanty protoliticheskikh ravnovesij 1-zameshhennyh tetrazol-5-tiolov v vodnyh rastvorah [Constants of protolytic equilibria of 1-substituted tetrazole-5-thioles in aqueous solutions] // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehničeskogo universiteta)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)]. 2017. № 41 (67). S. 67–70.
2. Lysova S. S., Skripnikova T. A., Zevackij Ju. Je. Algoritm rascheta konstant dissociacii amfolitov v nebufernyh sistemah [Algorithm for Calculating the Dissociation Constants of Ampholytes in Nonbuffer Systems]// *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2018. №5 (92). S. 755–759.
3. Lysova S. S., Skripnikova T. A., Zevackij Ju. Je. Algoritm rascheta konstant protoliticheskikh ravnovesij v izopropilovom spirte [Algorithm for Calculating the Protolytic Equilibrium Constants of Organic Acids in Isopropyl Alcohol] // *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2021. №9 (95) S. 1370–1374.
4. Zevackij Ju. Je. [i dr.]. Zakon Bugera–Lamberta–Bera. Spektrofotometrija v rastvorah jelektrolitov [Bouguer–Lambert–Beer Law of Absorption: Spectrophotometry in Electrolyte Solutions] // *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2024. №2 (98). S. 84–91.
5. Ahmadaliev N. D. Rol' kompleksnyh soedinenij i primenenie v medicine [The role of complex compounds and their application in medicine] // *Jekonomika i socium* [Economy and society]. 2023. № 12 (115). S. 1351–1354.
6. Kovtun V. Ju., Gladkih V. D., Davidovich Ju. A. [i dr.] K voprosu ob ispol'zovanii lekarstvennyh form pentacina i cinkacina [On the issue of using medicinal forms of pentacin

- and zincacin] // *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost'* [Medical Radiology and Radiation Safety]. 2015. № 1 (60). S. 45–53.
7. Chistjakova G. V., Koksharov S. A. Vzaimodejstvie dijetilentriaminpentauksusnoj kisloty s kongo krasnym i metilovym oranzhevym v vodnom rastvore [Interaction of diethylenetriaminepentaacetic acid with Congo red and methyl orange in aqueous solution] // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Himija i himicheskaja tehnologija* [News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology]. 2006. № 11 (49). S. 18–20.
8. Segoviano-Garfias J. J. N. Spectrophotometric determination of formation constants of Iron (III) complexes with several ligands // *Chemistry*. 2022. № 3 (4). С. 701-716.
9. Skripnikova T. A. [i dr.] Problema vybora analiticheskoj dliny volny pri spektrofotometricheskom issledovanii ravnovesij v rastvorah [Problem of analytical wavelengths choice in the spectrophotometric investigation of equilibria in solutions] // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehničeskogo universiteta)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)]. 2024. №68 (94). S. 3–9.
10. Fajdi A. G. [i dr.] Modelirovanie ravnovesij kompleksoobrazovanija kobal'ta (II) s dijetilentriaminpentauksusnoj kislotoj v vodnyh rastvorah [Modeling of equilibria of cobalt(II) complexation with diethylenetriaminepentaacetic acid in aqueous solutions] // *Himicheskaja fizika i mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy]. 2014. № 3 (16). S. 461–465.

УДК 338.24.01

**С. Ю. Ледовских, В. А. Дживан**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИИ 4.0 В ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

© С.Ю. Ледовских, В.А. Дживан, 2026

*В статье рассматриваются системные ограничения существующей модели полиграфического производства в контексте перехода к парадигме Индустрии 4.0. На основе анализа производственных процессов и результатов отраслевого опроса выявлены ключевые барьеры. Обосновывается необходимость перехода от линейной модели управления к кибер-физической организации производства, базирующейся на сквозном управлении данными и интеллектуальной поддержке принятия решений.*

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, полиграфическое производство, цифровая трансформация, кибер-физические системы, управление данными, автоматизация, системные ограничения

**S. Yu. Ledovskikh, V. A. Dzhivan**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **RELEVANCE AND PROBLEMS OF IMPLEMENTING THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT IN PRINTING PRODUCTION**

*The article examines the systemic limitations of the existing model of printing production in the context of the transition to the Industry 4.0 paradigm. Based on the analysis of production processes and the results of an industry survey, key barriers are identified. The necessity of transitioning from a linear management model to a cyber-physical production organization based on end-to-end data management and intelligent decision support is substantiated.*

**Keywords:** Industry 4.0, printing production, digital transformation, cyber-physical systems, data management, automation, systemic limitations.

Концепция Индустрии 4.0, основанная на интеграции кибер-физических систем, промышленного интернета вещей, технологий искусственного интеллекта и сквозного цифрового управления жизненным циклом изделия, последовательно трансформирует промышленные сектора [1, 2]. Полиграфическая отрасль, традиционно ориентированная на обеспечение высокого качества печати, сталкивается с новым системным вызовом: сохранение конкурентоспособности требует не столько наращивания технологической мощности, сколько повышения управляемости процессов, сокращения времени выполнения заказов и снижения операционных издержек.

Однако, как показывает практика, цифровая трансформация в полиграфии носит неравномерный характер. Предприятия внедряют отдельные цифровые инструменты, не формируя целостной архитектуры «умного производства». Системный переход к модели, соответствующей принципам Индустрии 4.0, остаётся скорее исключением, чем тенденцией. Данная работа посвящена анализу сложившейся модели полиграфического производства, выявлению её системных ограничений и обоснованию направлений целесообразного применения технологий четвёртой промышленной революции [3,4].

Исследование базируется на сочетании методов структурно-функционального анализа производственных процессов и эмпирического обследования предприятий. В марте 2026 года проведён опрос представителей крупных полиграфических предприятий различных сегментов: печать картонной и гибкой упаковки, этикеточная продукция, коммерческая и рекламная печать, интерьерная печать, печать на текстиле. Анкета включала вопросы, сгруппированные по трём ключевым направлениям: интеграция оборудования и передача данных; автоматизация операций и использование производственных данных; кадровая готовность и инвестиционные приоритеты цифровизации. Дополнительно выполнен анализ типовых организационных структур и технологических цепочек, характерных для средних и крупных

полиграфических предприятий.

Сложившаяся модель полиграфического производства представляет собой совокупность линейно организованных, слабо связанных между собой этапов, направленных на выполнение заказов с заданными параметрами качества, сроков и стоимости (рис.1). Управление строится преимущественно на линейно-функциональной структуре, разделяющей коммерческий, технологический и административно-хозяйственный блоки.

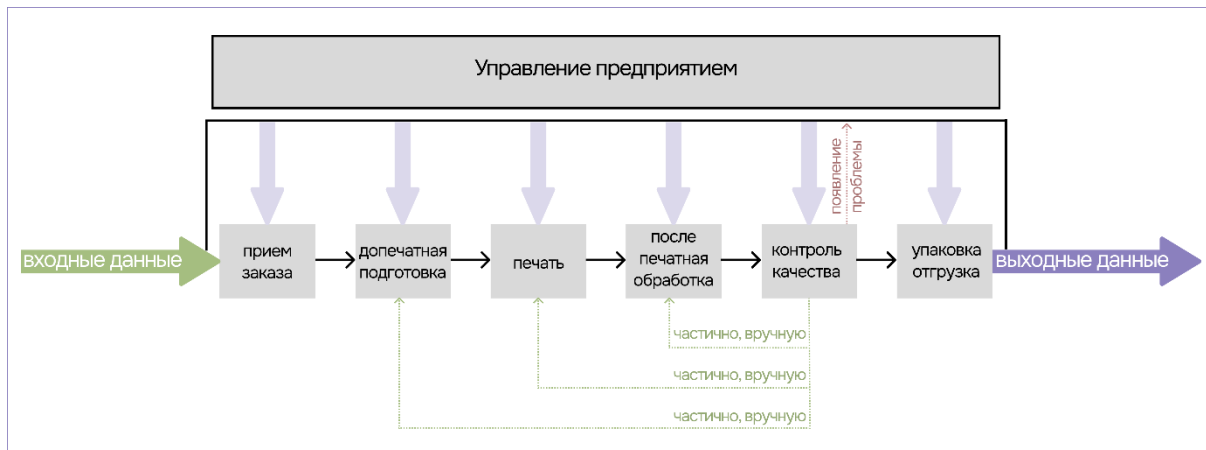


Рис. 1. Существующая модель полиграфического производства (линейный поток)

Планирование загрузки оборудования осуществляется на основе производственного плана, однако широко распространены ручные методы, а в случае возникновения отклонений (срочные заказы, внеплановые остановки) решения принимаются оперативно, зачастую интуитивно, без опоры на актуальные данные. Результаты опроса подтверждают (рис. 2), что в нестандартных ситуациях (сбой поставок, отсутствие материалов) управленческое решение принимает начальник смены или плановый отдел посредством голосовой связи в 80% случаев; лишь в 10% случаев система автоматически перераспределяет ресурсы.



Рис. 2. Распределение ответов на вопрос о принятии решений в нештатных ситуациях

Вход заказов осуществляется через менеджеров, взаимодействие с дизайнерами и технологами строится на электронной почте, мессенджерах и устных согласованиях. Это создаёт риски искажения данных, потери требований и увеличения длительности предпроизводственных циклов. Допечатная подготовка, несмотря на наличие регламентов, в значительной степени выполняется вручную, а цифровая верификация макетов применяется не системно. Как показал опрос, только 33% предприятий используют полноценные цифровые модели с учётом технологических ограничений; остальные либо ограничиваются визуализацией без учёта ограничений (44%), либо вовсе не используют цифровые модели (22%) (рис. 3).

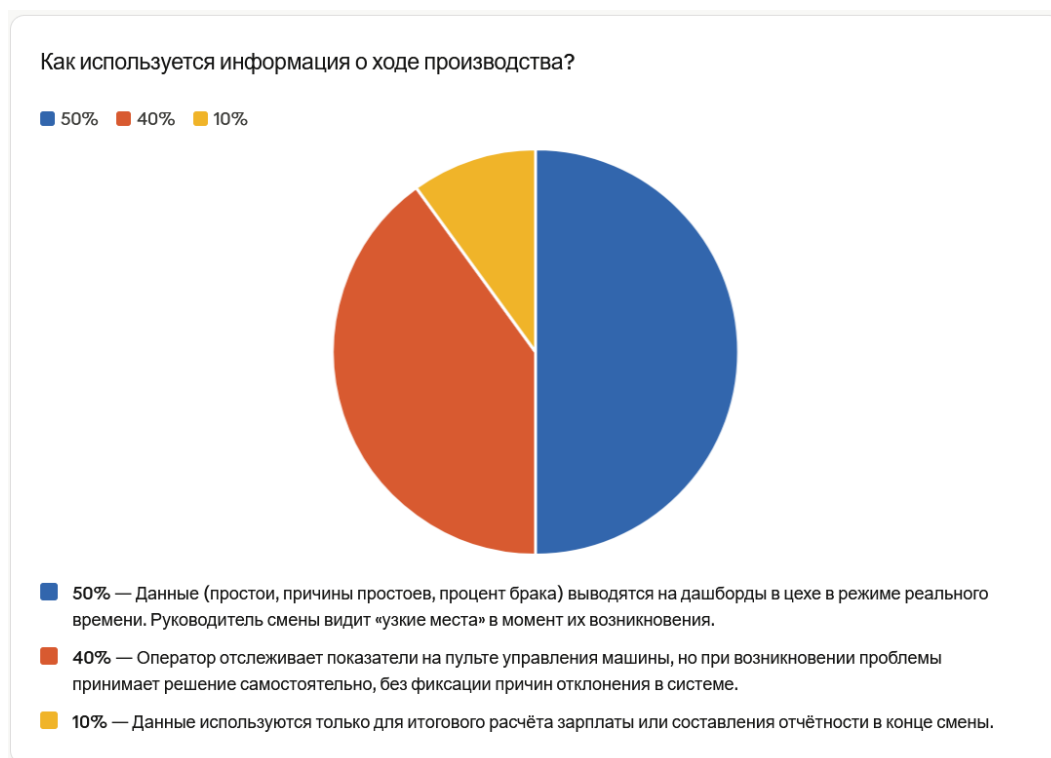


Рис. 3. Распределение ответов на вопрос об использовании цифровых моделей продукции

Настройка печатного оборудования требует участия операторов высокой квалификации: 60% респондентов применяют автоматическую приводку (CIP3/CIP4), но окончательное решение о запуске тиража остаётся за человеком; 40% предприятий выполняют настройку полностью вручную, затрачивая от 20 до 60 минут на каждую переналадку (рис. 4). Контроль качества осуществляется преимущественно визуально и инструментально, однако решения о корректировке параметров принимаются оператором на основе личного опыта.

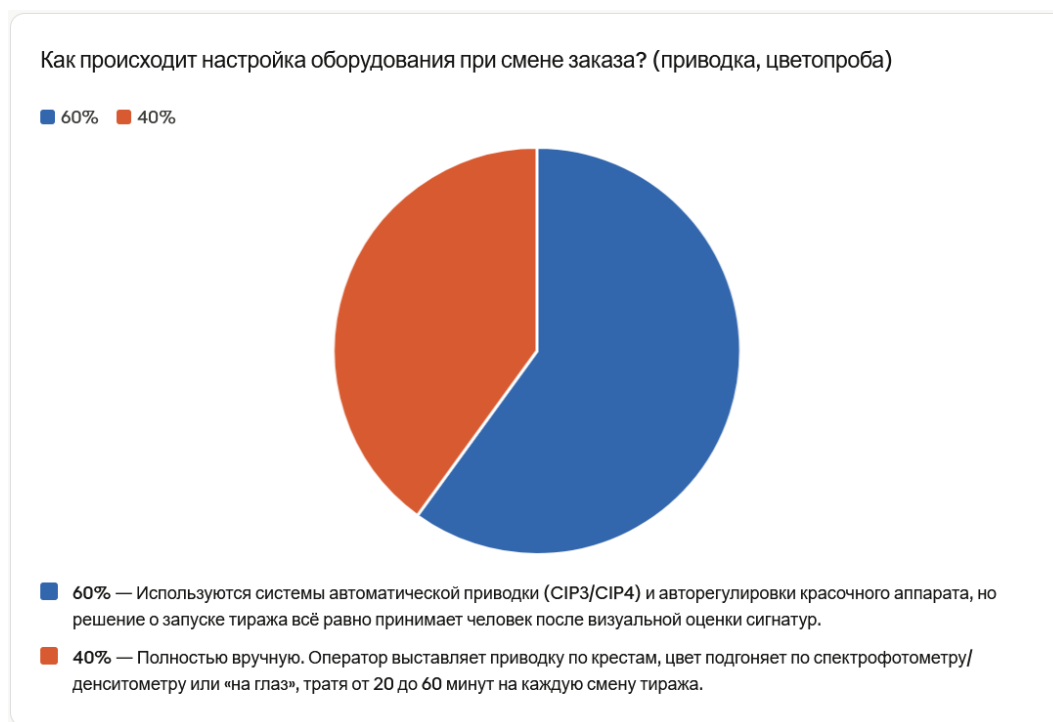


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос о настройке оборудования при смене заказа

Послепечатная обработка не всегда синхронизирована с печатными процессами: 60% предприятий указали на отсутствие какого-либо обмена данными между разнотипным оборудованием; 40% имеют лишь частичную датчиковую связь, не влияющую на работу смежного участка (рис. 5).

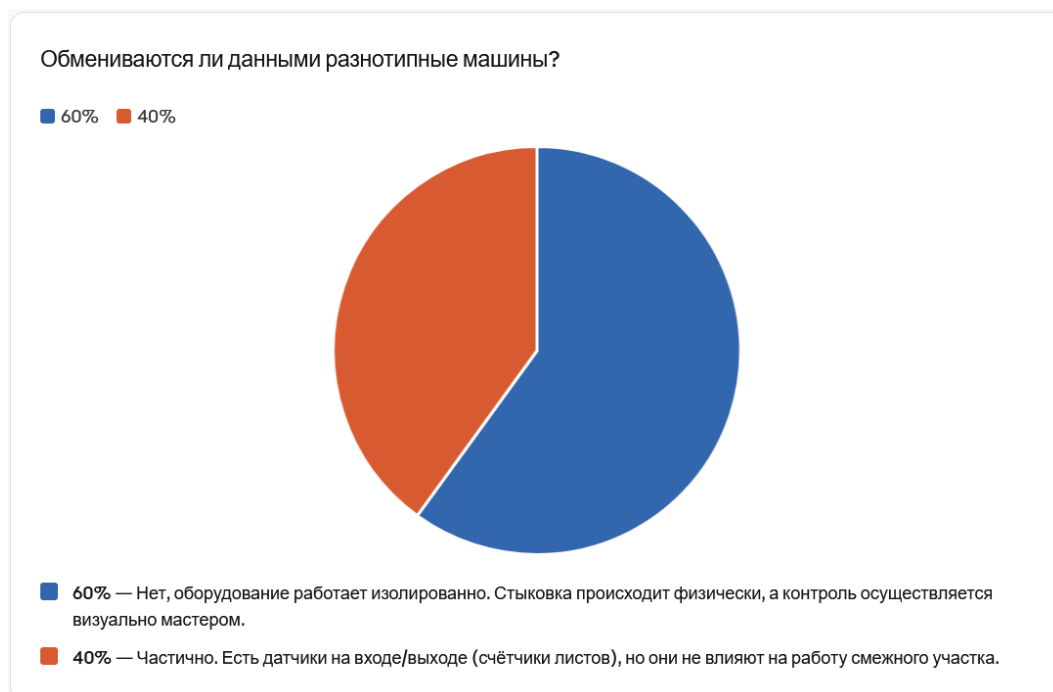


Рис. 5. Распределение ответов на вопрос об обмене данными между разнотипными машинами

Принцип «одного входа» (однократный ввод данных в ERP с последующей передачей в оборудование через JDF/CIP4) реализован на 50% предприятий. На 10% цепочка частично

автоматизирована, на 40% – полностью разорвана (рис. 6).

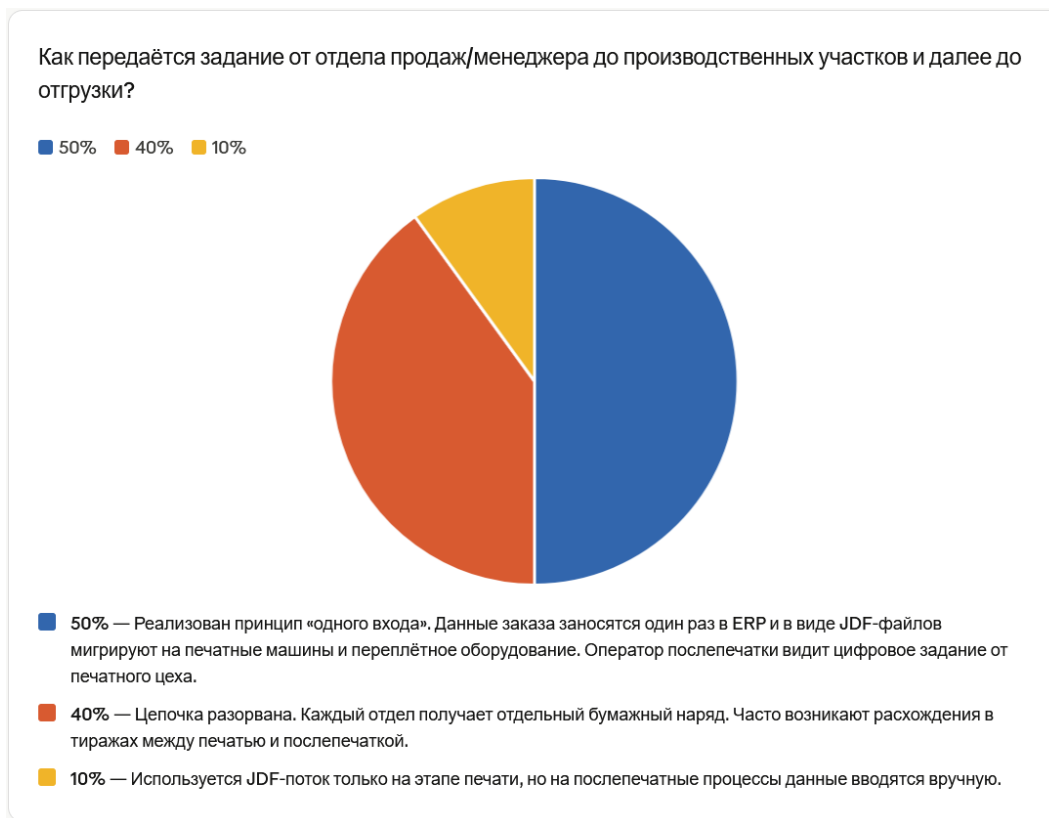


Рис. 6. Распределение ответов на вопрос о передаче задания от отдела продаж до производственных участков

На 70% предприятий данные фиксируются, но не автоматизированы; лишь 30% используют автоматическую корректировку параметров при повторном запуске. (рис 7.)

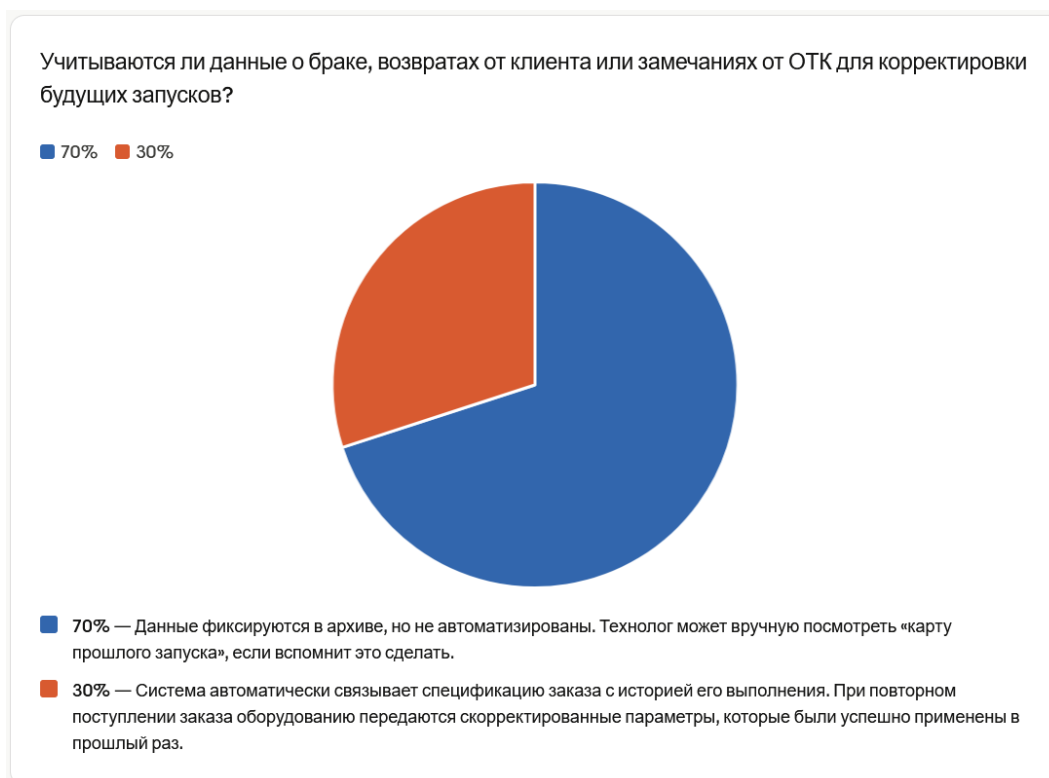


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос об учёте данных о браке и возвратах для корректировки будущих запусков

Половина предприятий используют данные в реальном времени; 40% отслеживают показатели, но не фиксируют причины отклонений; 10% используют данные только для итоговой отчётности. (рис. 8).

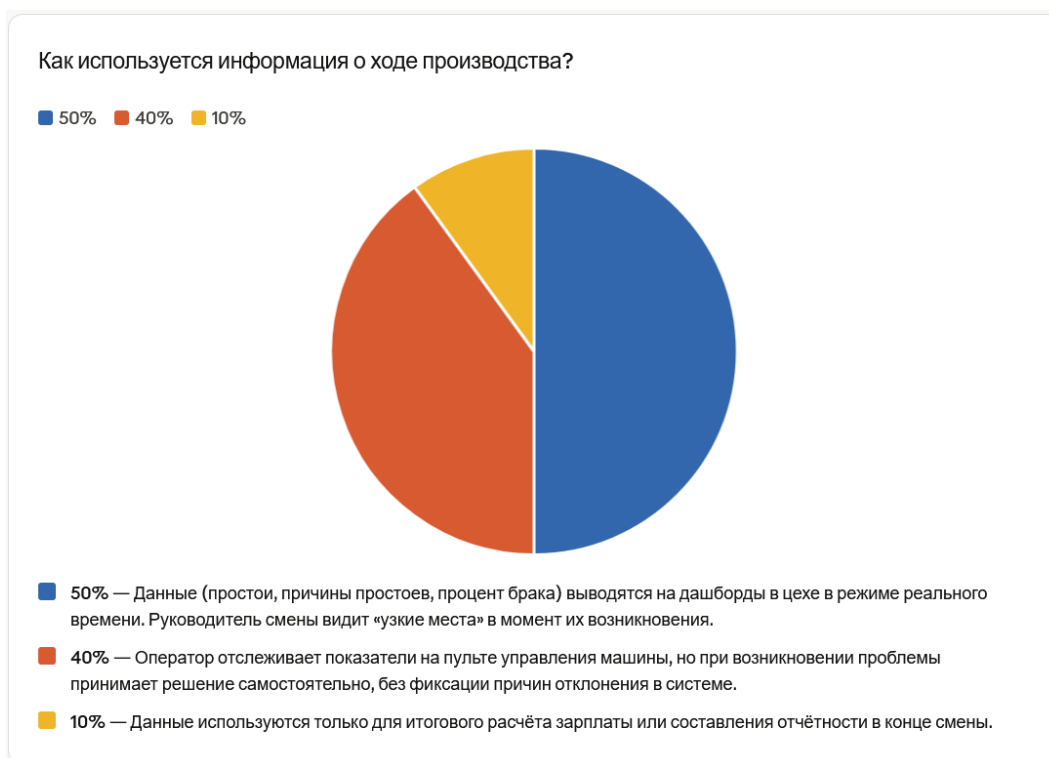


Рис. 8. Распределение ответов на вопрос об использовании информации о ходе производства

Контроль качества в существующей модели полиграфического производства осуществляется на различных этапах: входной контроль материалов, операционный контроль в процессе производства и выходной контроль готовой продукции. При этом используются как выборочные, так и сплошные методы контроля. Применяются разные методы контроля: инструментальные, органолептические, экспериментальные, экспертные и социальные. Форма реализации и уровень внедрения разных методов варьируется в зависимости от технического оснащения предприятия.

В целом, традиционная модель полиграфического производства характеризуется частичной автоматизацией, низкой связанностью процессов и высокой зависимостью от человеческого фактора. Это может вызвать вариативность выполнения операций, могут появляться «узкие места». Системное повышение эффективности может стать ограниченным. Данные особенности формируют предпосылки для поиска новых подходов к организации производства, основанных на более глубокой интеграции технологий и управлении данными.

Операторы в целом демонстрируют готовность к освоению новых интерфейсов (40% респондентов отметили этот фактор), однако отрасль испытывает острый дефицит IT-специалистов, способных обеспечивать интеграцию оборудования с управляющими системами. Сбалансированный штат с развитыми цифровыми компетенциями имеют 40% предприятий; на 20% предприятий персонал настроен настроенно или негативно (рис. 9).

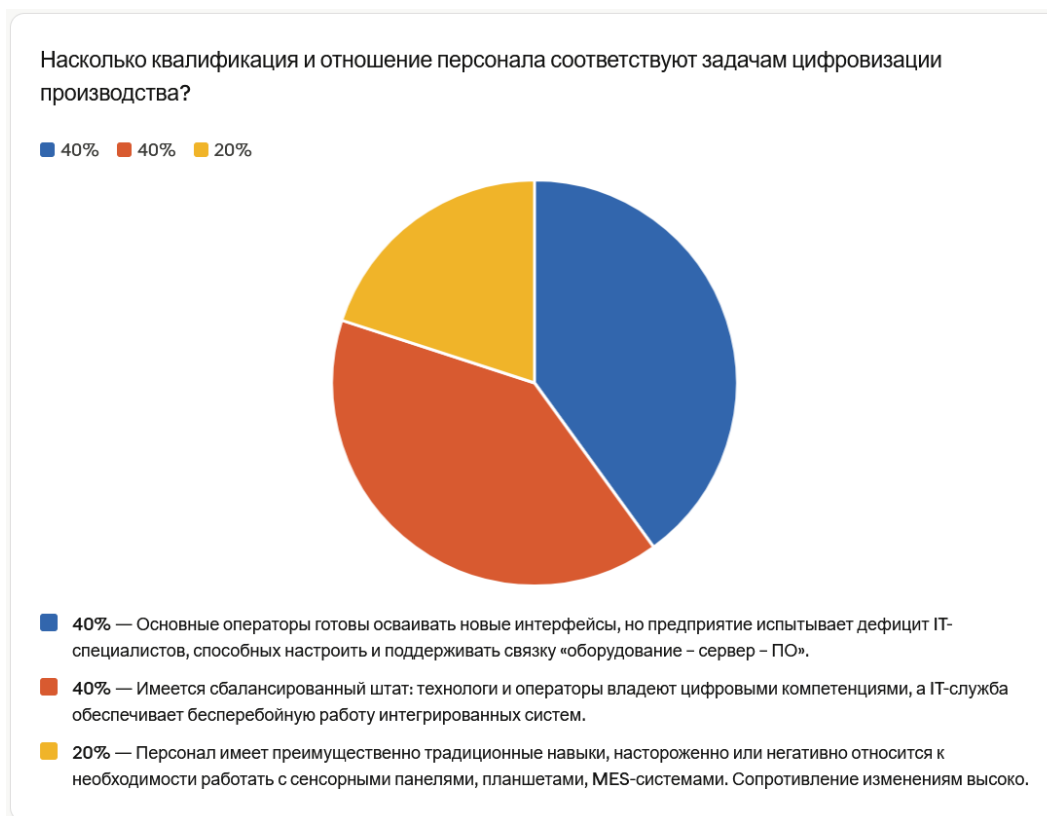


Рис. 9. Распределение ответов на вопрос о квалификации и отношении персонала к цифровизации

Цифровизация рассматривается как стратегический приоритет с оценкой ROI на 40% предприятий. В то же время 40% респондентов готовы инвестировать в оборудование с цифровыми функциями, но выделение бюджетов на MES-системы, аналитические платформы и обучение персонала происходит по остаточному принципу. На 10 % предприятий руководство не видит экономической целесообразности в сборе данных и автоматизации (рис. 10).

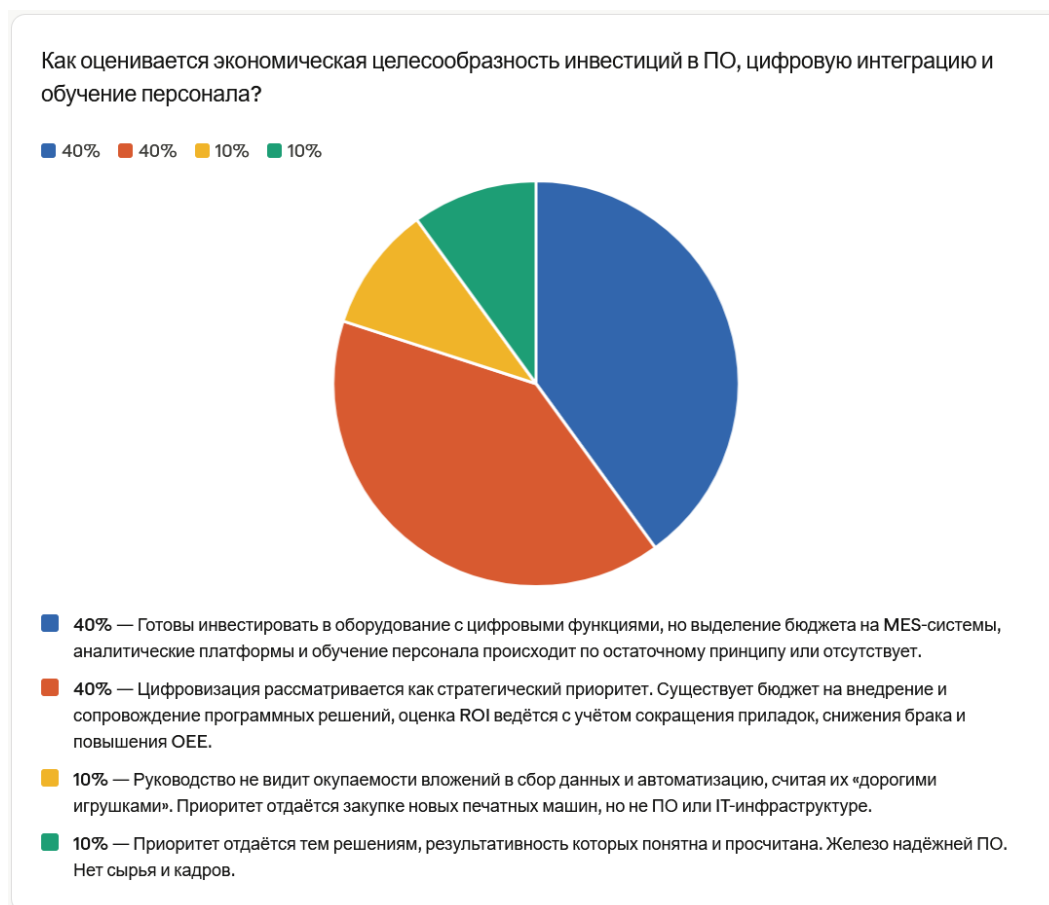


Рис. 10. Распределение ответов на вопрос об оценке экономической целесообразности инвестиций

Проведённое исследование позволяет констатировать, что полиграфическая отрасль находится в состоянии неравномерной и незавершённой цифровизации. Полученные количественные данные могут быть интерпретированы через призму критериев цифровой зрелости, выделяемых в рамках концепции Индустрии 4.0 [1]. Согласно классическим моделям (например, модель ACATECH или «лестница Индустрии 4.0»), переход к «умному производству» предполагает последовательное прохождение уровней: компьютеризация - связанность - видимость - прозрачность - возможность прогнозирования - адаптивность [2].

Результаты опроса показывают, что большинство предприятий находятся на начальных уровнях: фрагментарная компьютеризация (50% используют принцип «одного входа», но лишь 10% имеют замкнутый контур управления), низкая связанность (60% не имеют обмена данными между разнотипным оборудованием), недостаточная прозрачность (только 50% используют данные в реальном времени). Предиктивное управление и адаптивность реализованы лишь в единичных случаях (менее 10% по ряду параметров). Таким образом, выявленные системные ограничения – фрагментарность автоматизации, разрозненность данных, высокая зависимость от человеческого фактора, отсутствие замкнутого контура управления – полностью соответствуют типичным барьерам, которые препятствуют переходу к зрелой модели Индустрии 4.0 [3].

Системные ограничения существующей модели проявляются в следующих аспектах:

- фрагментарность автоматизации – отдельные операции автоматизированы, но процессы не интегрированы в единое цифровое пространство;
- разрозненность данных – информация о заказах, состоянии оборудования, качестве и браке не консолидируется и не используется для предиктивного управления;
- высокая зависимость от человеческого фактора – ключевые решения (переналадка, обработка отклонений, контроль качества) принимаются на основе опыта, а не данных;
- отсутствие замкнутого контура управления – накопленный опыт не возвращается в производственную систему в виде корректирующих воздействий.

Лишь незначительная часть предприятий (менее 30%) приближается к модели Индустрии 4.0,

характеризующейся сквозным потоком данных, интегрированными системами управления и предиктивным обслуживанием. Для большинства же характерна реактивная модель управления с низкой связанностью процессов.

Актуальность применения концепции Индустрии 4.0 в полиграфическом производстве обусловлена не столько технологической отсталостью, сколько системной неэффективностью существующей модели управления, которая не позволяет в полной мере использовать потенциал современного оборудования и накопленных данных. Переход к кибер-физической организации производства требует не только дооснащения, но и перестройки архитектуры управления, внедрения MES-систем, формирования единого информационного пространства и развития цифровых компетенций персонала [1, 4, 5].

На рис. 11 представлена перспективная модель полиграфического производства, построенная на принципах Индустрии 4.0. В отличие от линейной модели, здесь реализуется замкнутый контур управления: данные с датчиков оборудования, систем контроля качества и производственных систем в реальном времени поступают в центральную аналитическую платформу. На основе машинного обучения и предиктивной аналитики система формирует рекомендации по оптимизации параметров печати, автоматической переналадке, управлению запасами и предиктивному обслуживанию. Интеграция ERP, MES и SCADA-систем обеспечивает сквозную прослеживаемость заказа от приёмки до отгрузки, а цифровые двойники позволяют моделировать выполнение заказа до запуска в производство, минимизируя риски брака и простоев.

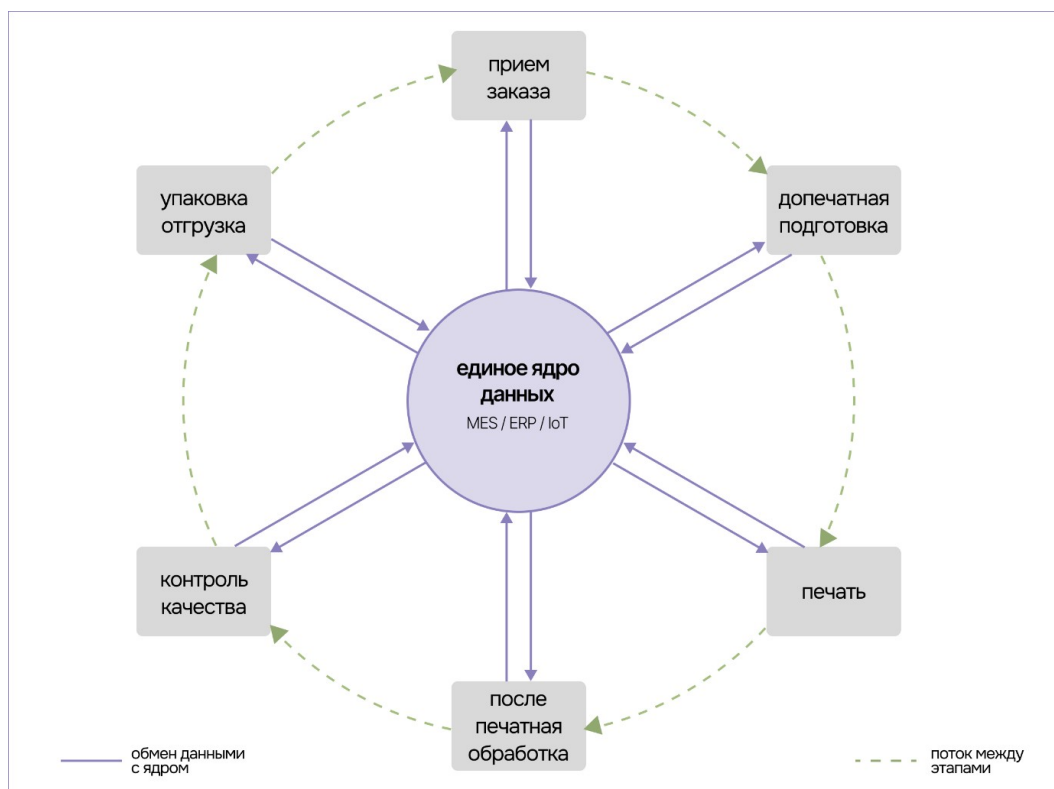


Рис. 11. Перспективная модель полиграфического производства на принципах Индустрии 4.0

Для практической реализации такого перехода предприятиям рекомендуется последовательно пройти следующие этапы:

- **аудит и диагностика** — оценка текущего уровня цифровой зрелости по трём направлениям (интеграция оборудования, автоматизация, компетенции) с выявлением «узких мест»;
- **стандартизация и интеграция** — обеспечение взаимодействия разнородного оборудования через открытые протоколы (JDF/CIP4, OPC-UA), создание единого информационного пространства;
- **масштабирование** — развёртывание MES-систем, аналитических платформ, систем предиктивного обслуживания, цифровых двойников;
- **организационные изменения** — формирование команды цифровой трансформации, обучение персонала, переход к управлению на основе данных.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку методических подходов к оценке готовности предприятий, формирование типовых архитектур «умного производства» для полиграфии и обоснование экономической эффективности таких переходов. Особого внимания заслуживают вопросы адаптации существующих стандартов Индустрии 4.0 к специфике полиграфического производства, а также создание отраслевых бенчмарков для сравнительного анализа цифровой зрелости. Перспективным направлением является разработка методик расчёта возврата инвестиций (ROI) с учётом нематериальных факторов: повышение гибкости, улучшение управляемости, снижение зависимости от человеческого фактора. Кроме того, необходимы исследования в области кибербезопасности полиграфических предприятий, интегрированных в цифровую экосистему, и нормативно-правового регулирования использования производственных данных.

### Список литературы

1. Балашов А. М., «Индустрия 4.0» в России: внедрение технологий, проблемы и пути развития промышленности // Теоретическая экономика. 2025. №10. С. 46-59. URL: <https://theoreticaleconomy.ru/ru/nauka/article/111730/view> (дата обращения: 06.04.2026)
2. Ahsan M. N., Islam M. D. S., Bappy M. M. Generative modeling in smart manufacturing: Applications, challenges, and future directions // *Manufacturing Letters*. 2025. V.44. P. 1285–1295. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213846325001804> (дата обращения: 06.04.2026)
3. Тарасов И. В., Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития // *Стратегия бизнеса*. 2018. №5 (50). С. 57-63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya/viewer> (дата обращения: 06.04.2026)
4. Фомина А. В., Мухин К. Ю., Индустрия 4.0. Основные понятия, преимущества и проблемы // *Экономический вектор*. 2018. №3 (14) С. 33-38. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-osnovnye-ponyatiya-preimuschestva-i-problemy/viewer> (дата обращения: 06.04.2026)
5. *Stuttgart Media University, Stuttgart, Germany, Hoffmann-Walbeck T. Smart factory: Jdf and XJdf // Journal of Graphic Engineering and Design*. 2018. № 1 (9). P. 5–9. URL: <http://jged.uns.ac.rs/index.php/jged/article/view/491/1312> (дата обращения: 06.04.2026)

### References

1. Balashov A.M., «Industriya 4.0» v Rossii: vnedrenie tekhnologij, problemy i puti razvitiya promyshlennosti. URL: <https://theoreticaleconomy.ru/ru/nauka/article/111730/view> ["Industry 4.0" in Russia: technology introduction, problems and ways of industrial development] // *Theoretical economics*. 2025. No 10. P. 46-59. (date accessed: 06.04.2026)
2. Ahsan M. N., Islam M. D. S., Bappy M. M. Generative modeling in smart manufacturing: Applications, challenges, and future directions // *Manufacturing Letters*. 2025. V. 44. P. 1285–1295. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213846325001804> (date accessed: 06.04.2026)
3. Tarasov I. V., Industriya 4.0: ponyatie, kontseptsii, tendentsii razvitiya. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya/viewer> [Industry 4.0: concept, concepts, development trends] // *Business strategy*. 2018. No 5 (50). P. 57-63. (date accessed: 06.04.2026)
4. Fomina A.V., Mukhin K. Yu., Industriya 4.0. Osnovnye ponyatiya, preimuschestva i problemy [Industry 4.0. Basic concepts, advantages and problems] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-osnovnye-ponyatiya-preimuschestva-i-problemy/viewer> // *The economic vector*. 2018. No 3 (14) P. 33-38. (date accessed: 06.04.2026)
4. *Stuttgart Media University, Stuttgart, Germany, Hoffmann-Walbeck T. Smart factory: Jdf and XJdf // Journal of Graphic Engineering and Design*. 2018. No 1 (9). P. 5–9. URL: <http://jged.uns.ac.rs/index.php/jged/article/view/491/1312> (date accessed: 06.04.2026)

УДК 655.1:655.027

**А.О. Орлова, А.С. Пиляева, И.Г. Груздева**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**АНАЛИЗ ПЕЧАТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ МЕЛОВАННЫХ БУМАГ**

© А.О. Орлова, А.С. Пиляева, И.Г. Груздева, 2026

*Статья посвящена анализу важнейших печатно-технических характеристик современных мелованных бумаг, предлагаемых на полиграфическом рынке Северо-Западного региона, в частности Санкт-Петербурга. Результаты проведенного входного контроля могут быть использованы менеджерами по приему заказов в различных типографиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области, производящих полиграфическую продукцию способом офсетной печати.*

**Ключевые слова:** мелованная бумага, полиграфический рынок, офсетная печать, характеристики бумаги, входной контроль, практические рекомендации.

**A.O. Orlova, A.S. Pilyaeva, I.G. Gruzdeva**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**ANALYSIS OF PRINTING AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MODERN COATED PAPERS**

*The article is devoted to the analysis of the most important printing and technical characteristics of modern coated papers offered on the printing market of the North-Western region, in particular St. Petersburg. The results of the conducted input control can be used by printing managers in various printing houses of St. Petersburg and the Leningrad region, producing printing products by the method of offset printing.*

**Keywords:** coated paper, printing market, offset printing, paper characteristics, input control, practical recommendations.

Мелованные бумаги (бумаги с покрытием) занимают особое место среди материалов, используемых при печати высококачественной полиграфической продукции. Предварительный анализ показывает, что на данный момент на рынке представлено сравнительно не большое количество производителей мелованных бумаг из-за прекращения поставок из Европы. Объем знакомых типографиям и доступных материалов существенно сократился. Основными поставщиками материалов остаются отечественные производители (АО «Группа «Илим», ООО «Кама»), а также зарубежные компании, в основном, китайские, которые постоянно расширяют свой ассортимент.

Анализируя рынок мелованных бумаг, можно увидеть, с одной стороны, большое разнообразие материалов, а с другой – их схожесть по основным характеристикам. Кроме этого, среди мелованных бумаг китайского производства наблюдается большая вариативность бумаг по различным характеристикам в среднем диапазоне масс  $1 \text{ м}^2$ . Это приводит к тому, что в некоторых случаях типографии выбирают бумаги с меньшей массой  $1 \text{ м}^2$ , чем нужно заказчику, с целью экономии, предполагая, что по другим характеристикам, например, толщине и пухлости, отличие будет минимальным, что совсем не обязательно. Таким образом, появляется необходимость в проведении сравнительного анализа материалов, так как технические показатели самой мелованной бумаги напрямую влияют на результат печати и качество готовой продукции, определяя яркость, четкость и контрастность изображений.

Необходимым этапом производственного процесса, который позволяет выявлять несоответствия реальных и заявленных характеристик материалов на ранних стадиях производства, предотвращая выпуск некачественной продукции, является входной контроль.

Входной контроль включает проверку поступающих на предприятие материалов (бумаги, краски и т.д.), полуфабрикатов и комплектующих изделий на предмет их соответствия стандартам, техническим условиям, на целостность упаковки и срок годности, а также по параметрам, влияющим на выполнение технологического процесса [1]. На стадии подготовки бумаги необходимо проверить такие показатели как: масса  $1 \text{ м}^2$ , толщина, плотность/пухлость, гладкость. При необходимости контролируют механические свойства бумаги: разрывное усилие и растяжимость перед разрывом, линейную деформацию при увлажнении и высушивании. Проверяют также свойства бумаги, проявляющиеся при ее взаимодействии с

жидкостями: впитываемость по ксилолу, Кобб-тест, скручивание при одностороннем смачивании и т.д.

Целью входного контроля является предотвращение использования некачественных материалов, которые могут привести к браку готовой продукции, увеличению затрат на производство и снижению конкурентоспособности предприятия. Поэтому входной контроль должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную точность и объективность оценки качества материалов [2].

В данной работе исследуются мелованные бумаги, предлагаемые на рынке Северо-Западного региона ведущими компаниями-поставщиками: «Берег», «Европапир» и «Петробумага». Для исследования выбрана линейка из 18 бумаг двух- и трехкратного мелования (матовых и глянцевых): Омела (АО «Группа «Илим», Россия), Snow Eagle (Chenming Group, Китай), Golden Star (APP, Китай) с массой 1 м<sup>2</sup> в диапазоне от 105 до 170 г/м<sup>2</sup>. Выбор диапазона массы 1 м<sup>2</sup> обусловлен наибольшей востребованностью со стороны типографий. «Тяжелые» бумаги (200-300 г/м<sup>2</sup>) представлены в малых объемах из-за низкого спроса, так как чаще всего они идут на изготовление обложек, открыток или буклетов, поэтому в работе не рассматриваются.

В таблице 1 показаны основные характеристики исследуемых бумаг по данным поставщиков.

Таблица 1. Характеристики бумаг по данным поставщиков

Бумага	Масса, г/м <sup>2</sup>	Толщина, ISO 534, мкм	Пухлость, см <sup>3</sup> /г	Шероховатость, ISO 8791-4, мкм
Омела глянцевая	105	78	0.74	1
Snow Eagle глянцевая	105	84	0.79	≤1.2
Golden Star глянцевая	105	84	—	1.4
Омела глянцевая	130	102	0.78	1
Snow Eagle глянцевая	120	95	0.79	≤1.2
Golden Star глянцевая	120	96	—	1.4
Омела глянцевая	170	150	0.88	1
Snow Eagle глянцевая	157	136	0.87	≤1.2
Golden Star глянцевая	157	134	—	1.4
Омела матовая	105	90	0.86	2
Snow Eagle матовая	105	95	0.91	≤2.5
Golden Star матовая	105	90	—	≤2.7
Омела матовая	130	117	0.9	2
Snow Eagle матовая	120	106	0.88	≤2.5
Golden Star матовая	120	104	—	≤2.7
Омела матовая	170	163	0.96	2
Snow Eagle матовая	157	152	0.97	≤2.5
Golden Star матовая	157	147	—	≤2.5

Анализируя характеристики бумаги, предоставленные поставщиками, следует отметить, в первую очередь, различие в толщине у бумаг с массой 120/130 г/м<sup>2</sup> и 157/170 г/м<sup>2</sup> при почти одинаковой пухлости. При этом толщина бумаги 105 г/м<sup>2</sup> китайского производителя больше, чем отечественного. Бумаги китайского производства отличаются большей шероховатостью (меньшей гладкостью), в сравнении с отечественной Омелой. Измерения значений массы и толщины, а также расчет пухлости показали, что

максимальное отклонение по массе (+6 г/м<sup>2</sup>) имеет бумага Snow Eagle глянцевая 157 г/м<sup>2</sup>, а по толщине – Омела матовая 170 г/м<sup>2</sup> (+12 мкм), что ожидаемо отразилось на показателе их пухлости (в сторону уменьшения у Snow Eagle и в сторону существенного увеличения у Омелы – на 7 единиц).

Как известно, значения шероховатости по Паркеру (табл.1, производители) и полученные авторами значения гладкости по Бекку (с) не имеют корреляционной зависимости. Тем не менее, можно отметить некоторые качественные тенденции: например, глянцевые бумаги всех производителей имеют очень высокую гладкость по Бекку (670-930 с), и в табл.1 шероховатость не превышает 1,2 мкм, что является очень хорошим результатом. Гладкость матовых бумаг существенно ниже (в среднем, в 2,5-3 раза). Следует отметить, что Омела матовая 105 г/м<sup>2</sup> и 130 г/м<sup>2</sup> демонстрирует более высокие показатели гладкости, по сравнению с бумагами китайских производителей: для сравнения: Омела матовая 105 г/м<sup>2</sup> – 480 с, Snow Eagle матовая 105 г/м<sup>2</sup> – 250 с. «Тяжелая» Омела 170 г/м<sup>2</sup>, к сожалению, «выпала из ряда», продемонстрировав самые низкие показатели гладкости, связанные, по-видимому, с особенностями мелованного покрытия, что подтвердили и приведенные ниже результаты других экспериментов.

Механические испытания (определение разрывного усилия и растяжения перед разрывом), выполненные в соответствии с ГОСТ [3], не показали существенных различий в поведении бумаг при растяжении. Все бумаги продемонстрировали высокую прочность и незначительную растяжимость (например, максимальное удлинение в поперечном направлении для тонких бумаг не превышало 5%). Более интересные данные получены в результате расчета коэффициента анизотропии, который, как известно, стандартами не учитывается, но является важным практическим показателем при работе на листовых печатных машинах. На практике считается, что оптимальный коэффициент не должен превышать 3-х единиц. Расчеты показали, что бумаги Golden Star (за исключением глянцевых сортов 105 и 120 г/м<sup>2</sup>) различаются по прочности в машинном и поперечном направлении более, чем в 3 раза (от 3,38 до 4,17), в то время как Омела и Snow Eagle имеют более равномерную прочность (коэффициент анизотропии 1,52-1,88).

В процессе офсетной печати бумаги так или иначе контактируют с увлажняющим раствором, поэтому представляла интерес оценка их поведения при испытании на скручивание при одностороннем смачивании и величина линейной деформации при увлажнении и высушивании. Даже при простом погружении образцов в дистиллированную воду была заметна разница: бумаги китайских производителей намокают неравномерно, начиная с краев, с пятнами и точками, на поверхности появляются пузыри (рис.1.). Особенно сильно это проявлялось у бумаг Snow Eagle матовая 157 г/м<sup>2</sup> (крупные пузыри, лопающиеся на поверхности) и Golden Star матовая 157 г/м<sup>2</sup> (разрушение покрытия, флотация отдельных частиц). Величина относительной деформации при увлажнении в поперечном направлении (критический параметр!) у большинства исследованных бумаг не превышала 3%. У отмеченной выше бумаги Golden Star матовая 157 г/м<sup>2</sup> деформация составила почти 4%, а бумага Golden Star матовая 105 г/м<sup>2</sup> показала 6,7-6,9%, что неизбежно вызовет проблемы с приводкой.



Рис. 1. Кювета с образцами бумаги Snow Eagle матовая 157 г/м<sup>2</sup> Кобб-тест и испытания на скручивание при одностороннем смачивании, хотя и не

предусматриваются стандартами для мелованных бумаг, позволяют получить дополнительную информацию о поведении бумаги при контакте с водой. При стандартном испытании на Кобб<sub>60</sub> [4] все бумаги, даже легкие, попали в допустимый диапазон, и только Golden Star матовая 157 г/м<sup>2</sup> вышла за его пределы (более 60 г/м<sup>2</sup>). При этом китайские бумаги демонстрировали неравномерное намокание и, как следствие, коробление в процессе обработки результатов. При испытании на скручивание при одностороннем смачивании все исследованные бумаги показали сопоставимые результаты, но следует отметить, что глянцевые Snow Eagle и Golden Star во всем диапазоне масс 1м<sup>2</sup> промокают насквозь, в то время как Омела (и глянцевая, и матовая) этого недостатка не имеет.

Проведенный анализ результатов испытаний позволил составить обобщенную таблицу 2, в которой знаком «+» обозначены параметры, входящие в область допустимых значений для всех исследованных бумаг.

Таблица 2. Обобщенные результаты проведенных испытаний

Бумага	Масса	Толщина	Гладкость	Мех. св-ва	Лин. деф-я	Кобб <sub>60</sub> и скруч-е
Омела гляnc., 105 г/м <sup>2</sup>	+	+	+	+	+	+
Snow Eagle гл., 105 г/м <sup>2</sup>	+		+		+	
Golden Star гл., 105 г/м <sup>2</sup>	+		+			
Омела мат., 105 г/м <sup>2</sup>	+		+	+	+	+
Snow Eagle мат., 105 г/м <sup>2</sup>	+				+	
Golden Star мат., 105 г/м <sup>2</sup>	+					
Омела гляnc., 130 г/м <sup>2</sup>		+	+	+	+	+
Snow Eagle гл., 120 г/м <sup>2</sup>	+	+	+		+	
Golden Star гл., 120 г/м <sup>2</sup>	+		+		+	
Омела мат., 130 г/м <sup>2</sup>		+	+	+	+	+
Snow Eagle мат., 120 г/м <sup>2</sup>	+					
Golden Star мат., 120 г/м <sup>2</sup>	+		+	+	+	+
Омела гляnc., 170 г/м <sup>2</sup>	+		+	+	+	+
Snow Eagle гл., 157 г/м <sup>2</sup>	+		+	+	+	+
Golden Star гл., 157 г/м <sup>2</sup>		+	+			
Омела мат., 170 г/м <sup>2</sup>				+	+	+
Snow Eagle мат., 157 г/м <sup>2</sup>	+	+		+	+	
Golden Star мат., 157 г/м <sup>2</sup>		+	+			

Обобщая полученные данные, можно сделать краткие выводы и предложить практические рекомендации по использованию исследованных бумаг в офсетной печати.

– При входном контроле не было выявлено отклонений массы 1 м<sup>2</sup> в меньшую сторону от заявленной, отклонения в большую сторону наблюдалось у бумаг с массой более 130 г/м<sup>2</sup>.

– Однако, при этом наблюдаются значительные отклонения по толщине в обе стороны. Бумага Омела имеет отклонения от заявленной толщины в пределах от 2 до 12 мкм. Рекомендуется проверять толщину бумаги Омела для каждой партии. Бумага Snow Eagle имеет расхождение с заявленной толщиной до 5 мкм в меньшую сторону, то есть реальная толщина меньше заявленной, что стоит учитывать при расчете корешков в книжно-журнальной продукции. Бумага Golden Star имеет отклонение в толщине от 1 до 6 мкм в обе стороны, в связи с этим также рекомендуется проводить входной контроль по этому параметру.

– Анализируя значения толщины и пухлости, можно сделать однозначный вывод, что бумаги,

позиционирующиеся производителем как «пухлые» и взаимозаменяемые, таковыми не являются. Следовательно, не рекомендуется брать вместо бумаги 130 г/м<sup>2</sup>, бумагу 120 г/м<sup>2</sup>, а вместо 170 г/м<sup>2</sup> – бумагу 157 г/м<sup>2</sup>, так как при одинаковых значениях пухлости они имеют разную толщину.

– Бумага Омела имеет более равномерную прочность в машинном и поперечном направлении: у нее наименьший коэффициент анизотропии. Китайская Golden Star по прочности может иметь различие более, чем в 3 раза, т.е. в поперечном направлении может быть склонна к разрыву, надрыву, короблению, растрескиванию при фальцовке. При испытаниях на воздействие влаги следует отметить, что показатели впитываемости по Кобб<sub>60</sub> находятся в пределах нормы почти для всех бумаг. Однако, Омела имеет меньшие показатели по впитываемости и меньше деформируется при увлажнении и высыхании, что особенно заметно на бумагах 130 и 170 г/м<sup>2</sup>. Данную бумагу можно рекомендовать для полноцветной офсетной печати книжно-журнальной продукции, так как взаимодействие с увлажняющим раствором не будет оказывать на нее негативного влияния, а малый коэффициент анизотропии обеспечит прочность готовому изданию. Бумага Snow Eagle наименее гладкая из всех рассмотренных и значительно больше впитывает влагу, но при этом значения линейной деформации при увлажнении находятся в пределах нормы. Эту бумагу можно рекомендовать для полноцветной цифровой печати, где нет контакта с увлажняющим раствором. Несмотря на то, что бумага Golden Star показала себя как самая гладкая, она имеет наихудшие показатели при взаимодействии с влагой, в процессе испытаний у нее наблюдалось «вспучивание» и разрушение покрытия, что может приводить к срыву мелованного слоя при печати. Кроме этого, она имеет наибольший коэффициент анизотропии, что может влиять на качество поперечной фальцовки. Рекомендуется учитывать направление волокна при изготовлении книжно-журнальной продукции. Линейная деформация при увлажнении у Golden Star значительно превышает норму по поперечному направлению. Это может влиять на изменение размера материала при офсетной печати, а также ухудшать механические свойства бумаги.

### Список литературы

1. Входной контроль [Электронный ресурс] // StudWood — электрон. дан. — Россия. — Режим доступа: [https://studwood.net/1918151/tovarovedenie/vhodnoy\\_kontrol#690](https://studwood.net/1918151/tovarovedenie/vhodnoy_kontrol#690), свободный. Загл. с экрана. — Яз. рус
2. Входной контроль качества [Электронный ресурс] // Дзен — электрон. дан. — Россия, 2022. — Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YvUE4vK83h47aEZF>, свободный. Загл. с экрана. — Яз. рус.
3. ГОСТ ИСО 1924 – 1 - 96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью, Минск: Издательство стандартов, 2000, 8 с.
4. ГОСТ 12605-97 (ИСО 535-91) Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при односторонней смачиваемости (метод Кобба), Минск: Издательство стандартов, 2001, 8 с.

### References

1. Vhodnoj kontrol' [Elektronnyj resurs] // StudWood — elektron. dan. — Rossiya. — Rezhim dostupa: [https://studwood.net/1918151/tovarovedenie/vhodnoy\\_kontrol#690](https://studwood.net/1918151/tovarovedenie/vhodnoy_kontrol#690), svobodnyj. Zagl. s ekrana. — Yaz. rus
2. Vhodnoj kontrol' kachestva [Elektronnyj resurs] // Dzen — elektron. dan. — Rossiya, 2022. — Rezhim dostupa: <https://dzen.ru/a/YvUE4vK83h47aEZF>, svobodnyj. Zagl. s ekrana. — Yaz. rus.
3. GOST ISO 1924 – 1 - 96. Bumaga i karton. Opredelenie prochnosti pri rastyazhenii. Chast' 1. Metod nagruzheniya s postoyannoju skorost'ju, Minsk: Izdatel'stvo standartov, 2000, 8 s.
4. GOST 12605-97 (ISO 535-91) Bumaga i karton. Metod opredeleniya poverhnostnoj vpityvaemosti vody pri odnostoronnej smachivaemosti (metod Kobba), Minsk: Izdatel'stvo standartov, 2001, 8 s.

УДК 655.3.062

**Ю. Ц. Юндунова, В.А. Дживан**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **РАЗРАБОТКА МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭСТЕТИЧЕСКИХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНТЕРАКТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ**

© Ю.Ц. Юндунова, В.А. Дживан, 2026

*В последние годы наблюдается снижение интереса к печатным учебникам, что объясняется широким доступом к интерактивным цифровым ресурсам, избытком визуального контента и привычкой к быстрому восприятию мультимедийного контента. В связи с этим есть необходимость стимулирования интереса обучающихся к печатной учебной продукции за счёт интеграции интерактивных элементов и оптимизации полиграфических процессов. Результаты исследования могут стать основой практических рекомендаций для издателей, направленных на улучшение качества продукции и повышение вовлеченности обучающихся.*

**Ключевые слова:** модель качества, печатная учебная продукция, интерактивные элементы, полиграфия

**J. Ts. Yundunova, V. A. Dzhivan**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **DEVELOPMENT OF A QUALITY MODEL FOR PRINTED EDUCATIONAL MATERIALS**

*Over recent years, interest in printed textbooks has declined due to the widespread availability of interactive digital resources, visual overload, and students' habit of rapidly consuming multimedia content. In this context, there is a need to increase the effectiveness of printed educational materials by integrating interactive elements and optimizing printing processes. The recommendations developed in this study apply to every stage of the printing production process and aim to improve the appearance and usability of printed educational materials. The results of the study can serve as a basis for practical guidelines for publishers aimed at enhancing product quality and increasing students' interest in the material.*

**Keywords:** quality model, printed educational materials, interactive elements, printing

В последние годы наблюдается снижение интереса к печатным учебникам, что связано с распространением интерактивных цифровых ресурсов, избытком визуальной информации и быстрым восприятием мультимедийного контента [1]. В этих условиях традиционные печатные издания нередко уступают цифровым форматам по уровню вовлеченности и удобству восприятия. При этом печатная учебная продукция продолжает оставаться значимым элементом образовательного процесса, что обуславливает необходимость её адаптации к современным требованиям пользователей.

Эффективность печатных учебников, под которой понимается улучшение восприятия материала и вовлеченности обучающихся, может быть повышена путём комплексного совершенствования их содержания, визуального оформления и полиграфического исполнения. Особое значение в этом процессе приобретает внедрение интерактивных элементов и оптимизация технологических решений на всех стадиях производства – от разработки оригинал-макета до послепечатной обработки. Необходимый системный подход должен объединять учёт технологических возможностей и анализ восприятия продукции конечным потребителем.

Вместе с тем любые решения, направленные на совершенствование печатных учебников, должны соответствовать действующим нормативным требованиям. Основные из них закреплены в санитарных правилах и технических регламентах и ориентированы на обеспечение удобочитаемости, а также снижение зрительной нагрузки обучающихся. Эти требования охватывают качество материалов и печати, формат, конструкцию переплёта, массу издания и параметры шрифтового оформления [2]. На основе положений СанПиН и Технического регламента Таможенного союза [3, 4] сформированы универсальные рекомендации, обязательные для учебников всех классов и типов (табл. 1). Регламентируя базовые параметры, данные нормативы вместе с тем оставляют пространство для вариативности эстетических и технологических решений, что открывает возможности для улучшения внешнего вида и эргономики учебных изданий.

Таблица 1. Требования к учебникам на основе нормативных документов

Характеристика	Разрешения	Ограничения
Вес	1–4 классы – 300 г; 5–6 классы – 400 г; 7–9 классы – 500 г; 10–11 классы – 600 г.	Увеличение веса больше чем на 10 % запрещено.
Бумага	Все, кроме запрещенного.	Запрещена газетная бумага (кроме материалов, которые специально разрезают и не используют повторно), глянцевая бумага в блоке.
Поля и расположение элементов	Корешковое поле на развороте – минимум 26 мм (на одной странице – минимум 10 мм); верхнее, наружное и нижнее поля – минимум 10 мм; текст, значки, картинки на полях (кроме корешка) – не ближе 5 мм от края текста и не более 50 знаков.	–
Качество печати и контраст	Разница оптической плотности текста и бумаги (при чёрной печати) – не менее 0,7.	Запрещены: непропечатка (потеря элементов изображения), нечеткая, бледная печать, смазывание, отмарывание краски, двоянная печать, забитые краской участки, пятна, царапины; печать на цветном или сером фоне с плотностью фона больше 0,3; печать вывороткой (белым по цветному) для основного текста; цветные краски на цветном фоне для основного и дополнительного текста.
Шрифт и оформление текста	Междусловный пробел не меньше кегля шрифта; выделения цветом не более 2 цветов; максимум 4 варианта шрифтового оформления на странице (разные кегль, гарнитура, начертание или цвет) для основного текста; текст справа от иллюстрации – строки начинаются по одной вертикальной линии (кроме заголовков и абзацев).	Запрещены узкие шрифты (кроме заголовков), цветные краски на цветном фоне для основного текста.
Переплет и обложка	Ламинированная или лакированная обложка, либо из мелованной бумаги или со специальным покрытием; переплетная крышка (бумажное покрытие обязательно должно быть покрыто пленкой).	Запрещено шитье втачку, клеевое бесшвейное скрепление (кроме изданий, которые специально разрезают по страницам), недопустимы затеки клея на обрезы или внутрь блока, деформация блока или крышки.

Модернизация печатных учебных пособий возможна на каждом этапе производственного цикла: от разработки оригинальных дизайн-макетов до печати с использованием специальных красок, внедрения нестандартных брошюровочно-переплетных процессов и различных видов отделки. В последние пять лет интерактивность приобрела особую значимость: визуальные элементы адаптируются к действиям пользователя, а технологии искусственного интеллекта позволяют персонализировать контент в режиме реального времени [5, 6]. Наиболее эффективными признаются решения, сочетающие технологические

возможности с эстетической привлекательностью.

На этапе печати разнообразие обеспечивают специальные краски – металлизированные, флуоресцентные, термохромные, а также краски (лаки) с аромакапсулами. В области послепечатной обработки применяются различные технологические решения: вкладка страниц из альтернативных материалов или увеличенного формата, панорамные развороты, сложные вырубные формы, отгибные элементы; нанесение плёнок и лаков (софт-тач, глиттер, голография); тиснение; интеграция интерактивных компонентов (ручки, звуковые модули, AR-элементы, подвижные детали и др.).

Наряду с техническими параметрами производства, ключевым ориентиром должна выступать удовлетворённость потребителя. Согласно ГОСТ 9001-2015, данный конструкт определяется как восприятие потребителем степени реализации его ожиданий [7]. Оценка качества продукции возможна с трёх позиций: производителя, заказчика и конечного потребителя. Для последнего решающее значение имеют те свойства, которые непосредственно влияют на решение о приобретении товара или услуги. При этом состав значимых свойств существенно дифференцируется в зависимости от вида продукции и особенностей целевого сегмента. Учитывая, что потребители зачастую не в состоянии эксплицитно сформулировать требования к характеристикам изделия, задача идентификации ключевых параметров качества возлагается на производителя. Данный подход ориентирован на учёт востребованности продукции и в полной мере применим к печатным изданиям в целом. Однако он редко используется при оценке качества учебной литературы. Использование описанного подхода применительно к печатным учебным изданиям позволяет учитывать в оценке качества как интересы конечных пользователей, так и запросы субъектов, принимающих решение о приобретении.

Следует разграничивать пользователей и субъектов принятия решения о приобретении учебника. Конечными пользователями выступают учащиеся, тогда как основным платёжеспособным сегментом являются родители, репетиторы и образовательные организации. Главная задача пользователей – освоение значительного объёма теоретического материала. Восприятие информации при этом зависит от её наглядности и структурированности. Современные исследования показывают, что обучающиеся быстрее обрабатывают преимущественно визуальную информацию, что делает предпочтительными краткие тексты, дополненные наглядными элементами [1, 8]. Эффективная подача материала предполагает использование схем, иллюстраций, инфографики, логическое дробление текста и выделение ключевых элементов, что облегчает восприятие и способствует концентрации внимания.

Таким образом, возникает необходимость в новом подходе к оценке качества печатных учебных изданий, интегрирующем объективные технические параметры и субъективные аспекты восприятия пользователей. В данной работе предлагается новая модель оценки качества, которая включает оценку визуальной привлекательности издания и его способности вызывать первичный интерес у пользователя.

Предлагаемая модель оценки качества печатных учебных изданий построена на основе трёхкомпонентной структуры, отражающей различные аспекты восприятия учебника пользователем. В основу модели положено предположение о том, что качество учебного издания с позиции конечного потребителя определяется не только соблюдением формальных технических нормативов, но и эстетическими характеристиками оформления, а также наличием интерактивных элементов, повышающих вовлечённость. Модель предназначена для оценки визуальной привлекательности издания и его способности вызывать первичный интерес у учащегося, тогда как содержательное наполнение учебника (дидактическая ценность, полнота изложения материала) из анализа исключается.

Каждая из трёх групп критериев – эстетические, технические и интерактивные – включает конкретные показатели, измеряемые экспертно по порядковой шкале. Эстетические критерии характеризуют визуальную иерархию, целостность стиля и качество иллюстративного материала. Технические критерии охватывают контрастность печати, раскрываемость издания, соответствие массы санитарным нормам и общую читаемость текста. Интерактивные критерии фиксируют наличие элементов дополненной реальности (AR) и дополнительных средств взаимодействия (тактильные и визуальные эффекты, подвижные детали и др.). Оценка по каждому показателю выставляется по пятибалльной шкале, где 1 соответствует низкому уровню качества, 5 – высокому. Интегральная оценка качества рассчитывается как взвешенная сумма средних баллов по группам критериев с учётом их значимости (эстетические – 0,4, интерактивные – 0,35, технические – 0,25). Детальное описание показателей и шкал оценивания приведено в табл. 2.

Таблица 2. Критерии модели качества

Группа критериев	Показатель	Описание	Оценка
Эстетические	Визуальная иерархия	Структурированность визуального представления учебного материала, достигаемая посредством дифференциации заголовков, цветовых акцентов, схем и таблиц, обеспечивающая логическую последовательность восприятия и облегчающая навигацию по изданию	1 балл – визуальная иерархия отсутствует, структура информации не прослеживается; 2 балла – иерархия выражена слабо, элементы структурирования единичны и несистемны; 3 балла – иерархия частично реализована, имеются отдельные приёмы структурирования; 4 балла – иерархия выражена хорошо, структура информации логична и понятна, имеются незначительные нарушения; 5 баллов – чёткая и последовательная визуальная иерархия, все элементы структурирования применены системно и целесообразно.
	Целостность визуального стиля	Единство и согласованность визуальных элементов издания (шрифтов, цветовой палитры, графических приёмов, композиционных решений) на протяжении всего текста, обеспечивающее узнаваемость и эстетическую завершенность издания	1 балл – визуальный стиль разрозненный, элементы оформления противоречат друг другу; 2 балла – прослеживаются отдельные стилевые решения, но единство отсутствует; 3 балла – стиль частично выдержан, имеются заметные отклонения и нарушения; 4 балла – стиль преимущественно единый, нарушения единичны и незначительны; 5 баллов – полностью единый и последовательный визуальный стиль на протяжении всего издания.
	Качество иллюстраций	Совокупность характеристик визуальных элементов издания, включающая техническое качество воспроизведения (разрешение, чёткость, отсутствие артефактов), информативность, смысловую релевантность сопровождаемому тексту, а также эстетическую ценность, способствующих достижению когнитивных целей обучения и повышают вовлеченность учащихся	1 балл – низкое техническое качество, иллюстрации неинформативны или не соответствуют содержанию; 2 балла – удовлетворительное техническое качество, но информативность низкая, имеются отдельные несоответствия тексту; 3 балла – среднее качество: иллюстрации в целом соответствуют содержанию, но техническое исполнение имеет недостатки; 4 балла – высокое качество: иллюстрации чёткие, информативные, соответствуют содержанию, но отдельные элементы могли бы быть улучшены; 5 баллов – отличное качество: иллюстрации высокоинформативные, полностью соответствуют содержанию и обладают эстетической ценностью.

Продолжение таблицы 2

Группа критериев	Показатель	Описание	Оценка
Эстетические	Эргономика восприятия	Характеристика визуальной комфортности издания, определяемая такими параметрами, как оптимальный межстрочный интервал, достаточная длина строки, отсутствие визуального шума, равномерность распределения текстовых и графических элементов на полосе, а также общая сбалансированность композиции	1 балл – высокая зрительная нагрузка, межстрочный интервал недостаточен, длина строки чрезмерна, визуальный шум выражен; 2 балла – умеренная зрительная нагрузка, отдельные параметры эргономики нарушены; 3 балла – средний уровень комфорта, базовые параметры соблюдены, но имеются незначительные нарушения; 4 балла – высокий уровень комфорта, большинство параметров оптимальны; 5 баллов – отличная эргономика восприятия, все параметры соответствуют оптимальным значениям, визуальный комфорт максимален.
		Применение AR-технологий, преобразующих статичные изображения учебника в интерактивные трёхмерные модели, что повышает наглядность, способствует визуализации абстрактных понятий и увеличивает вовлечённость обучающихся	1 балл – AR-технологии отсутствуют; 2 балла – AR-элементы единичны, реализованы на минимальном уровне (одиночные маркеры без интерактива); 3 балла – AR-элементы присутствуют, обеспечивают базовую визуализацию, количество и качество реализации средние; 4 балла – AR-элементы широко представлены, качество реализации высокое, интерактивность обеспечивает значимый образовательный эффект; 5 баллов – AR-технологии интегрированы системно, обеспечивают полноценное интерактивное взаимодействие, высокое качество реализации, образовательный эффект максимален.
Интерактивные	Дополнительные элементы взаимодействия	Присутствие в издании элементов, расширяющих традиционное взаимодействие с книгой и задействующих различные каналы восприятия, включая QR-коды, ссылки на цифровые ресурсы, тактильные вставки, звуковые модули, подвижные конструкции и др.	1 балл – дополнительные интерактивные элементы отсутствуют; 2 балла – присутствуют единичные элементы (преимущественно QR-коды), интерактивность минимальна; 3 балла – имеется набор базовых интерактивных элементов, их реализация в целом удовлетворительна; 4 балла – широкий спектр интерактивных элементов, реализация качественная, элементы функциональны и уместны; 5 баллов – максимальное разнообразие интерактивных элементов, высокое качество их реализация, интеграция в учебный процесс оптимальна

Продолжение таблицы 2

Группа критериев	Показатель	Описание	Оценка
Технические	Контрастность	Степень различимости знаково-символьной информации относительно фоновой поверхности, определяемая в соответствии с нормативными требованиями (разница оптической плотности не менее 0,7 для чёрной печати; для цветных элементов – коэффициент контраста не менее 3:1)	1 балл – контрастность низкая (менее 0,5 или коэффициент менее 1,5:1), текст с трудом различим; 2 балла – контрастность ниже нормативного уровня (0,5–0,6 или 1,5:1–2,5:1), читаемость затруднена; 3 балла – контрастность соответствует минимальным нормативным требованиям, читаемость обеспечена; 4 балла – контрастность выше нормативного уровня, читаемость хорошая; 5 баллов – контрастность оптимальная (превышает 0,8 или 5:1), максимальная читаемость в любых условиях освещения.
	Раскрываемость	Способность книжного блока полностью раскрываться без повреждения корешка и страниц, обеспечивающая комфортность чтения на развороте	1 балл – издание плохо раскрывается, при попытке полного раскрытия повреждаются корешок или страницы; 2 балла – раскрываемость недостаточная (менее 120°), при раскрытии ощущается значительное сопротивление; 3 балла – издание раскрывается до угла 150–160°, деформации корешка минимальны; 4 балла – издание раскрывается почти полностью (160–175°), деформации отсутствуют; 5 баллов – издание полностью раскрывается (180°), не повреждается, страницы фиксируются в раскрытом положении.
	Масса издания	Соответствие фактической массы учебного издания предельно допустимым значениям, установленным нормативными документами для каждой возрастной группы	1 балл – масса превышает норматив более чем на 20 %; 2 балла – масса превышает норматив на 10–20 %; 3 балла – масса превышает норматив в пределах 5–10 %; 4 балла – масса превышает норматив в пределах до 5 %; 5 баллов – масса соответствует нормативу.
	Читаемость	Совокупность характеристик шрифтового оформления, определяющих лёгкость восприятия текста, включая разборчивость знаков и удобочитаемость	1 балл – текст читается с трудом; 2 балла – читаемость удовлетворительная, но имеются нарушения эргономических параметров (кегель меньше рекомендованного, межстрочный интервал недостаточен); 3 балла – средний уровень читаемости, базовые параметры соответствуют минимальным требованиям, но отдельные улучшения возможны; 4 балла – хорошая читаемость, большинство параметров соответствуют оптимальным значениям, текст воспринимается комфортно; 5 баллов – отличная читаемость, все параметры шрифтового оформления оптимальны, текст максимально лёгок для восприятия.

Окончание таблицы 2

Группа критериев	Показатель	Описание	Оценка
Технические	Качество полиграфического исполнения по группе печатных процессов	Отсутствие дефектов печати, влияющих на восприятие информации, включая непропечатку, смазывание, отмарывание, сдвоенную печать, забитые краской участки, пятна, царапины, а также недопустимое просвечивание краски на оборотную сторону листа.	1 балл – присутствуют множественные дефекты печати, просвечивание выражено значительно, читаемость серьёзно нарушена; 2 балла – дефекты единичны, просвечивание заметно, но не критично; 3 балла – дефекты практически отсутствуют, просвечивание минимально, качество воспроизведения удовлетворительное; 4 балла – дефекты отсутствуют, просвечивание незначительно, качество воспроизведения высокое; 5 баллов – дефекты полностью отсутствуют, просвечивание отсутствует, отличное качество воспроизведения.
	Качество полиграфического исполнения по группе послепечатных процессов	Способность переплётной крышки и блока сохранять целостность и функциональность при многократном использовании	1 балл – износостойкость низкая, при первом же использовании появляются повреждения, переплёт непрочен; 2 балла – износостойкость ниже среднего, заметные признаки износа возникают после непродолжительного использования; 3 балла – средняя износостойкость, переплёт и обложка выдерживают стандартную эксплуатацию в течение учебного года; 4 балла – высокая износостойкость, материалы и конструкция обеспечивают долговременное использование без значимых повреждений; 5 баллов – максимальная износостойкость, переплёт и обложка рассчитаны на многолетнюю интенсивную эксплуатацию.

Интегральная оценка качества рассчитывается как взвешенная сумма средних баллов по группам критериев с учётом их значимости по следующей формуле:

$$Q = w_1 \cdot Q_{эст.} + w_2 \cdot Q_{тех.} + w_3 \cdot Q_{инт.} \quad (1)$$

где  $Q_{эст.}$  – средний балл по эстетическим критериям;  $Q_{тех.}$  – средний балл по техническим критериям;  $Q_{инт.}$  – средний балл по интерактивным критериям;  $w_1, w_2, w_3$  – весовые коэффициенты, сумма которых равна 1.

Рекомендуется использовать весовые коэффициенты  $w_1=0,4$ ,  $w_2=0,25$ ,  $w_3=0,35$ . Такой выбор объясняется тем, что визуальное оформление и интерактивные элементы определяют первичное впечатление и вовлеченность пользователя, тогда как технические характеристики, несмотря на значимость, не формируют интерес при первом контакте с изданием. Интерпретировать полученное значение показателя рекомендуется следующим образом: 4,5–5,0 б. – высокое качество издания; 3,5–4,4 б. – качество выше среднего; 2,5–3,4 б. – среднее качество; 1,5–2,4 б. – качество ниже среднего; 1,0–1,4 балла – низкое качество.

Модель позволяет выявлять сильные и слабые стороны издания и может быть использована для его анализа в контексте разработки рекомендаций по повышению удовлетворенности потребителей.

Каждый показатель формируется на определенном этапе полиграфического воспроизведения, в связи с чем можно дать следующие рекомендации по совершенствованию качества учебного издания.

На этапе допечатной подготовки рекомендуется подбирать материалы, соответствующие санитарно-гигиеническим требованиям, использовать визуальную иерархию для четкого структурирования информации (заголовки, блоки, цветовые акценты, схемы и таблицы), разработать единый визуальный стиль, избегая разрозненных элементов оформления, следить за качеством иллюстративного материала (разрешение изображений и их содержание); применять оптимальные шрифты, кегель и межстрочный интервал, обеспечивающие хорошую читаемость текста; предусмотреть интеграцию интерактивных элементов, включая технологии дополненной реальности.

Этап печати оказывает непосредственное влияние на восприятие визуальных характеристик, заложенных на допечатной стадии. В связи с этим особое внимание следует уделять четкости воспроизведения текста и изображений, корректности цветопередачи, а также отсутствию дефектов (например, муара и смазывания).

На этапе брошюровочно-переплетных процессов целесообразно выбирать способ скрепления с учетом объема издания: швейное скрепление – для более толстых изданий, скрепление на скобу – для малых объемов. Они способствуют полному раскрытию книги. Переплетная крышка (обложка) и блок должны обладать достаточной прочностью и износостойкостью, чтобы обеспечивать многократное использование. Помимо влияния на прочностные характеристики издания, послепечатные операции также способствуют повышению визуальной привлекательности при взаимодействии с продукцией.

В результате проведенного исследования разработана трёхкомпонентная модель оценки качества печатных учебных изданий, включающая эстетические, интерактивные и технические критерии. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на соблюдение санитарно-гигиенических нормативов, предложенная модель позволяет учитывать субъективное восприятие конечного пользователя – учащегося, а также разграничивать интересы пользователей и субъектов принятия решения о приобретении учебника. Сопоставление показателей модели с этапами полиграфического производства показало, что ключевым звеном является этап разработки дизайн-макета, на котором закладываются визуальная иерархия, стиль, качество иллюстраций, читаемость и интерактивные элементы. На этапе печати критически важны контрастность и отсутствие дефектов, на этапе послепечатной обработки – раскрываемость и износостойкость.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенная модель может служить инструментом для издателей и полиграфических предприятий при проектировании новых учебных изданий, а также для оценки и модернизации существующих. Реализация рекомендаций, дифференцированных по этапам производства, позволяет повысить визуальную привлекательность, функциональность и вовлекающий потенциал печатных учебников без нарушения нормативных ограничений (в частности, по массе издания). Дальнейшие исследования могут быть направлены на эмпирическую валидацию модели с привлечением целевых групп учащихся и на адаптацию предложенных критериев для других видов печатной продукции (научно-популярной, справочной).

### Список литературы

1. Балькина, Е. А. Влияние различных форм представления информации на уровень ее восприятия школьниками при использовании средств дополненной реальности в обучении химии и биологии в школе [Текст] / Е. А. Балькина // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». – 2023. – № 2 (64). – С. 64–72.
2. Гигиенические требования к печатным учебным изданиям [Электронный ресурс] // ФБУЗ «Центр гигиенического образования населения» Роспотребнадзора. – электрон. дан. – М., 2026. – Режим доступа: <https://cgon.rosпотребнадзор.ru/biznesu/articles/gigienicheskie-trebovaniya-k-pechatnym-uchebnym-izdaniyam/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. VII. Гигиенические требования к печатным учебным изданиям для общего образования и среднего профессионального образования, изданиям электронным учебным для общего и среднего профессионального образования, изданиям книжным, журнальным и газетным для взрослых [Текст]. – Утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации ; зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации. – Введ. 28.01.2021. – М., 2021. – С. 385–402.
4. ТР ТС 007/2011. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков. Статья 8. Требования безопасности издательской (книжной и журнальной) продукции, школьно-письменных принадлежностей [Текст]. – Вступ. в силу 01.07.2012. – М. : Евразийская экономическая комиссия, 2012. – С. 49–55.
5. Корниненко, Д. С. Современные тенденции в графическом дизайне [Электронный ресурс] / Д. С. Корниненко, М. Ю. Похорукова, В. М. Самохина // Инновации и инвестиции. – электрон. журн. – 2021. – № 8. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-v-graficheskom-dizayne>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 05.04.2026.
6. Ободзинский, А. Тренды в графическом дизайне в 2025 году [Электронный ресурс] / А. Ободзинский // Платформа дизайнерс – контентная платформа для цифровых и графических дизайнеров. – электрон. дан. – 2023–2026. – Режим доступа: <https://dsgners.ru/artjom-obodzinskiy/8746-trendyi-v-graficheskom-dizayne-v-2025-godu>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. ГОСТ 9001-2015. Система менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. 2015–09–28. – М. : Стандартинформ, 2015. – 31 с.
8. Кулешова, А. В. Особенности восприятия информации современными школьниками [Текст] / А. В.

Кулешова, А. В. Овчаренко // Социальные отношения. – 2018. – № 2 (25). – С. 22–31. – ISSN 2218-9270.

### References

1. Bal'kina, E. A. Vlijanie razlichnyh form predstavlenija informacii na uroven' ee vosprijatija shkol'nikami pri ispol'zovanii sredstv dopolnennoj real'nosti v obuchenii himii i biologii v shkole [Tekst] / E. A. Bal'kina // Vestnik MGPU. Serija «Informatika i informatizacija obrazovanija». – 2023. – № 2 (64). – S. 64–72.
2. Gigienicheskie trebovanija k pechatnym uchebnym izdaniyam [Jelektronnyj resurs] // FBUZ «Centr gigienicheskogo obrazovanija naselenija» Rospotrebnadzora. – jelektron. dan. – M., 2026. – Rezhim dostupa: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru/biznesu/articles/gigienicheskie-trebovaniya-k-pechatnym-uchebnym-izdaniyam/>, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. – Jaz. rus.
3. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovanija k obespečeniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitanija. VII. Gigienicheskie trebovanija k pechatnym uchebnym izdaniyam dlja obshhego obrazovanija i srednego professional'nogo obrazovanija, izdaniyam jelektronnym uchebnym dlja obshhego i srednego professional'nogo obrazovanija, izdaniyam knizhnym, zhurnal'nyh i gazetnym dlja vzroslyh [Tekst]. – Utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom Rossijskoj Federacii ; zaregistrirvano v Ministerstve justicii Rossijskoj Federacii. – Vved. 28.01.2021. – M., 2021. – S. 385–402.
4. TR TS 007/2011. O bezopasnosti produkcii, prednaznachennoj dlja detej i podrostkov. Stat'ja 8. Trebovanija bezopasnosti izdatel'skoj (knizhnoj i zhurnal'noj) produkcii, shkol'no-pis'mennyh prinadlezhnostej [Tekst]. – Vstup. v silu 01.07.2012. – M. : Evrazijskaja jekonomicheskaja komissija, 2012. – S. 49–55.
5. Korninenko, D. S. Sovremennye tendencii v graficheskom dizajne [Jelektronnyj resurs] / D. S. Korninenko, M. Ju. Pohorukova, V. M. Samohina // Innovacii i investicii. – jelektron. zhurn. – 2021. – № 8. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-v-graficheskom-dizayne>, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. – Jaz. rus. – Data obrashhenija: 05.04.2026.
6. Obodzinskij, A. Trendy v graficheskom dizajne v 2025 godu [Jelektronnyj resurs] / A. Obodzinskij // Platforma dizajners – kontentnaja platforma dlja cifrovyh i graficheskikh dizajnerov. – jelektron. dan. – 2023–2026. – Rezhim dostupa: <https://dsgners.ru/artjom-obodzinskiy/8746-trendyi-v-graficheskom-dizayne-v-2025-godu>, svobodnyj. – Zagl. s jekrana. – Jaz. rus.
7. GOST 9001-2015. Sistema menedzhmenta kachestva. Trebovanija [Tekst]. – Vved. 2015–09–28. – M. : Standartinform, 2015. – 31 s.
8. Kuleshova, A. V. Osobennosti vosprijatija informacii sovremennymi shkol'nikami [Tekst] / A. V. Kuleshova, A. V. Ovcharenko // Social'nye otoshenija. – 2018. – № 2 (25). – S. 22–31. – ISSN 2218-9270

**УДК 577.11****К. А. Антонова**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРИРОДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ КОСМЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ: О ПЕРСПЕКТИВАХ  
РАЗРАБОТОК НОВЫХ СОСТАВОВ**

© К.А. Антонова 2026

*Работа посвящена анализу свойств и применения полисахаридов и полипептидов в косметической промышленности. Полимеры используются в косметических рецептурах преимущественно в растворенной форме, поэтому был предложен переход от использования традиционных органических растворителей к более экологичным глубоким эвтектическим растворителям с целью получения косметических средств на основе полимеров российского производства, которые по свойствам не будут уступать импортным аналогам.*

**Ключевые слова:** биополимеры, косметические средства, растворимость в воде, глубокие эвтектические растворители, хлорид холина.

**K.A. Antonova**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**NATURAL POLYMERS FOR COSMETIC PURPOSES: ABOUT THE PROSPECTS  
DEVELOPMENT OF NEW COMPOSITIONS**

*The work is devoted to the analysis of properties and applications of polysaccharides and polypeptides in the cosmetics industry. Polymers are used in cosmetic formulations mainly in dissolved form, therefore, a transition from the use of traditional organic solvents to more environmentally friendly deep eutectic solvents has been proposed in order to obtain cosmetics based on Russian-made polymers that will not be inferior in properties to imported analogues.*

**Keywords:** biopolymers, cosmetics, water solubility, deep eutectic solvents, choline chloride.

**Введение**

Рынок косметики и парфюмерии России занимает 2,3% от мирового рынка и входит в число пяти крупнейших по объему рынков Европы. Он включает в себя косметические средства, средства гигиены, парфюмерию и косметические аксессуары [1]. Особым спросом пользуются товары, которые выполняют несколько функций, например, косметические средства, не только улучшающие внешний вид, но и ухаживающие за кожей и защищающие от ультрафиолетовых лучей [2]. Такие косметические средства часто в своем составе содержат природные полимеры (биополимеры). Российские предприятия, такие как «Librederm», «Estel», «Mixit», «Natura Siberica», активно развивают собственное производство готовой продукции с полимерами в составе, но лидирующие позиции среди ингредиентов косметической продукции занимают силиконы. Несмотря на то, что российские ученые являются лидерами в разработке новых силиконовых соединений, что позволяет создавать новые конкурентоспособные рецептуры косметических продуктов [3], в последние годы наблюдается тенденция к применению биополимеров. Например, отечественные производители «Биотек», «Коллаген Продукт» и «Арт Лайф» занимаются производством кремов, сывороток, масок по уходу за кожей лица и тела на основе коллагена [4]. Большую долю на фармацевтическом рынке в сегменте косметических средств занимает продукция на основе гиалуроновой кислоты. Лидирует российская компания ООО «Биофармлаб», производящая продукцию «Librederm», линейка средств которой с гиалуроновой кислотой составляет 80 % от всего ассортимента [5].

Снижение инвестиций международных компаний в российские бизнес-подразделения сподвигло многих отечественных производителей к увеличению объема производства и развитию новых продуктовых линеек. 10 млрд руб. рынка перераспределились в пользу локальных компаний, не входящих в топ-5 международных производителей косметики (L'Oréal Group, Estée Lauder Companies, Procter & Gamble Co., Unilever и Henkel) [6]. Основными проблемами для развития российской косметической промышленности являются высокая импортозависимость от сырья и недостаточный уровень отечественных разработок в области инновационной продукции, конкурентоспособной на международных рынках. Поэтому целью настоящей работы является анализ полимеров косметического назначения и

особенностей их применения в косметических композициях для разработки новых составов с заданными свойствами.

### Экспериментальная часть

#### *Биополимеры косметического назначения*

Полисахариды широко применяются в качестве натуральных компонентов косметических средств. Благодаря разнообразию свойств, они входят в продукты по уходу за волосами, кожей лица и тела, а также в средства личной гигиены и в качестве сред для активных компонентов (табл. 1).

Одним из ярких представителей является *гиалуроновая кислота* (ГК) – природный линейный полисахарид, обладающий выраженной гидрофильностью и окружен молекулами воды, которые связаны с ним при помощи водородных связей. Благодаря таким физико-химическим свойствам растворы ГК очень вязкие и эластичные. В природе ГК в основном встречается во внеклеточном матриксе соединительной ткани и в большом количестве в стекловидном теле глазного яблока [7]. Молекулы ГК очень чувствительны к разрушению под воздействием температуры, ультрафиолетового излучения, окислителей и сдвигающих усилий из-за их углеводной природы. ГК является биodeградируемым, биосовместимым, нетоксичным и неиммуногенным полимером. ГК в косметических средствах обозначается Sodium Hyaluronate, Hyaluronic Acid. Обычно её содержание составляет от 0,2% (в кремах) до 2% (в сыворотках). Одна молекула кислоты способна связывать около тысячи молекул воды, удерживая влагу в слоях кожи. Поэтому именно от ее присутствия зависит состояние увлажнения кожи. Возможен и омолаживающий, регенерирующий, противовоспалительный эффект от средств с ГК в составе [8].

Другим представителем полисахаридов является *хитозан* - природный линейный биополиаминосахарид, получаемый из хитина. Хитин - основной компонент защитной кутикулы ракообразных - крабов, креветок, лобстеров и клеточной стенки грибов *Aspergillus* и *Mucor*. Для коммерческого использования биополимер хитозана получают путем частичного дезацетилирования хитина с помощью ферментативных или химических процессов. Благодаря хорошей доступности аминогрупп в хитозане, он несет положительный заряд, что позволяет ему вступать в реакции с различными отрицательно заряженными поверхностями или полимерами, а также подвергаться хелатированию с ионами металлов [7]. Хитозан обладает низкой токсичностью и биосовместимостью, биodeградируем, нерастворим в воде. Хитозан входит в состав средств для ухода за волосами, личной гигиены для ухода за кожей, полостью рта. Хитозан обладает значительной антимикробной активностью в отношении широкого спектра микроорганизмов. [9]. Хитозан используется в наносистемах для формирования носителей для активных компонентов косметических средств, наносимых на кожу: УФ-фильтров, ретинола, антиоксидантов и эфирных масел [10].

*Ксантановая камедь* - это экзополисахарид, получаемый ферментацией углеводов микроорганизмом *Xanthomonas campestris*. Его линейная основная структура состоит из (1,4)-связанной D-глюкозы с боковой полисахаридной цепью, содержащей остаток глюкуроновой кислоты (1,4-), звено маннозы и связанное с ним второе звено маннозы (1,2-) [11]. Ксантановая камедь используется в косметической промышленности из-за своего высокого электрического потенциала. Имеет большую термическую стабильность, чем другие полисахариды, и стабильна в широком диапазоне pH. Обладает многими функциональными свойствами, включая связывание, эмульгирование, стабилизацию, гелеобразование и кондиционирование кожи, а также действует как поверхностно-активное вещество и регулятор вязкости, помимо других свойств. Ксантановая камедь - распространенный ингредиент в средствах по уходу за волосами. В косметологии считается безопасной, нетоксичной, биосовместимой, биоразлагаемой и неиммуногенной [12].

Полипептиды (пептиды) используются в косметике как компоненты, которые стимулируют регенеративные процессы и синтез важнейших белков — коллагена и эластина. Они входят в состав разных средств: кремов, сывороток, масок, тоников и мистов (табл. 1).

*Коллагены* являются наиболее распространенными белками внеклеточного матрикса. Основными функциями коллагена являются поддержание структуры и обеспечение механической поддержки тканей животных, одновременно повышая прочность и гибкость. Семейство коллагенов включает в себя 29 генетически различных типов. К основным относятся коллаген I типа (содержится в коже, сухожилиях и костной ткани), II типа (хрящи) и III типа (кожа и сосуды). В косметологии широко используется коллаген I типа, цепочка которого содержит 1000 аминокислот и образует  $\alpha$ -спираль. Прочная структура сформирована повторяющейся последовательностью из трех аминокислот, где каждая третья аминокислота - это глицин. Многие из оставшихся позиций заполнены пролином и гидроксипролином [13]. Типы I, II и III составляют 80-90 % всего коллагена в организме человека и отвечают за прочность и эластичность. Коллаген - это материал с высокой степенью сшивания, обычно нерастворимый как в воде, так и в маслах. Природный коллаген обычно получают из животных источников: кожи и костей коров, свиней, кур, пернатых, буйволов и многих водных животных (пресноводных и морских рыб и моллюсков) [14]. Лучшим вариантом являются морские источники, которые обладают высоким содержанием коллагена и биодоступностью, биоразлагаемостью, незначительной токсичностью [15]. В косметических средствах в

основном используется морской коллаген. Коллаген используется в косметике в качестве увлажняющего и смягчающего средства в средствах для кожи и волос [16].

*Эластин* является важным белковым компонентом внеклеточного матрикса во многих тканях, которым требуется эластичность для выполнения своих функций. Это нерастворимый гидрофобный белок с высокой степенью поперечной сшивки, богатый неполярными аминокислотными остатками. Вся сеть эластиновых волокон составляет примерно 2-4 % от объема кожи. Эластин нельзя извлечь или очистить непосредственно из тканей, поскольку он нерастворим в большинстве белковых растворителей, но после удаления компонентов ткани - коллагена, микрофибрилл, протеогликанов, получается остаток очищенного эластина. Препятствиями при очистке являются устойчивость к протеолизу, нерастворимость, устойчивость к экстремальным температурам и pH [17]. Косметические составы с эластином включают средства для ухода за кожей и волосами. Новые тенденции в косметике связаны с пептидами, полученными из эластина, которые повышают эластичность и упругость кожи, предотвращают старение [18].

*Шелк* – это натуральное белковое волокно, состоящее примерно на 70-80% из фиброина и на 20-30% из серицина. Его синтезируют и прядут несколько членистоногих, аминокислотный состав у разных сортов шелка различается. В косметической промышленности используется очищенный фиброин шелка, благодаря его способности стимулировать биосинтез коллагена и заживлять раны. Поэтому он является подходящим кандидатом для лечения атопического дерматита или устранения рубцов [19]. Фиброин шёлка встречается в широком спектре косметических средств для очищения кожи, волос, антивозрастного ухода, декоративной косметики.

Таблица 1 – Биополимеры, используемые в производстве косметических средств

Биополимер	Химическая природа	М, кДа	Косметическая функция	Косметические средства	Растворимость
Гиалуроновая кислота	Полисахарид из дисахаридных звеньев D-глюкуроновой кислоты и N-ацетилглюкозамина	$2 \cdot 10^3$	Удерживание молекул воды	Кремы, сыворотки, маски, составы для мезотерапии и биоревитализации, филлеры, помады	Растворяется в воде, образуя высоковязкие растворы
Хитозан	Сополимер глюкозамина и N-ацетилглюкозамина	4-400	Сохранение влаги, антимикробная активность, защита от УФ и температуры, антистатик	Шампуни, ополаскиватели, средства для перманентной завивки, красители, лосьоны, лаки тоники, тушь для ресниц	Растворим в кислых растворах, растворимость зависит от степени полимеризации
Ксантановая камедь	Полисахарид глюкозы, глюкуроновой кислоты и маннозы	$10^3$	Загуститель, стабилизатор	Кремы и лосьоны для лица и тела, шампуни и кондиционеры, скрабы и пилинги, тональные средства, туши, помады	Растворяется в воде, образуя вязкие растворы даже при низких концентрациях
Коллаген	Первичная структура состоит из триплетов (глицин, пролин, гидроксипролин), на каждые 1000 аминокислотных остатков приходится от 2 до 80 остатков галактозы и глюкозы	$(2-3) \cdot 10^2$	Формирование структуры (каркаса) тканей	Лосьоны, кремы, маски, сыворотки для кожи и волос	Нерастворим в воде (при pH около 7) и органических растворителях, в воде он набухает, а при нагревании денатурирует до желатина.
Эластин	Полипептид	$\approx 70$	Регуляция	Кремы и	Для нативного

	валина, фенилаланина, лейцина и изолейцина		клеточных процессов	сыворотки для кожи, шампуни	эластина характерна нерастворимость, гидролизованная форма обладает лучшей растворимостью
Фиброин шелка	Полипептид глицина, аланина, серина	25-300	Резпителизация	Молочко для умывания, мицеллярная вода, шампуни, кондиционеры и маски для волос, антивозрастные сыворотки и кремы, тональные основы и хайлайтеры	Не растворяется в воде, растворяется в конц. растворах солей (CaCl <sub>2</sub> )

*О разработке новых составов с заданными свойствами*

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что полисахариды в косметических средствах выполняют в основном функцию увлажнения кожи (и волос) и загустителя. Они растворяются в водных растворах, образуя стабильные вязкие растворы. Полипептиды нужны для сохранения упругости и эластичности кожи, они не растворяются в водных растворах или денатурируют при значениях pH, отличающихся от нейтральных. Для производства косметических средств полимеры нужно переводить в растворимую форму, при этом растворители должны быть нетоксичными, нелетучими и биосовместимыми. В качестве таких растворителей можно рассмотреть глубокие эвтектические растворители (ГЭР), которые, как правило, получают термическим смешиванием двух или более компонентов с образованием эвтектической смеси, которая имеет температуру плавления ниже, чем температура плавления отдельных компонентов. ГЭР можно описать как донорно-акцепторный комплекс [20].

ГЭР обладают термической и химической стабильностью, высокой скоростью растворения по отношению к разным веществам, негорючестью. Кроме того, ГЭР можно получать простым и экономичным способом: путем комбинирования и нагревания натуральных и/или широкодоступных веществ (табл. 2). В результате такие растворители дешевле, часто биоразлагаемы, а также обладают малой токсичностью или вообще не являются токсичными.

Таблица 2 – Примеры ГЭР для полимеров

ГЭР	Соотношение компонентов	Свойства			Полимер
		T <sub>пл</sub> , °C	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, мПа·с (при 293 К)	
Хлорид холина – глицерин	1:3	20	1,203	450	Коллаген, эластин
Хлорид холина – малоновая кислота	1:1	135	1,211	616	Хитозан
Хлорид цинка – этиленгликоль	1:4	-30	1,450	> 260	Коллаген, эластин
Мочевина – холин хлорид	2:1	13	1,25	750	Фиброин шелка

Несомненным преимуществом ГЭР является широкий выбор для комбинаций, причем свойства пар (гидрофильные, гидрофобные, щелочные, нейтральные) будут варьировать в зависимости от входящих компонентов, их молярного соотношения и содержания воды.

На сегодняшний день такие растворители изучены очень мало, особенно в части их применения в косметологии. Поэтому актуальна разработка нетоксичных, биodeградируемых растворителей для полимеров в целях расширения производства продукции косметического назначения на территории нашей страны.

**Заключение**

Полимеры натурального происхождения широко используются в косметической промышленности для придания функциональных свойств средству: увлажнения, защиты, очищения, омоложения. Нерастворимость полипептидов косметического назначения в воде требует использования растворителей, поэтому в качестве безопасной альтернативы традиционным растворителям были выбраны глубокие эвтектические растворители на основе хлорида холина. На сегодняшний день применение глубоких эвтектических растворителей в косметологии изучено мало, поэтому на следующем этапе работы будет осуществляться подбор разных пар нетоксичных веществ, которые вместе могли бы составить глубокий эвтектический растворитель, изучение его растворяющей способности по отношению к разным биополимерам с установлением максимальной растворимости и исследование всех свойств других компонентов косметической композиции.

### Список литературы

1. Пак В.В., Неуструева А.С. Российский рынок косметики и парфюмерии: текущее состояние, тренды и перспективы развития // Научный электронный журнал Меридиан. 2020. № 9 (43). С. 96 – 98.
2. Николаева М.А., Ний А.А. Анализ состояния и тенденций парфюмерно-косметического рынка в России. 2017. № 1. С. 3.
3. Ivanova E.V., Minyaylo E.O., Temnikova M.N., Mukhtorova L.G., Atroshchenko Yu. M. Silicones in Cosmetics // Polymer Science. 2023. No 5 (65). P. 578 – 594.
4. Колесникова О.В., Аракелян Н.Р., Довгополова Ю.Д. Анализ рынка коллагена в Российской Федерации // Креативная экономика. 2025. Т. № 4 (19). С. 983 – 998.
5. Librederm — международная косметическая компания : [сайт]. URL: <https://librederm.ru>.
6. Максимов М.И., Гришин Е.Г., Петухов С.А. Об актуальном состоянии российского рынка косметических средств: анализ и прогноз // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. 2024. № 5. С. 98 – 108.
7. Хвостов, М.В. Применение природных полисахаридов в фармацевтике // Биоорганическая химия. 2019. № 6 (45). С. 566 – 569.
8. Нечаева, В.В. Гиалуроновая кислота в косметике anti-age // Актуальные проблемы и перспективы развития потребительского рынка. 2019. Т. 2. С. 63.
9. Dutta P.K., Dutta J., Tripathi V.S. Chitin and chitosan: chemistry, properties and applications // Journal of Scientific and Industrial Research. 2004. Vol. 63. P. 20 – 31.
10. Goma Y., Goma L., N. El-Khordagui, I. Boraie, Darwish Chitosan microparticles incorporating a hydrophilic sunscreen agent // Carbohydrate Polymers. 2010. No 2 (81). P. 234 – 242.
11. Balkrishna A., Agarwal V., Kumar G., Gupta A.K. Applications of bacterial polysaccharides with special reference to the cosmetic industry // Microbial Bioprospecting for Sustainable Development. 2018. P. 189 – 202.
12. Singhvi G., N.Hans, N. Shiva, S.K. Dubey. Xanthan gum in drug delivery applications // Natural polysaccharides in drug delivery and biomedical applications. 2019. P. 121 – 144.
13. Sionkowska A. Current research on the blends of natural and synthetic polymers: review // Progress in Polymer Science. 2011. Vol. 36. P. 1254 – 1276.
14. Nunez S.M., Guzman F., Valencia P., Almonacid S., Cardenas C. Collagen as a source of bioactive peptides: a bioinformatics approach // Electronic Journal of Biotechnology. 2020. Vol. 48. P. 101 – 108.
15. Rastogi K., Vashishtha R., Shaloo D. S. Scientific advances and pharmacological applications of marine derived- collagen and chitosan // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021. № 3 (12). P. 3540 – 3558.
16. Ahmed M., Verma A.K., Patel R. Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea- food waste: a review // Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2020. № 3 (18). P. 100315.
17. Halabi C.M., Mecham R.P. Elastin purification and solubilization // Methods in Extracellular Matrix Biology. 2018. P. 207 – 222.
18. Lima T.N., Moraes C. Bioactive peptides: applications and relevance for cosmeceutical // Cosmetics. 2018. No 1 (5). P. 1 – 9.
19. Sheng X., Fan L., He C., Zhang K., Mo X., Wang H. Vitamin E- loaded silk fibroin nanofibrous mats fabricated by green process for skin care application // International Journal of Biological Macromolecules. 2013. Vol. 56. P. 49 – 56.
20. Джавахян М. А. Природные глубокие эвтектические растворители как альтернативные экстрагенты флавоноидов из растительного сбора седативного действия // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2022. № 3 (11). С. 75 – 83.

### References

- [1] Pak V.V., Neustrueva A.S. The Russian cosmetics and perfumery market: current state, trends and development prospects // Scientific electronic journal Meridian, 2020, 9 (43), 96 – 98.
- [2] Nikolaeva M.A., Nii A.A. Analysis of the state and trends of the perfumery and cosmetics market in Russia, 2017, 1, 3.
- [3] Ivanova E.V., Minyaylo E.O., Temnikova M.N., Mukhtorova L.G., Atroshchenko Yu. M. Silicones in Cosmetics // Polymer Science, 2023, 5 (65), 578 – 594. DOI:10.1134/S1560090423600201.
- [4] Kolesnikova O.V., Arakelyan N.R., Dovgopolova Yu.D. Analysis of the collagen market in the Russian Federation // Creative Economy, 2025, 4 (19), 983 – 998.
- [5] Librederm — international cosmetics company : [website]. URL: <https://librederm.ru>.
- [6] Maksimov M.I., Grishin E.G., Petukhov S.A. On the current state of the Russian cosmetics market: analysis and forecast // Innovative economics: information, analytics, forecasts, 2024, 5, 98 – 108.
- [7] Khvostov, M.V. The use of natural polysaccharides in pharmaceuticals // Bioorganic Chemistry, 2019, 6 (45), 566 – 569.
- [8] Nechaeva, V.V. Hyaluronic acid in anti-age cosmetics // Actual problems and prospects of the consumer market development, 2019, 2, 63.
- [9] Dutta P.K., Dutta J., Tripathi V.S. Chitin and chitosan: chemistry, properties and applications // Journal of Scientific and Industrial Research, 2004, 63, 20 – 31.
- [10] Gomaa Y., Gomaa L., N. El-Khordagui, I. Boraie, Darwish Chitosan microparticles incorporating a hydrophilic sunscreen agent // Carbohydrate Polymers, 2010, 2 (81), 234 – 242. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.02.024.
- [11] Balkrishna A., Agarwal V., Kumar G., Gupta A.K. Applications of bacterial polysaccharides with special reference to the cosmetic industry // Microbial Bioprospecting for Sustainable Development, 2018, 189 – 202. DOI:10.1007/978-981-13-0053-0\_9.
- [12] Singhvi G., N.Hans, N. Shiva, S.K. Dubey. Xanthan gum in drug delivery applications // Natural polysaccharides in drug delivery and biomedical applications, 2019, 121 – 144. DOI:10.1016/B978-0-12-817055-7.00005-4.
- [13] Sionkowska A. Current research on the blends of natural and synthetic polymers: review // Progress in Polymer Science, 2011, 36, 1254 – 1276. DOI:10.1016/j.progpolymsci.2011.05.003.
- [14] Nunez S.M., Guzman F., Valencia P., Almonacid S., Cardenas C. Collagen as a source of bioactive peptides: a bioinformatics approach // Electronic Journal of Biotechnology, 2020, 48, 101–108. DOI:10.1016/j.ejbt.2020.09.009.
- [15] Rastogi K., Vashishtha R., Shaloo D. S. Scientific advances and pharmacological applications of marine derived- collagen and chitosan // Biointerface Research in Applied Chemistry, 2021, 3 (12), 3540 – 3558. DOI:10.33263/BRIAC123.35403558.
- [16] Ahmed M., Verma A.K., Patel R. Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea- food waste: a review // Sustainable Chemistry and Pharmacy, 2020, 3 (18), 100315. DOI: 10.1016/j.scp.2020.100315.
- [17] Halabi C.M., Mecham R.P. Elastin purification and solubilization // Methods in Extracellular Matrix Biology, 2018, 207 – 222. DOI: 10.1016/bs.mcb.2017.08.012.
- [18] Lima T.N., Moraes C. Bioactive peptides: applications and relevance for cosmeceutical // Cosmetics, 2018, 1 (5), 1 – 9. DOI: 10.3390/cosmetics5010021
- [19] Sheng X., Fan L., He C., Zhang K., Mo X., Wang H. Vitamin E- loaded silk fibroin nanofibrous mats fabricated by green process for skin care application // International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 56, 49 – 56. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2013.01.029.
- [20] Javakhyan M. A. Natural deep eutectic solvents as alternative flavonoid extractants from sedative plant collection // Development and registration of medicinal products, 2022, 3 (11), 75 – 83.

*Научный руководитель: проф., д.т.н. Михайловская А.П.*

УДК 687.01

**Е.А. Гавриленко, И.А. Хромеева**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ**

© Е.А. Гавриленко, И.А. Хромеева, 2026

*Статья посвящена вопросам автоматизации швейного производства. Предложены конструкторско-технологические решения и сформулированы требования, позволяющие адаптировать швейные изделия к условиям автоматизированного производства. Описаны преимущества автоматизации и существующие ограничения. Сделан вывод о том, что, несмотря на сохраняющиеся объективные трудности полной автоматизации процесса создания одежды, внедрение отдельных автоматизированных участков и шаблонных полуавтоматов является перспективным направлением развития отрасли.*

**Ключевые слова:** автоматизация, современное швейное оборудование, шаблонные полуавтоматы, технология швейных изделий

**E.A. Gavrilenko, I.A. Khromeeva**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**TECHNOLOGICAL SPECIFICS OF APPAREL, PRODUCED WITH AUTOMATED EQUIPMENT**

*This article is devoted to the automation of garment manufacturing. Design and engineering solutions aimed at adapting sewn products to automated manufacturing conditions are proposed. The benefits of automation along with the current limitations are analyzed. It is concluded that despite the persistent objective difficulties of fully automating the clothing creation process, the implementation of individual automated workstations and template semi-automatic machines is a promising direction for the industry's development.*

**Key words:** automation, perspective sewing machinery, template automate, garment technology.

Автоматизация в промышленности – это комплексный процесс внедрения технических средств, программного обеспечения и организационных решений, ведущих к минимальному участию человека в производственных процессах. Высшая степень автоматизации – это автоматизация всех участков производства, которая предусматривает передачу функций управления и контроля над производством системам управления [1].

Автоматизированное оборудование различается по видам и имеет разную степень автоматизации процесса. Существуют швейные машины с цифровизацией, полуавтоматы и комплексные автоматизированные линии.

Цифровизация швейного оборудования предполагает замену механических связей на электронные. В последних моделях швейных машин большинства производителей уже реализована цифровизация ряда механизмов. Также современное оборудование оснащено возможностью интеграции к системе мониторинга производства, что в режиме реального времени позволяет фиксировать эффективное время работы оборудования, время простоя и на базе этих данных анализировать рабочий процесс. Активное развитие нейросетей не обошло и рынок швейного оборудования. Так китайская компания «Aitu» предлагает модель универсальной швейной машины со встроенной нейронной сетью и «машинным зрением» (рис. 1). По замыслу инженеров встроенная камера в рукав машины будет отслеживать положение рук и правильное выполнение приемов операции и в случае нарушений давать сигнал швее [2].

Полуавтомат – это оборудование, требующее участие оператора в загрузке детали, в запуске цикла шитья и выгрузке полуфабриката, а выполнение строчки и перемещение материала выполняется автоматически по заданной программе. Такое оборудование применяется для выполнения самых разнообразных операций. Например, стачивание складок и вытачек, настрачивание подзоров, пришивание пуговиц и обметывание петель, настрачивание накладных карманов и деталей с подгибкой, настрачивание текстильных застежек велкро и эластичных лент с автоподачей из рулона, а также

выполнение прорезных карманов и строчек по заданному контуру с применением специальной оснастки или шаблона.

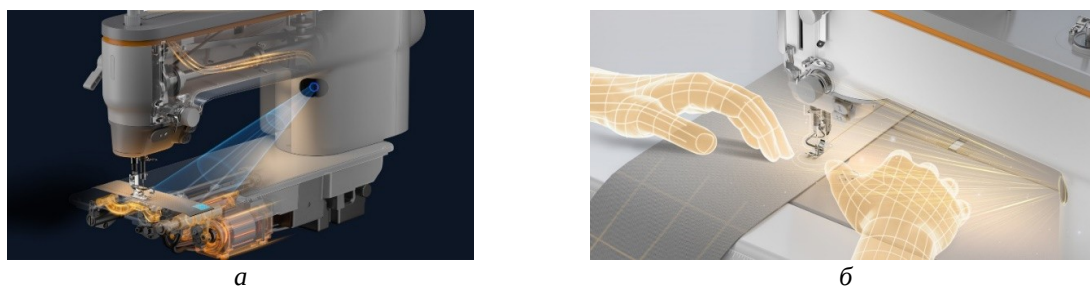


Рис. 1. Универсальная швейная машина со встроенной нейросетью и машинным зрением:  
а – внешний вид оборудования; б – визуализация контроля рабочих приемов швеи

Существуют и автоматизированные станции, которые работают автономно без участия человека. Производитель швейного оборудования «SOMAX» представил линию по сборке футболки (рис. 2), где объединил стачивающе-обметочную машину и распошивальную в единый комплекс, а перемещение материала - при помощи механизма вакуумной фиксации и робота-манипулятора [3].



Рис. 2. Автоматизированная станция сборки футболки

На современном этапе полная автоматизация всех технологических операций затруднительна в реализации, однако весьма значительная часть уже успешно автоматизирована. В производстве изделий разного ассортимента число таких операций существенно различается – от 5-10 % при изготовлении остромодного женского ассортимента до 50–60 % в производстве мужских сорочек и джинсов [4].

Подготовка одной модели к автоматизации требует тщательного анализа конструкторской и технологической документации, индивидуальной разработки шаблонов на операции или оснастки на оборудование, тесты технических решений для шаблонов и внесение корректировок. Это длительный и кропотливый процесс, который крайне сложно выполнять в условиях производства с частой сменой моделей. Многообразие материалов и параметров конструкции изделий требуют перенастройки оборудования, либо замены оснастки, а в некоторых случаях, и создания дополнительных приспособлений. Чтобы минимизировать затраты и облегчить работу с автоматами необходимо на этапе проектирования изделий учитывать характеристики оборудования и выбирать подходящую технологию обработки и материалы, а также разрабатывать унифицированную конструкцию изделия.

Анализ работы ряда швейных предприятий и личный опыт позволили выявить комплекс требования к изделиям. Для эффективного использования шаблонных полуавтоматов следует учитывать требования к конструкции и технологии обработки швейных изделий:

- одинаковые размеры деталей, поскольку посадка или растягивание участков шва при пошиве внутри шаблона выполнить невозможно;
- одинаковый контур обрабатываемых деталей, так как соединение деталей с разной кривизной срезов, например, втачивание воротника в горловину, на этом этапе автоматизации невозможно при использовании шаблонного автомата;
- горизонтальное расположение деталей внутри шаблона с укладыванием их друг на друга и прокладывание строчки в одной плоскости;
- стабильное положение и фиксация деталей внутри шаблона, а при выполнении отделочных строчек – качественное выворачивание и формование краев деталей;
- обрабатываемая деталь не должна превышать максимальный размер поля шитья, таким образом большие размеры со стежкой деталей не удастся выполнить на шаблонном автомате.

- унификация параметров конструкции функциональных и декоративных деталей для меньшего количества шаблонов на каждый размер-рост;
- уменьшение градационных групп или полный отказ от градации для тех узлов, которые не влияют на посадку, комфорт и внешний вид изделия.

Учитывая вышеперечисленные требования, можно выделить ряд операций для выполнения на шаблонных полуавтоматах. К ним относятся операции заготовительной секции, такие, как: обтачивание деталей швом «в раскол», настрачивание текстильных застежек велкро, шевронов, силиконовых эмблем, кокард и ременных лент. Также возможно выполнять обтачивание деталей, заготовку прорезных карманов, настрачивание различных деталей накладным швом и настрачивание тесьмы-молнии. В изделиях с пакетом утепляющих материалов выполняют выстегивание подкладки и утеплителя.

Некоторые операции могут выполняться на автоматизированном оборудовании, однако им предшествует этап заготовки детали на универсальной швейной машине. Например, при изготовлении прорезного кармана на полочке с тесьмой-молнией и листочкой, саму листочку предварительно обрабатывают. Если накладной карман или усиленная накладка расположены на локтевом шве рукава, либо на боковом шве брюк, то эти швы необходимо предварительно обработать. Подобные подготовительные операции вызывают необходимость частого перемещения полуфабриката внутри швейного цеха, если полуавтоматы встроены в поточную линию, либо между цехами, когда автоматизированный участок вынесен отдельно. Это создает дополнительные неудобства и ведет к излишним затратам времени и трудовых ресурсов.

В производственных условиях шаблонные полуавтоматы циклического действия зарекомендовали себя как эффективное решение в рамках организации отдельного участка, выполняющего заготовительные операции. Такой подход позволяет избежать лишних перемещений деталей в процессе изготовления изделия, но вместе с тем ограничивает перечень операций, которые можно автоматизировать.

Решить данную проблему можно, если на этапе проектирования изделия закладывать технологию сборки, ориентированную на автоматизированное оборудование. Швы, которые планируются к выполнению на шаблонном полуавтомате, должны быть прямыми либо иметь единообразную конфигурацию. Припуски на швы следует делать достаточной величины, чтобы их можно было надежно удерживать в канале шаблона. Декоративные элементы (шевроны, эмблемы), а также накладные карманы, клапаны, паты, хлястики, планки и текстильные застежки должны располагаться на оптимальном расстоянии от среза. Глубина складок должна быть достаточной для их выполнения на полуавтомате. Контуры выстегивания на деталях и длины швов обтачивания должны помещаться в максимальное поле шитья оборудования.

Кроме того, важное значение имеет выбор материала для изделия: ткань не должна быть скользкой, а срезы – деформироваться, иначе у оператора возникнут трудности с укладыванием детали в шаблон. Не менее значимо и качество фурнитуры – она обязана быть стабильной по размерами и не иметь деформаций.

На примере мужской куртки (рис. 3) рассмотрим операции, которые возможно производить в автоматизированном цехе по выполнению заготовительных операций, учитывая вышеперечисленные требования. Основной материал куртки – мембранное полотно «SoftShell». Соединительные швы будут выполняться на 5-ниточной стачивающе-обметочной машине, а отделочные строчки и строчки настрачивания на одноигольной универсальной швейной машине.

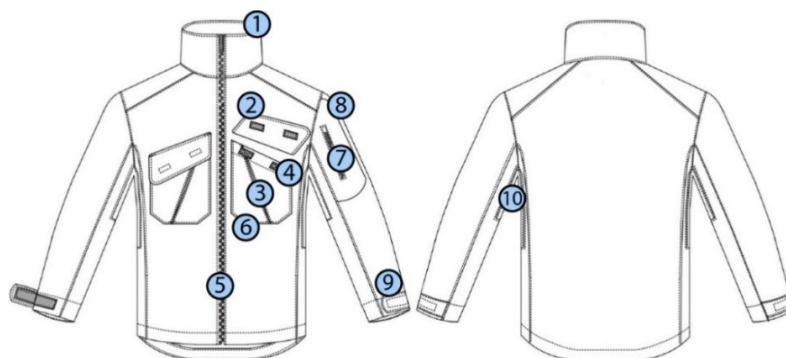


Рис. 3. Модель мужской куртки с перечнем операций для автоматизации

Для выполнения этой модели куртки были выбраны заготовительные операции тех узлов, которые не заходили на швы: обтачивание воротника по отлету, обтачивание клапанов нагрудных карманов, полная заготовка и настрачивание карманов на полочки, заготовка срезов бортов, обработка

прорезного кармана рукава с листочкой и планки бокового вентиляционного отверстия. Для увеличения доли автоматизации в модели необходимы следующие изменения:

- настрачивание текстильной застежки велкро на 1 слой детали;
- отказ от линии членения нижнего участка проймы, взамен - проектирование ластовицы, что даст возможность уложить деталь в горизонтальную плоскость и выполнить заготовку планки вентиляционного отверстия;
- отсутствие боковых швов, что позволит выполнить обтачивание низа изделия обтачками.

После внесения корректировок внешний вид изделия изменился (рис. 4), а количество операций, которые возможно выполнять на автоматизированном оборудовании увеличилось.

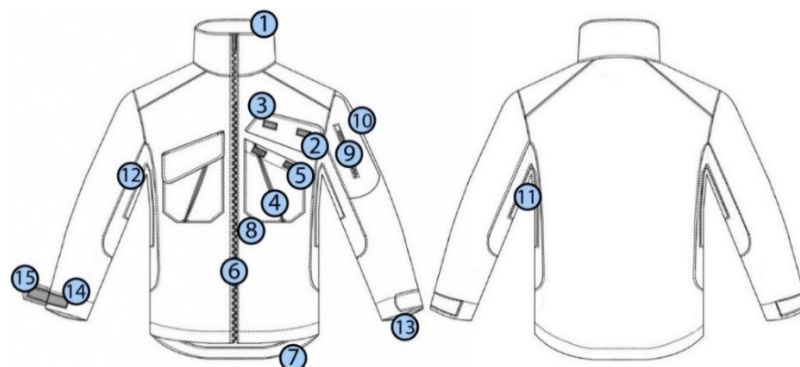


Рис. 4. Модель мужской куртки с перечнем операций для автоматизации после изменений

Помимо ранее перечисленных операций стало возможным выполнять обработку низа изделия и рукавов обтачками, а также осуществлять практически полную заготовку вентиляционных боковых отверстий. Далее рассмотрим сборочные схемы узлов, выполняемых на автоматизированном оборудовании.

Текстильные застежки велкро могут настрачиваться насквозь в готовом виде, что дает необходимую толщину узла. Чтобы сохранить требования к прочности узлов на пату рукава и нижний клапан добавлен дополнительный слой неклеевой прокладки из нетканого материала. Если бы основным материалом изделия был выбран с допущением влажно-тепловой обработки, то возможно было бы выполнять полную заготовку паты рукава с отделочной строчкой. Для обработки клапанов нагрудных карманов последовательность обработки аналогичная. Швы, выполняемые на шаблонном полуавтомате, на схеме выделены желтым цветом (рис. 5).

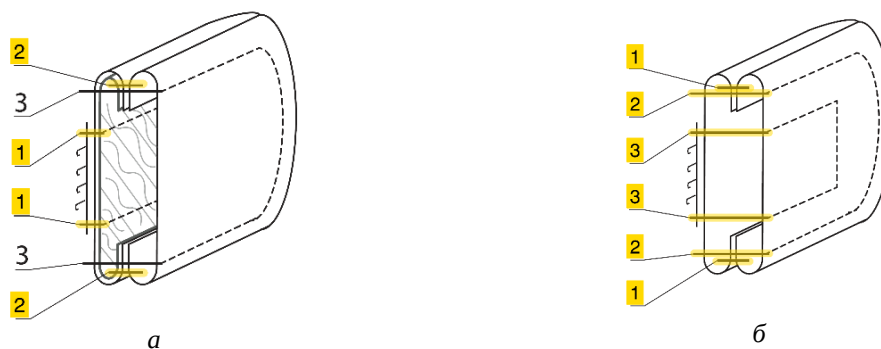


Рис. 5. Обработка паты рукава с применением автоматизированного оборудования:  
а – обработка паты рукава; б – обработка паты с формованием на прессе

Обработка накладного нагрудного кармана выполняется полностью на автоматизированном оборудовании (рис. 6): застрачиваются складки на полуавтомате для складок, обрабатывается верхний срез накладным швом на полуавтомате, а нижний срез обтачки подгибается и настрачивается на полуавтомате по застрачиванию срезов. Далее на полуавтомате программируемой строчки настрачиваются текстильные застежки велкро. Настрачивание кармана на полочку на карманном полуавтомате выполняется после заготовки центральной бортовой застежки на тесьму-молнию.

Заготовка прорезного кармана на рукаве (рис. 7) начинается с настрачивания детали - ограничителя на тесьму-молнию на закрепочном полуавтомате программируемой строчки. Далее на шаблонном полуавтомате обтачивается рамка входа в карман с предварительно заготовленной обтачкой, а вход в карман прорезается лазером. Обтачка кармана выворачивается внутрь, концы обтачки скрепляются с концами тесьмы-молнии на универсальной швейной машине и затем прокладывается отделочная строчка по 4-м сторонам входа в карман захватывая тесьму-молнию насквозь. На автомате накладным

швом настрачивается подзор на нижнюю подкладку кармана. На универсальной швейной машине обрабатывается подкладка кармана и затем на шаблонном полуавтомате прокладывается отделочно-скрепляющая строчка 9 по подкладке кармана.

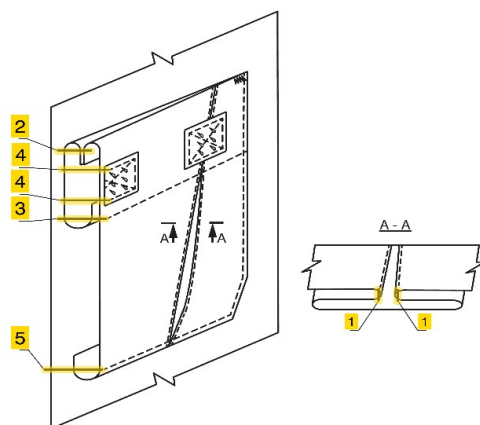


Рис. 6. Обработка накладного нагрудного кармана

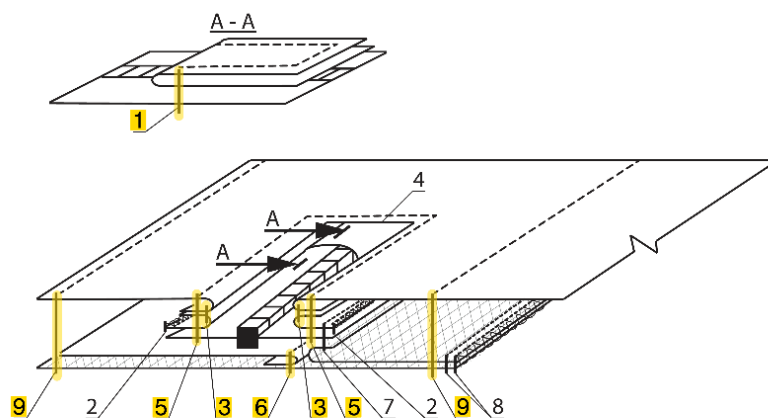


Рис. 7. Обработка прорезного кармана на рукаве с прокладыванием отделочно-скрепляющей строчки по подкладке кармана

После проектирования ластовицы стало возможным выполнять вентиляционные отверстия с применением автоматизированного оборудования. Отделочная строчка по перегибу листочки прокладывается на полуавтомате для складок. Обработка прорезной рамки (рис. 8) аналогична обработке прорезного кармана рукава, но с уточнением, что на универсальной швейной машине припуски шва обтачивания рамки настрачиваются на обтачку по 4 сторонам.

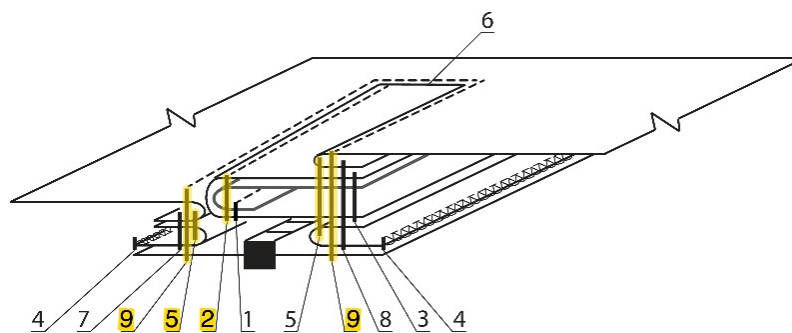


Рис. 8. Обработка бокового вентиляционного отверстия

Автоматизация технологических операций позволяет сократить общее время изготовления изделия, повысить производительность труда и улучшить качество готовой продукции за счет высокой точности оборудования. Кроме того, автоматизация помогает восполнить дефицит квалифицированных кадров и способствует росту занятости населения. При работе с шаблонным полуавтоматом швея заменяется на оператора – сотрудника, который может не иметь профильного образования в швейной

отрасли и не обладать навыками работы за швейной машиной. Это дает тройной эффект: во-первых, повышается загрузка полуавтомата; во-вторых, сокращает число оборудования – один такой автомат способен заменить несколько швейных машин; в-третьих, высвобождает швей, которых можно направить на выполнение более трудоемких и сложных операций.

Процесс производства одежды сопряжен с рядом объективных сложностей, поэтому полностью автоматизированное производство одежды в обозримом будущем остается лишь фантазией. Тем не менее это та перспектива, к которой необходимо стремиться. Уже сегодня существует множество предприятий, внедряющих отдельные элементы автоматизации, что вселяет надежду на появление фабрики с максимально возможной степенью автоматизации всех процессов. Особенно в условиях нехватки трудовых ресурсов такой путь становится единственно возможным для развития швейной промышленности.

#### **Список литературы**

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
2. Компания «Aitu (Zhejiang) Intelligent Sewing Technology Co., Ltd.». URL: <https://en.aitu-ai.com/> (дата обращения: 06.04.2026)
3. Компания «Somax Manufacturing». URL: <https://www.somax.com/manufacturing> (дата обращения: 06.04.2026)
4. Ганулич А.А. Комплексная автоматизация швейного производства. М.: ШВЕЙМАШ, 2021. 248 с.

#### **References**

1. Schwab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyuciya [The fourth industrial revolution]. Moscow. Eksmo, 2016. 208 pp. (in Rus.).
2. Aitu (Zhejiang) Intelligent Sewing Technology Co., Ltd. URL: <https://en.aitu-ai.com/> (date accessed: 06.04.2026)
3. Somax Manufacturing. URL: <https://www.somax.com/manufacturing> (date accessed: 06.04.2026)
4. Ganulich A.A. Kompleksnaya avtomatizatsiya shveynogo proizvodstva [Comprehensive Automation of Garment Manufacturing]. Moscow. Shveymash, 2021. 248 pp. (in Rus.).

УДК 004.5:004.055:159.937

**Е.А. Александрова**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**КОГНИТИВНЫЕ АСПЕКТЫ КАСТОМИЗАЦИИ ИНТЕРФЕЙСОВ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ:  
БАЛАНС ГИБКОСТИ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ НАГРУЗКИ.**

© Е.А. Александрова, 2025

*Кастомизация интерфейсов цифровых продуктов является важным инструментом адаптации взаимодействия под индивидуальные потребности пользователя, однако ее развитие сопровождается ростом когнитивной нагрузки. Гибкость интерфейса, с одной стороны, повышает удобство и вариативность использования, а с другой – усложняет процесс принятия решений. В статье проводится анализ типов кастомизации и когнитивных механизмов взаимодействия пользователя с интерфейсом цифровых продуктов, а также рассматриваются особенности реализации настраиваемых элементов в современных веб-приложениях. Обосновывается необходимость достижения баланса между вариативностью интерфейса и эффективностью пользовательского взаимодействия.*

**Ключевые слова:** кастомизация интерфейсов, пользовательский опыт, когнитивная нагрузка, цифровой продукт, UX-дизайн.

**E.A. Aleksandrova**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**COGNITIVE ASPECTS OF DIGITAL PRODUCT INTERFACE CUSTOMIZATION: BALANCING  
FLEXIBILITY AND USER WORKLOAD.**

*Customization of digital product interfaces is an important tool for tailoring interactions to individual user needs, but its development is accompanied by increased cognitive load. Interface flexibility, on the one hand, increases usability and variability, but on the other, it complicates the decision-making process. This article analyzes the types of customization and cognitive mechanisms of user interaction with digital product interfaces, and discusses the specifics of implementing customizable elements in modern web applications. The need to achieve a balance between interface variability and the effectiveness of user interaction is substantiated.*

**Keywords:** interface customization, user experience, cognitive load, digital product, UX design.

**Введение**

Развитие цифровых продуктов ведет к усложнению пользовательских интерфейсов и расширению возможностей их кастомизации. Сегодня веб-приложения позволяют настраивать визуальные, структурные, а также функциональные характеристики интерфейса, что влияет на удобство взаимодействия. Однако увеличение гибкости сопровождается ростом числа доступных опций и решений, что может приводить к интеллектуальному перенапряжению. Формируется парадокс: стремясь улучшить пользовательский опыт через гибкие настройки, разработчики делают продукт более запутанным.

Цель данной статьи состоит в исследовании механизмов когнитивного влияния кастомизации на пользователя, а также в определении критериев баланса между гибкостью интерфейса и эффективностью работы.

Для достижения вышеуказанной цели был поставлен ряд задач:

- рассмотреть теоретический базис исследования пользовательского опыта и умственной нагрузки;
- провести сравнительный анализ типов кастомизации на примере современных веб-приложений (Notion, Todoist, Google Calendar);
- выявить когнитивные механизмы, возникающие при взаимодействии пользователя с кастомизируемыми интерфейсами;
- определить факторы, влияющие на увеличение интеллектуальной нагрузки в условиях высокой степени гибкости интерфейса;

– обосновать необходимость достижения баланса между гибкостью интерфейса и эффективностью пользовательского взаимодействия.

### **Теоретическая основа исследования пользовательского опыта и когнитивной нагрузки**

Пользовательский опыт (UX) – это впечатления и ощущения от взаимодействия с каким-либо цифровым продуктом [1]. Он включает в себя удобство использования, функциональность, а также эмоциональный отклик. Все это напрямую сказывается на уровне умственного напряжения пользователя.

В контексте UX когнитивная нагрузка – это умственные усилия, прилагаемые в процессе изучения цифрового продукта [2]. Эти данные сохраняются в кратковременной памяти, а именно – в рабочей части. Ее ресурсы ограничены, поэтому избыточная сложность интерфейса может приводить к снижению эффективности взаимодействия и ухудшению пользовательского опыта.

В рамках данной проблематики особую роль играет понятие кастомизации интерфейсов, под которым рассматривается процесс целенаправленного изменения вида и функциональности элементов цифрового продукта, чтобы он соответствовал индивидуальным предпочтениям пользователя [3]. Существует также схожее понятие – персонализация, однако оно имеет ряд отличий. Во-первых, персонализация осуществляется системой автоматически на основе анализа данных пользователя и его поведенческих паттернов. Во-вторых, данный процесс не требует прямого участия человека. Таким образом, кастомизация активно вовлекает пользователя в формирование индивидуальной рабочей среды, что расширяет возможности взаимодействия, но одновременно может усложнять процесс принятия решений.

По мере развития цифровых продуктов переход от статичных, фиксированных интерфейсов к гибким и адаптивным системам стал более заметным. На ранних этапах развития программного обеспечения рабочая среда пользователя была ориентирована на универсальный сценарий использования, за счет чего взаимодействие было предсказуемым, но уровень адаптации под индивидуальные настройки был низким. С развитием веб-технологий начали появляться элементы настройки интерфейса, которые позволяли изменять отдельные параметры отображения и функциональности. С течением времени подобные механизмы модифицировались в системы кастомизации, охватывающие различные уровни взаимодействия с цифровым продуктом.

В современном мире увеличивается количество пользовательских сценариев, что влечет за собой устойчивый рост сложности интерфейсов. Одновременно с этим кастомизация становится привычным инструментом настройки для большинства веб-приложений, позволяя пользователю адаптировать интерфейс под свои потребности. Однако на практике увеличение числа доступных опций не всегда позитивно сказывается на UX. Напротив, избыточная вариативность может затруднять взаимодействие, повышать когнитивную нагрузку и увеличивать количество решений, необходимое для выполнения тех или иных задач. Исходя из этого развитие кастомизации приобретает двойственный характер, где гибкость может компенсироваться ростом сложности использования.

Несмотря на большое количество исследований в области UX-дизайна и когнитивной психологии, тема пределов эффективной кастомизации остается недостаточно разработанной.

### **Типы кастомизации и сравнительный анализ**

Существует три типа кастомизации: визуальная, структурная и функциональная. Такое распределение затрагивает все аспекты интерфейсов цифровых продуктов.

Визуальная кастомизация напрямую касается настройки внешнего оформления. К данному типу относится цветовое решение, темы, шрифты, отображаемые размеры, паттерны. Именно данные настройки играют ключевую роль в эмоциональном восприятии продукта. Так, например, в социальной сети «ВКонтакте» можно выбрать фон для чата, цвета основных элементов и так далее. Данный пример изображен на рис. 1.

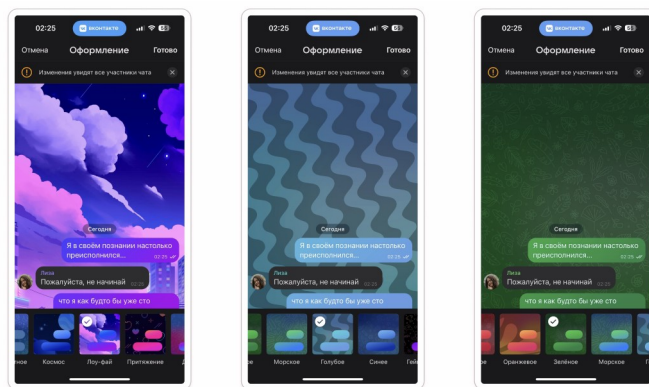


Рис. 1. Пример визуальной кастомизации

Структурная кастомизация позволяет изменять порядок элементов в соответствии с желанием пользователя. Этот тип меняет навигацию и требует от пользователя четкого понимания структуры интерфейса, что усиливает когнитивную нагрузку при взаимодействии. В качестве примера можно привести веб-приложение «Trello», которое позволяет передвигать списки с карточками, размещенные на доске. Это показано на рис. 2.

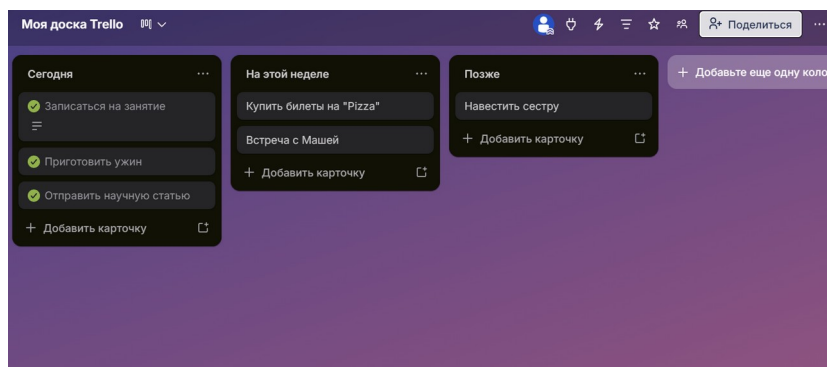


Рис. 2. Пример структурной кастомизации

Функциональная кастомизация, в свою очередь, позволяет менять набор возможностей и способы работы с системой. Она может выражаться в подключении или отключении модулей, настройке автоматизаций, интеграций и пользовательских правил поведения. Данный тип связан с изменением логики работы продукта и оказывает прямое влияние на способы выполнения задач в интерфейсе. Например, в «Notion» существует возможность внедрения интеграций (Google Maps, Figma, Trello). Это проиллюстрировано на рис. 3.

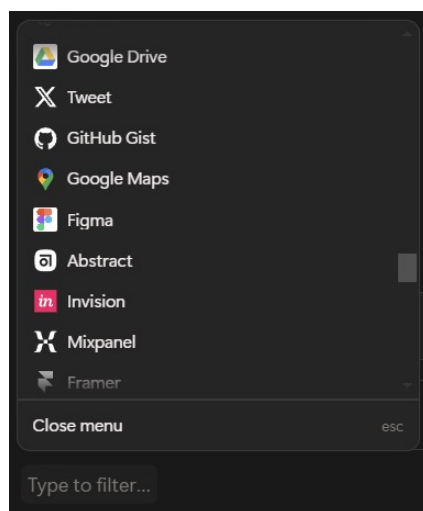


Рис. 3. Пример функциональной кастомизации

Далее будет рассмотрена практическая реализация вышеописанных типов кастомизации на примере сравнения трех современных веб-приложений из сферы планирования задач. «Notion» – единая цифровая среда для создания текстовых документов, заметок, канбан-досок, планирования, ведения проектов, списков дел и совместной работы [4]. На данном ресурсе наблюдается высокая степень структурной и функциональной гибкости: пользователю доступна возможность самостоятельно конструировать страницы, комбинировать блоки, настраивать приватность, создавать базы данных, планировать график и формировать индивидуальную архитектуру рабочего пространства. В данном случае гибкость системы повышает ее адаптивность, но затрудняет освоение приложения и увеличивает количество решений, принимаемых пользователем. Интерфейс «Notion» представлен на рис. 4.

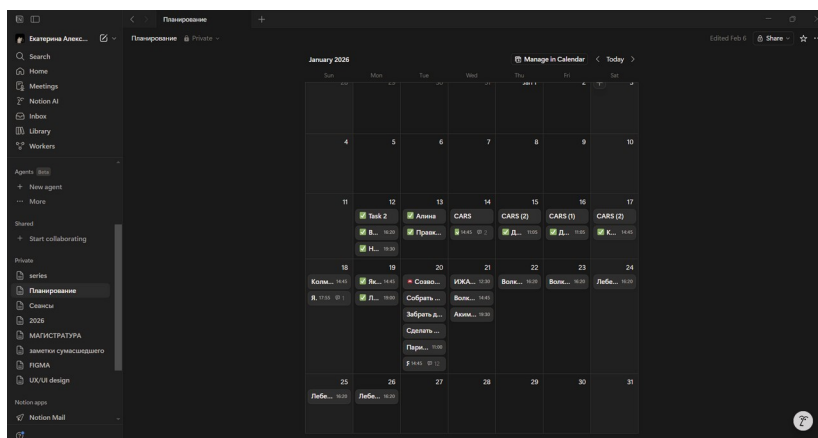


Рис. 4. Интерфейс «Notion»

«Todoist», в отличие от «Notion» носит более узконаправленный характер. Этот ресурс представляет собой таск-менеджер и веб-приложение для списков дел [5]. Здесь возможности кастомизации более ограничены и преимущественно затрагивают визуальные настройки, фильтрацию задач и организацию проектов в рамках заданной структуры. Такая модель обеспечивает баланс между гибкостью и предсказуемостью, снижая когнитивную нагрузку и ускоряя процесс взаимодействия. Однако при этом возможности индивидуальной настройки ограничены. Интерфейс «Todoist» представлен на рис. 5.

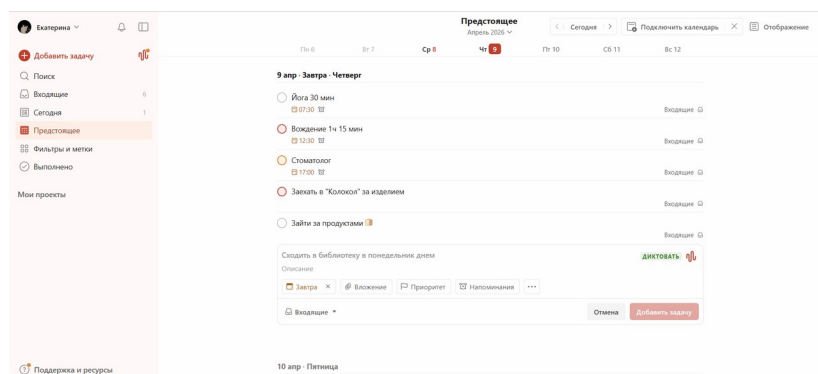


Рис. 5. Интерфейс «Todoist»

«Google Calendar», в свою очередь, демонстрирует минимальный уровень возможностей кастомизации, ограничиваясь преимущественно визуальными настройками и выбором представлений календаря (день, неделя, месяц) [6]. Структура и функциональная логика фиксированные, что говорит о высокой предсказуемости интерфейса и минимизирует необходимость дополнительных решений со стороны пользователя. Интерфейс «Google Calendar» представлен на рис. 6.

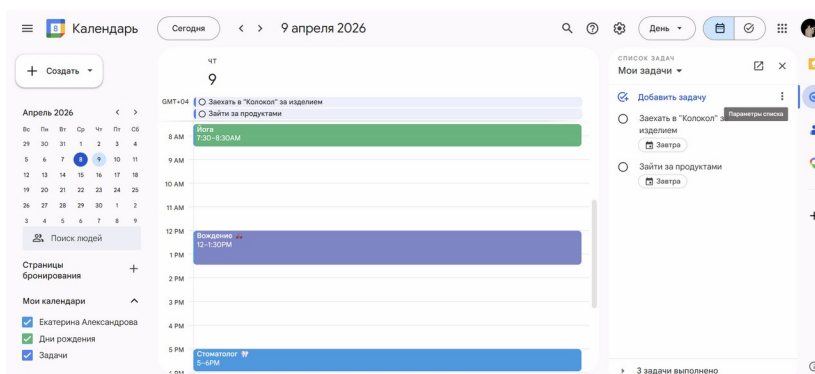


Рис. 6. Интерфейс «Google Calendar»

Таким образом, рассмотренные цифровые продукты демонстрируют различные подходы к реализации кастомизации внутри интерфейса: от высокой степени свободы и вариативности до строго структурированной и ограниченной модели. Обозначенные различия оказывают прямое влияние на характер пользовательского взаимодействия. В процессе тестирования веб-приложений увеличение возможности индивидуальной настройки сопровождалось ростом когнитивной нагрузки, тогда как более жестко заданные «правила» обеспечивали ее снижение за счет предсказуемости и уменьшения числа альтернативных решений. При этом воздействие кастомизации на поведение пользователя определяется не только ее объемом, но и контекстом использования. В более сложных и продолжительных сценариях (ведение проектов, совместная работа) пользователи чаще готовы инвестировать усилия в настройку системы, тогда как для выполнения простых задач (планирование дня, ведение заметок) предпочтение отдается минимальной вариативности интерфейса.

### Особенности восприятия кастомизируемых интерфейсов

Процесс взаимодействия пользователя и интерфейса с возможностью кастомизации задействует ряд механизмов. К ним относятся: внимание, восприятие, принятие решений и обучение. Все это повышает уровень когнитивной нагрузки во время использования цифрового продукта.

При контакте с кастомизацией внимание человека одновременно направлено на разные задачи: изменение настроек под индивидуальные потребности и изучение интерфейса программы. Следствием этого является снижение концентрации и в некоторых случаях полная потеря интереса к дальнейшему освоению. Данное явление чаще всего возникает при первом взаимодействии с ресурсом.

Восприятие информации зависит от формата отображения. Пользователь может подстроить среду под собственные предпочтения, но существует риск потери логики продукта. Тем самым когнитивная нагрузка станет выше. Для того, чтобы это избежать, важно настраивать опции в разумных пределах.

Значительную роль также играет процесс принятия решений, основанный на выборе между несколькими вариантами. Интеллектуальное напряжение возрастает, если спектр предоставленной вариативности достаточно велик.

Принятию решения предшествует обучение, где человеку приходится не просто осваивать базовый функционал, но и вникать в логику адаптации среды под себя. На данном этапе прилагаются дополнительные усилия.

В совокупности все эти процессы напрямую влияют на уровень умственной нагрузки. Поэтому при создании цифровых продуктов важно обращать внимание на все пункты.

### Зависимость ментального напряжения от адаптивности интерфейса

Избыточное количество инструментов настройки расширяет спектр выбора, заставляя пользователя совершать массу вспомогательных операций. Подобная перегруженность может привести к фрустрации и полному отказу от работы с продуктом.

Однако стоит также учитывать контекст применения цифрового продукта. Например, если человек планирует пользоваться каким-либо приложением для выполнения несложных краткосрочных задач, то излишняя «податливость» интерфейса может вызвать дополнительные трудности. А в случае, если пользователь хочет длительно работать над чем-либо, то глубокая персонализация будет восприниматься как инструмент повышения эффективности.

Итак, можно сделать вывод, что большое количество кастомизируемых элементов может стать источником ментального давления на пользователя, но это зависит от сложности выполняемой задачи.

### Связь гибкости интерфейса и эффективности взаимодействия

Пункты данного исследования, которые описаны выше, говорят о двойственном характере высокого уровня кастомизации. С одной стороны, она позволяет настраивать интерфейс под индивидуальные предпочтения, а с другой – усложняет взаимодействие и негативно сказывается на росте когнитивной нагрузки. Это говорит о том, что важно определить границы «золотой середины», в рамках которой гибкость интерфейса будет помогать пользователю, а не препятствовать.

Важно, чтобы по мере усложнения структуры продукта и роста предоставляемых решений ресурс оставался предсказуемым. Это возможно достичь, если кастомизация будет поэтапной, и если будет сохраняться базовая логика интерфейса при любом уровне гибкости. При соблюдении этих «правил» качество UX будет повышаться, что положительно скажется на эффективности взаимодействия.

Таким образом, вариативность интерфейса и его предсказуемость должны гармонично сосуществовать друг с другом. В таком случае кастомизация будет положительно сказываться на уровне когнитивной нагрузки.

### **Заключение**

Высокая степень кастомизации может влиять на эффективность взаимодействия как в положительном, так и в отрицательном ключе. В зависимости от контекста использования и пользовательского опыта, гибкость интерфейса может приводить либо к повышению когнитивной нагрузки, либо к улучшению взаимодействия. Важным фактором положительного влияния кастомизации является сохранение предсказуемости интерфейса в рамках высокой вариативности настройки. Это достигается поэтапной кастомизацией и сохранением базовой логики ресурса.

Практическая значимость заключается в возможности применения обозначенных положений о грамотном внедрении высокого уровня кастомизации в процессе проектирования цифровых продуктов.

В качестве дальнейших исследований целесообразна будет разработка рекомендаций для определения оптимальной степени кастомизации интерфейсов.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры цифровых и аддитивных технологий, Славникова М.А.*

*Scientific supervisor: senior lecturer of the department of digital and additive technologies Maria Aleksandrovna Slavnikova*

### **Список литературы**

1. Пользовательский опыт, user experience, UX. URL: <https://netology.ru/glossariy/polzovatel'skiy-opyt> (дата обращения: 01.04.2026)
2. Когнитивная нагрузка. URL: <https://askusers.ru/blog/osnovy-ux/kognitivnaya-nagruzka/> (дата обращения: 01.04.2026)
3. Кастомизация интерфейса в цифровых продуктах. URL: <https://brainlab.com.ua/blog/kastomizacziya-interfejsa-v-czifrovyh-produktah> (дата обращения: 01.04.2026)
4. Notion. URL: <https://www.notion.com/> (дата обращения: 03.04.2026)
5. Todoist. URL: <https://www.todoist.com/ru> (дата обращения: 04.04.2026)
6. Google Calendar. URL: <https://calendar.google.com/> (дата обращения: 07.04.2026)

### **References**

1. Polzovatel'skij opyt, user experience, UX. URL: <https://netology.ru/glossariy/polzovatel'skiy-opyt> [User experience, user experience, UX]. (date accessed: 01.04.2026)
2. Kognitivnaya nagruzka. URL: <https://askusers.ru/blog/osnovy-ux/kognitivnaya-nagruzka/> [Cognitive load]. (date accessed: 01.04.2026)
3. Kastomizaciya interfejsa v cifrovyh produktah. URL: <https://brainlab.com.ua/blog/kastomizacziya-interfejsa-v-czifrovyh-produktah> [Interface customization in digital products]. (date accessed: 01.04.2026)
4. Notion. URL: <https://www.notion.com/> (date accessed: 03.04.2026)
5. Todoist. URL: <https://www.todoist.com/ru> (date accessed: 04.04.2026)
6. Google Calendar. <https://calendar.google.com/> (date accessed: 07.04.2026)

УДК 004.8 004.92 7.087.5

**М.А. Зотова**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОЦЕСС 2D-ГРАФИЧЕСКОГО  
ДИЗАЙНА КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР: МЕТОДЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДОРАБОТКА AI-  
КОНТЕНТА**

© М.А. Зотова, 2026

*В статье исследуется влияние генеративного искусственного интеллекта на процесс создания 2D-графики для компьютерных игр. Проведен анализ актуальных нейросетевых моделей, таких как Stable Diffusion, Nano Banana и передовой архитектуры Nano Banana 2. Научная новизна работы заключается в формализации нового производственного пайплайна, интегрирующего нейросети на всех этапах: от концептуализации до финальной доработки ассетов. Сравнивается классический и предложенный пайплайн, оценивается эффективность внедрения AI-инструментов, а также анализируются сопутствующие технические и художественные проблемы.*

**Ключевые слова:** нейросетевые инструменты, 2D-графика, игровой ассет, генеративные модели, гибридный пайплайн, постобработка AI-контента, автоматизация, prompt engineering, Nano Banana 2, Stable Diffusion.

**М.А. Zotova**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**INTEGRATION OF NEURAL NETWORK TOOLS INTO THE PROCESS OF 2D GRAPHIC DESIGN  
OF COMPUTER GAMES: METHODS, AUTOMATION AND REFINEMENT OF AI CONTENT**

*The article examines the influence of generative artificial intelligence on the process of creating 2D graphics for computer games. The analysis of current neural network models such as Stable Diffusion, Nano Banana and the advanced Nano Banana 2 architecture is carried out. The scientific novelty of the work lies in the formalization of a new production pipeline that integrates neural networks at all stages: from conceptualization to the final refinement of assets. The classical and proposed pipelines are compared, the effectiveness of the implementation of AI tools is evaluated, and related technical and artistic problems are analyzed.*

**Keywords:** neural network tools, 2D graphics, game assets, generative models, hybrid pipeline, post-processing of AI content, automation, prompt engineering, Nano Banana 2, Stable Diffusion.

**Введение**

Развитие современной видеоигровой индустрии напрямую зависит от скорости производства качественного визуального контента. Масштабы мирового рынка диктуют необходимость непрерывного поиска новых путей оптимизации ресурсов. Генеративные сети прошли этап экспериментальных разработок. В индустрии компьютерных игр данные технологии интегрируются в промышленные пайплайны, достигая стадии, которую в цикле зрелости технологий принято обозначать как «плато продуктивности».

Внедрение методов искусственного интеллекта в процессы 2D-дизайна трансформирует сложившиеся производственные практики. Линейные пайплайны, характеризующиеся высокой ресурсоемкостью и значительными временными затратами, замещаются динамическими подходами. В рамках последних алгоритмы принимают на себя функции первичной концептуализации, генерации текстур и создания драфтовых изображений. Однако фрагментарное использование отдельных моделей, таких как Stable Diffusion или Nano Banana 2, не обеспечивает воспроизводимости результата. Для сохранения контроля над итоговым художественным качеством возникает необходимость выстраивания гибридных рабочих процессов с их последующей строгой формализацией. Данное исследование продиктовано острым запросом индустрии на удешевление и ускорение производства 2D-графики. Подобная потребность одинаково сильна как у независимых инди-команд, так и у крупных игроков рынка. Современные архитектуры, в частности Nano Banana 2 (Gemini 3 Flash Image), демонстрируют впечатляющую объектную консистентность и высокую степень детализации. Задействуя этот потенциал, команды разработчиков способны на 40% и более сократить время создания базовых текстур и концептов.

Задачи исследования:

1. Провести критический обзор теоретических основ и архитектурных особенностей современных нейросетей (диффузионные модели, GAN, мультимодальные системы), применяемых в графическом дизайне.

2. Проанализировать стандартный пайплайн разработки 2D-графики и идентифицировать этапы, наиболее благоприятные для внедрения нейросетевых алгоритмов (концепт-арт, текстурирование, локализация).

3. Разработать и формализовать авторский гибридный пайплайн, интегрирующий инструменты семейства Nano Banana и Stable Diffusion на разных стадиях проектирования.

4. Провести сравнительный анализ эффективности традиционного и спроектированного пайплайнов по критериям временных затрат, вариативности контента и качества финальной постобработки.

5. Выявить ключевые проблемы и ограничения при интеграции ИИ в рабочий процесс (артефакты, вопросы авторского права, необходимость ручной доработки) и предложить методы их минимизации.

#### **Анализ актуальных нейросетевых инструментов**

Внедрение алгоритмов машинного обучения в пайплайн производства 2D-графики требует тщательного отбора инструментов, так как качество генерируемого контента и степень контроля над ним напрямую зависят от архитектуры используемой нейросети. Для интеграции в рабочий процесс были проанализированы три генеративные модели, представляющие различные подходы к синтезу изображений: Stable Diffusion, Nano Banana и передовая архитектура Nano Banana 2.

**Stable Diffusion.** Архитектура Stable Diffusion функционирует на базе скрытой диффузионной модели (Latent Diffusion Model, LDM) с открытым исходным кодом. Ключевое отличие данной системы от проприетарных коммерческих аналогов заключается в переносе процессов генерации в сжатое скрытое пространство (latent space). Подобный метод оптимизации существенно сокращает вычислительные издержки, гарантируя при этом сохранение высокой степени детализации итогового изображения. Интеграция Stable Diffusion в процессы разработки видеоигр продиктована структурной модульностью системы. Применение специализированных нейросетевых расширений, в частности ControlNet, обеспечивает профильным специалистам строгий контроль над композицией посредством анализа карт глубины (Depth maps), контуров (Canny edges) и скелетной анимации (OpenPose).

Соблюдение точных габаритов и заданной перспективы (например, изометрии) выступает критическим требованием при проектировании 2D ассетов [1]. Кроме того, технология LoRA (Low-Rank Adaptation) позволяет студиям дообучать модель на собственных артах, добиваясь таким образом стилистической консистентности.

Главным недостатком и сдерживающим фактором широкого внедрения выступает высокий порог вхождения и необходимость в мощных локальных вычислительных ресурсах [2].

**Nano Banana.** Архитектура предыдущего поколения, проектировалась преимущественно для высокоскоростной обработки запросов формата text-to-image. В рамках пайплайнов небольших индустрий она часто применялась на ранних этапах: для оперативной генерации идей, подбора колористических палитр и формирования мудбордов. Высокая скорость обработки данных нивелировалась неспособностью оригинальной модели корректно интерпретировать сложный пространственный контекст. Система систематически игнорировала комплексные текстовые спецификации и не располагала функционалом для локального редактирования сгенерированных областей. Указанные технические ограничения исключали возможность применения алгоритма для финального рендеринга графических ресурсов. К настоящему моменту производственный сектор практически полностью исключил данный инструмент из активного использования.

**Nano Banana 2,** (официальная техническая номенклатура – Gemini 3 Flash Image) представляет собой модель уровня state-of-the-art. Внедрение обновленной архитектуры решает фундаментальную проблему генеративного дизайна, связанную с фрагментарностью рабочих этапов. Интегрированная глубокая мультимодальность трансформирует процессы первичной генерации и последующего точечного редактирования графики в единый непрерывный технологический цикл.

Для 2D-художников компьютерных игр Nano Banana 2 предлагает три критически важных режима работы:

1. Text-to-image: Генерация высокоточных концептов с глубоким пониманием семантики запроса.

2. Image+text-to-image (Inpainting/Editing): Направленное редактирование. Художник может выделить элемент брони персонажа и текстом попросить нейросеть изменить его дизайн, не затрагивая остальной спрайт.

3. Multi-image-to-image (Композиция и Style Transfer): наиболее значимая функция для геймдева. Модель способна анализировать несколько исходных изображений, безошибочно перенося

художественный стиль (style transfer) с эталонного ассета игры на новый черновой набросок. Это позволяет студиям поддерживать строгую стилистическую консистентность без сложной настройки узлов (нодов), как это требуется в Stable Diffusion.

Для обоснования выбора конкретных инструментов на различных этапах предложенного пайплайна был проведен сравнительный анализ их характеристик (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ актуальных генеративных моделей для 2D-графики

Критерий оценки	Stable Diffusion	Nano Banana	Nano Banana 2 (Gemini 3 Flash Image)
Архитектура	Latent Diffusion Model (Open Source)	Text-to-Image генератор (Legacy)	State-of-the-art мультимодальная модель
Режимы работы	txt2img, img2img, inpaint, ControlNet	txt2img	txt2img, image+text-to-image, multi-image-to-image
Уровень контроля геометрии	Абсолютный (через ControlNet)	Низкий (рандомная генерация)	Высокий (через семантическое понимание и inpainting)
Сохранение стилистики проекта	Требует дообучения (LoRA, Dreambooth)	Практически невозможно	Нативная поддержка Style Transfer и композиции
Роль в пайплайне геймдева	Генерация базовых форм (лайн-арт), строгий изометрический рендер	Быстрый поиск идей, мудборды	Style transfer, направленный рендер, редактирование деталей
Порог вхождения	Очень высокий (требует знания нодовой логики)	Низкий	Низкий / Средний (требует навыков промпт-инжиниринга)
Вычислительные требования	Высокие (мощные локальные GPU)	Низкие (облачные вычисления)	Низкие (мощные облачные вычисления)

### Трансформация стандартного пайплайна разработки 2D-графики

Традиционный процесс создания 2D-ассетов (персонажей, элементов окружения, интерфейсов) представляет собой линейную и ресурсоемкую последовательность действий. Стандартный пайплайн включает этапы сбора референсов, чернового скетчинга, создания лайн-арта (чистового контура), заливки базовыми цветами и длительного детализированного рендера (работа со светом, тенью и фактурой материалов) [3]. Внедрение нейросетей позволяет автоматизировать отдельные процессы разработки и избавить художников от утомительных элементов игрового дизайна.

Внедряя нейросети в процесс создания компьютерных игр, можно передать некоторые ресурсозатратные задачи ИИ. Интеграция генеративного искусственного интеллекта кардинально трансформирует саму парадигму производства. Роль 2D-художника смещается с механического исполнения на арт-дирекшен, промпт-инжиниринг и селекцию наилучших вариантов. Как отмечается в современных исследованиях, нейросеть способна стать креативным и интеллектуальным партнером участников разработки видеоигры, обеспечивая генерацию вариантов решений и эффективное взаимодействие разработчиков.

Наиболее результативное использование подобной технологии можно наблюдать на стадии создания концептов. В таблице 2 представлено сравнение традиционного подхода с предлагаемым пайплайном, интегрирующим актуальные нейросетевые решения.

Таблица 2. Сравнительный анализ пайплайнов создания 2D-ассета

Этап	Стандартный пайплайн (Классический)	Интегрированный AI-пайплайн (Предложенный)
Идея и мудборд	Ручной сбор референсов (Pinterest, ArtStation). Составление коллажей	Промптинг в Nano Banana 2 для быстрой генерации десятков вариаций идей
Концептуализация (Скетчинг)	Отрисовка 5-10 черновых силуэтов и скетчей вручную	Использование Stable Diffusion (txt2img) или Nano Banana 2 для генерации концепт-артов на основе общего описания

Продолжение таблицы 2

Лайн-арт и базовый цвет	Ручная обводка утвержденного скетча, заливка базовыми цветами	Использование ControlNet в Stable Diffusion для сохранения формы при автоматической заливке цветом
Рендер (Свет, тень, объем)	Длительная ручная прорисовка материалов, теней, бликов	Использование функции переноса стиля в Nano Banana 2 на основе готовых ассетов игры для автоматического рендера
Полировка и доработка	Финальная цветокоррекция, исправление мелких ошибок вручную	Ручная доработка артефактов ИИ, исправление анатомии, подгонка под сетку движка

### Проектирование интегрированного AI-пайплайна

Для решения проблемы разрозненности инструментов в рамках данного исследования спроектирован и формализован комплексный AI-пайплайн. Этот подход способствует точному и полному воссозданию замысла геймдизайнера благодаря концептам нейросетей, сводя к минимуму риск субъективной технической интерпретации. Разработанный пайплайн базируется на синергии моделей Stable Diffusion и Nano Banana 2 (Gemini 3 Flash Image). Интегрированные архитектуры не дублируют функции друг друга, а решают строго определенные задачи в зоне своей максимальной эффективности.

Предложенный пайплайн состоит из четырех ключевых этапов:

Этап 1 – формирование концепции с помощью Nano Banana 2. На данном этапе формируется общее текстовое описание задачи. Гибридные возможности архитектуры Nano Banana 2 позволяют генерировать несколько изображений на основе первичного промта. Этот подход позволяет быстро проверить множество композиционных и цветовых решений без существенных производственных затрат.

Этап 2 – контроль геометрии в Stable Diffusion. Когда определена общая концепция, черновой скетч переносится в модель, и дальнейшая работа ведётся с модулем ControlNet. Данный модуль позволяет обеспечить соблюдение технических требований движка, избранной изометрической проекции и модульной сетки. Полученный в первом этапе черновой скетч ограничивает нейросеть и заставляет её генерировать изображения в заданных границах.

Этап 3 – Стилизация и работа с материалами в Nano Banana 2. На этом этапе применяется функция multi-image-to-image. В модель подгружают сгенерированный на прошлом этапе доработанный черновик и набор ассетов эталонного качества (референсы на стиль и качество рендера), и модель осуществляет перенос стиля, формируя тем самым предфинальный рендер.

Этап 4 – Ручной overpaint. На данном этапе происходит ручная доработка ассета специалистом, исправляются типичные нейронные артефакты (частицы, искажения анатомии) и осуществляется декомпозиция: ассет нарезается на необходимые слои для подготовки к анимации и для удобства дальнейшего переиспользования ассета в арт-команде.

### Сравнение эффективности и анализ проблем

Внедрение разработанного AI-пайплайна дает прирост производительности. Практические эксперименты показывают: применение генеративных моделей сокращает время, затрачиваемое на предварительные стадии разработки, на 40%. Интеграция нейросетей в процесс создания видеоигровых персонажей автоматизирует отдельные этапы, снижая трудозатраты и высвобождая ресурсы.

В таблице 3 приведено сравнение усредненных временных затрат на разработку сложного 2D-ассета классическим методом и с применением предложенного AI-пайплайна.

Таблица 3. Сравнительная эффективность этапов пайплайна (в часах)

Этап разработки	Классический пайплайн	Интегрированный AI-пайплайн	Изменение времени
Сбор референсов и поиск идеи	4-6 часов	1-2 часа	Снижение на 70%
Скетчинг и построение геометрии	6-8 часов	2-3 часа	Снижение на 64.3%
Базовый цвет и детализированный рендер	12-16 часов	3-4 часа	Снижение на 75%
Пост-обработка и нарезка на слои	2-4 часа	6-8 часов	Увеличение на 133.3%
ИТОГО:	24-34 часа	12-17 часов	Снижение на 50%

Данные таблицы демонстрируют сдвиг парадигмы: время экономится на рутинном рендере и поиске форм, но затраты на финальную доработку значительно возрастают. Таким образом, внедрение ИИ в пайплайн сокращает длительный процесс разработки до нескольких часов генерации, что делает отрасль доступной для большего числа создателей 2D контента для компьютерных игр.

Тем не менее, внедрение нейросетей связано с существенными ограничениями. В ходе исследования выявлен ряд технических и методологических проблем.

Качество генерируемого контента напрямую зависит от исходных данных: неточности в обучении модели приводят к артефактам. Нейросети часто генерируют нелогичную топологию (лишние элементы, асимметрию, искажения анатомии).

Для обучения моделей требуются высокие вычислительные мощности. Например, локальный запуск Stable Diffusion с модулями ControlNet требует дорогостоящих видеокарт с большим объемом VRAM.

Также для современных 2D-игр графика анимируется скелетным методом (например, в Spine 2D). ИИ генерирует «слитое» плоское изображение. Разделение ассета на независимые слои и ручная дорисовка «слепых зон», перекрытых другими элементами, остаются исключительно ручной задачей. Полная автоматизация данного этапа на текущий момент недостижима.

### **Заключение**

В проведенном исследовании разработан и формализован интегрированный пайплайн создания 2D-графики для компьютерных игр на базе нейросетевых моделей Stable Diffusion и Nano Banana 2. Проект служит инструментом для комплексной оптимизации процесса разработки визуальных ассетов, с акцентом на автоматизацию рутинных задач рендеринга и поиска идей.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Проведен обзор актуальных генеративных моделей искусственного интеллекта, рассмотрены их архитектурные особенности и специфика применения в современном игровом дизайне.
2. Определены подходы к трансформации классического производственного конвейера и интеграции AI-инструментов на различных стадиях работы художника.
3. Разработана архитектура интегрированного пайплайна, в которой нейросети последовательно применяются для концептуализации, строгого контроля геометрии и автоматического переноса стиля (style transfer).
4. Произведена оценка эффективности разработанного решения (продемонстрировано двукратное ускорение производства), а также описаны технические ограничения и перспективы использования ИИ в студиях различного масштаба.

Таким образом, предложенный пайплайн служит аналитической и практической основой для дальнейших исследований и разработки методик внедрения искусственного интеллекта в геймдев. Он раскрывает как технологические, так и художественно-методологические возможности генеративных сетей при создании и доработке 2D-контента в современной игровой индустрии.

*Научный руководитель: Доцент кафедры цифровых и аддитивных технологий СПбГУПТД, кандидат технических наук Якуничева Е.Н.*

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of Digital and Additive Technologies of St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Candidate of Technical Sciences Yakunicheva E.N.*

### **Список литературы**

1. Годин В.В., Терехова А.Е., Булатов Д.Н., Заремба Ю. А. Использование нейронных сетей в видеоигровой индустрии. Вестник ГУУ. 2024. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyronnyh-setey-v-videoigrovoy-industrii> (дата обращения: 26.11.2025)
2. Xie, J. Analysis of Procedural Content Generation and Stylisation Techniques in Developing Video Games, Transactions on Computer Science and Intelligent Systems Research. 9. 2025. 450-455 pp.
3. Пеганов Н.А. Использование нейросетей в компьютерных играх. Вестник науки. 2025. №6 (87). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyrosetey-v-kompyuternyh-igrah> (дата обращения: 26.11.2025)
4. Кадыров П.Р. Использование генеративного искусственного интеллекта крупными игровыми студиями при разработке игр. Вестник науки. 2024. №6 (75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-generativnogo-iskusstvennogo-intellekta-kрупnymi-igrovymi-studiyami-pri-razrabotke-igr> (дата обращения: 26.11.2025)
5. Ильинская Е.В., Гольщикова Е.Н., Медведев А.А., Масалитин Н.С. Применение генеративно-состязательных нейросетей для генерации изображений. Научный результат. Информационные технологии. 2024. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-generativno-sostyazatelnyh-neyrosetey-dlya-generatsii-izobrazheniy> (дата обращения: 01.12.2025)

6. Фостер Д. Генеративное глубокое обучение. Как не мы рисуем картины, пишем романы и музыку. 2-е межд. изд. Санкт-Петербург: Питер, 2024. 448 с.

## References

1. Godin V.V., Terekhova A.E., Bulatov D.N., Zaremba Y.A. *Ispol'zovanie neyronnykh setej v videoigrovoj industrii*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyronnykh-setej-v-videoigrovoj-industrii> [The use of neural networks in the video game industry]. Bulletin of GUU. №8. 2024. (date accessed: 26.11.2025)
2. Xie, J. Analysis of Procedural Content Generation and Stylization Techniques in Developing Video Games, Transactions on Computer Science and Intelligent Systems Research, 9, 2025. 450-455 pp.
3. Peganov N. A. *Ispol'zovanie nejrosetej v komp'yuternykh igrakh* URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyrosetej-v-kompyuternykh-igrakh> [The use of neural networks in computer games]. Bulletin of Science. No. 6 (87). 2025. (date accessed: 26.11.2025)
4. Kadyrov P. R. *Ispol'zovanie generativnogo iskusstvennogo intellekta krupnymi igrovymi studiyami pri razrabotke igr* URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-generativnogo-iskusstvennogo-intellekta-krupnymi-igrovymi-studiyami-pri-razrabotke-igr> [The use of generative artificial intelligence by major game studios in game development] Bulletin of Science. No. 6 (75). 2024. (date accessed: 26.11.2025)
5. Ilinskaya E. V., Golysheva E. N., Medvedev A. A., Masalitin N. S. *Primenenie generativno-sostyazatel'nykh nejrosetej dlya generatsii izobrazhenij* URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-generativno-sostyazatelnyh-neyrosetej-dlya-generatsii-izobrazheniy> [The use of generative-adversarial neural networks for image generation] Scientific result. Information technology. No. 1. 2024. (date accessed: 12.01.2026)
6. Foster D. *Generativnoe glubokoe obuchenie. Kak ne my risuem kartiny, pishem romany i muzyku*. [Generative deep learning. Just like we don't paint paintings, write novels, and write music]. 2nd international ed. St. Petersburg: Peter, 2024. 448 pp. (in Rus.).

УДК 004.738.5:004.91:316.472

**В.Д. Калинина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **ПУБЛИЧНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ КАК СРЕДСТВО ВОВЛЕЧЕНИЯ В ВОЛОНТЁРСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

© В.Д. Калинина

*В статье рассматриваются публичные цифровые интерфейсы как средство вовлечения пользователей в волонтерскую деятельность в городской среде. Сопоставлены концептуальные подходы, проанализированы аналоги и выделены ключевые пользовательские группы. Обоснована концепция интерактивного городского модуля, ориентированного на первичное вовлечение неподготовленной аудитории. Особое внимание уделено визуальной доступности интерфейса, сценарной организации взаимодействия и снижению порога вхождения.*

**Ключевые слова:** публичные цифровые интерфейсы; волонтерская деятельность; вовлечение пользователей; городской модуль; городская среда; UX-дизайн.

**V.D. Kalinina**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **PUBLIC DIGITAL INTERFACES AS A TOOL FOR ENGAGING IN VOLUNTEER ACTIVITY IN THE URBAN ENVIRONMENT**

*The article considers public digital interfaces as a tool for engaging users in volunteer activity in an urban environment. Conceptual approaches are compared, existing analogues are analyzed, and key user groups are identified. The concept of an interactive urban module aimed at the initial engagement of unprepared audiences is substantiated. Special attention is paid to visual accessibility, scenario-based interaction, and lowering the entry barrier to volunteer participation.*

**Keywords:** public digital interfaces; volunteer activity; user engagement; urban module; urban environment; UX design.

В условиях цифровой трансформации городской среды публичные цифровые интерфейсы приобретают все большее значение как средство коммуникации между городом и его жителями. Интерактивные экраны, сенсорные киоски и цифровые модули используются не только для навигации и предоставления информации, но и как инструменты вовлечения граждан в общественные инициативы. В этом контексте особенно интересна сфера волонтерства, поскольку традиционные каналы коммуникации не всегда могут эффективно охватить широкую и неподготовленную аудиторию.

Важность волонтерской деятельности в Российской Федерации закреплена на законодательном уровне. В частности, Федеральный закон от 5 февраля 2018 года № 15-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам добровольчества (волонтерства)» закрепил волонтерство как самостоятельную сферу общественно полезной деятельности и создал правовую основу для его дальнейшей поддержки и развития. Однако традиционные информационные каналы, в том числе веб-сайты, социальные сети и печатные издания, ориентированы в первую очередь на уже заинтересованную аудиторию и требуют от пользователей активного поиска информации. В связи с этим необходимо найти дополнительные формы вовлечения, которые можно было бы интегрировать в повседневную городскую среду.

Исследование показало, что для части населения, в том числе подростков и молодых людей, волонтерская деятельность часто воспринимается как формальная и оторванная от повседневной жизни. Это указывает на необходимость поиска альтернативных способов вовлечения, которые были бы интегрированы в повседневную городскую жизнь и не требовали бы значительных временных, организационных или финансовых ресурсов на начальном этапе.

Общественные цифровые интерфейсы, расположенные в общественных местах, обладают рядом характеристик, которые делают их перспективным инструментом для вовлечения. Функционирование таких интерфейсов в сферах повседневной деятельности, отсутствие необходимости в предварительной

регистрации и возможность интуитивного взаимодействия способствуют снижению психологического и информационного порога входа. В данном исследовании эти интерфейсы рассматриваются как связующее звено между физической городской средой и цифровыми платформами для волонтерской деятельности.

Проект, легший в основу этого исследования, создан на стыке дизайна, архитектуры, человеко-ориентированного подхода и информационных технологий. Анализ показал, что именно комплексное взаимодействие этих элементов определяет характер пользовательского опыта и потенциал вовлеченности. Дизайн обеспечивает визуальную и смысловую доступность информации, архитектурная среда формирует пространственный контекст взаимодействия, а цифровые технологии позволяют реализовывать интерактивные сценарии участия.

В ходе проектного исследования были сформированы и сопоставлены три концептуальных подхода к использованию общедоступных цифровых интерфейсов для вовлечения пользователей в волонтерскую деятельность. Сравнение проводилось с точки зрения доступности взаимодействия, степени интеграции в повседневную городскую жизнь и возможности первоначального вовлечения неподготовленной аудитории.

Первый подход предполагал использование остановки общественного транспорта как точки взаимодействия с социальным контентом. Встроенный в её структуру интерактивный экран позволял знакомить пользователей с волонтерскими инициативами в процессе ожидания транспорта. Преимуществом данного решения является его включённость в привычный маршрут горожанина и регулярный контакт с широкой аудиторией. Вместе с тем ограниченное время ожидания и ситуация спешки существенно снижают возможности содержательного взаимодействия, оставляя такой формат преимущественно на уровне ознакомления.

Второй подход предполагал формирование специализированного пространства, где архитектурная среда совместно с цифровыми технологиями обеспечивает условия для волонтерской деятельности. Подобный формат способствует реализации устойчивых сценариев взаимодействия, помогает обучению участников и укрепляет их чувство причастности к жизни сообщества. Вместе с тем существенное ограничение связано с необходимостью целенаправленных посещений: неподготовленная аудитория с меньшей вероятностью столкнется с таким объектом случайно, что снижает его эффективность на этапе первичного контакта.

Третий подход строился вокруг интерактивно уличной инсталляции, объединяющей черты компактной архитектурной формы и цифрового интерфейса. Объект является самостоятельным элементом городской среды, который доступен для взаимодействия в рамках повседневного присутствия человека в общегородских пространствах. Глубину контакта пользователь определяет самостоятельно: есть возможность ознакомиться с направлениями деятельности волонтеров, получить представление о форматах участия и при желании продолжить взаимодействие через мобильное устройство.

Сравнительный анализ выявил наибольшее соответствие формата интерактивной уличной инсталляции задачам исследования. В случае выбора первого подхода возникает ограничения по времени, так как присутствие людей на остановке связано с расписанием движения. В случае выбора второго подхода встает вопрос о большой подготовительной работе с начинающими волонтерами, так как важно мотивировать подростков к осмысленному первому визиту в пространство. Данные ограничения дают интерактивной инсталляции преимущество для первичного вовлечения горожан в волонтерство через интерфейсы, которые находятся в открытом доступе.

Исследование показало, что интерактивная уличная инсталляция является идеальным форматом для первичного вовлечения подростков в волонтерскую деятельность. Ключевое преимущество заключается в возможности гармонично соединить архитектурные решения, наглядность, продуманный сценарий взаимодействия и интеграции цифровых инструментов. Такой формат предоставляет широкие возможности для применения эффективных механизмов вовлечения, включая упрощение доступа, использование минимальных действий и пошаговое формирование пользовательского внимания. Изучив функциональные и конструктивные аспекты уже существующих решений, можно оценить их потенциал в плане вовлечения аудитории и выявить элементы, которые целесообразно интегрировать в проект.

Напольный сенсорный киоск Black Glass Max (рисунок 1) — это полноформатное интерактивное решение, созданное для продолжительного взаимодействия с дисплеем. Благодаря большому экрану, становится возможным применение многоуровневых интерфейсов и разнообразных мультимедийных элементов. Однако, масштабность может способствовать возникновению дистанции между пользователем и объектом. При первом взаимодействии с неподготовленной аудиторией такой формат может быть воспринят как официальный информационный канал.

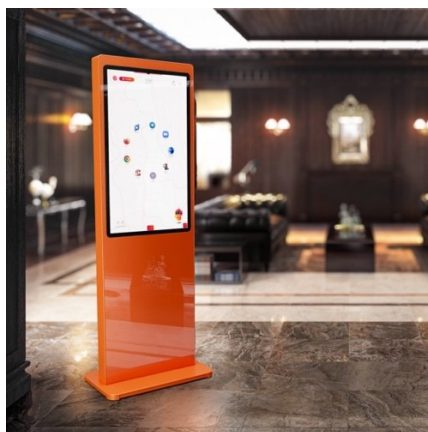


Рисунок 1 - Сенсорный киоск Black Glass Max

Настенный сенсорный киоск ФОРТУНА-W19 (рисунок 2), напротив, ориентирован на компактное размещение и кратковременное взаимодействие. Его форм-фактор позволяет интегрировать устройство в архитектурную среду без визуального доминирования, однако ограниченный размер экрана сокращает возможности визуального воздействия и затрудняет реализацию более сложных сценариев вовлечения.



Рисунок 2 - Настенный сенсорный киоск ФОРТУНА-W19

Сравнительный анализ представленных решений, результаты которого сведены в таблицу 1, показал, что большинство существующих интерактивных киосков в первую очередь ориентированы на предоставление информации и навигацию, а не на социальное взаимодействие. Крупные наружные устройства обеспечивают визуальный комфорт, но создают ощущение формальности и отстраненности. Компактные настенные решения удобны с точки зрения архитектурной интеграции, но ограничены в плане сценарного взаимодействия.

Таблица 1. Анализ аналогов

Аналог	Плюсы	Минусы	Что полезного/референс
Интерактивный пол «Талантик»	Высокая вовлеченность, интерактив через движение, яркий визуальный эффект	Не предназначен для передачи сложной информации, требует спецоборудование	Идея эмоционального вовлечения, работа с анимацией и реакцией на действия пользователя
Фортуна W-19	Компактность, удобство размещения на стене, сенсорное управление	Небольшой экран, ограничение возможности визуализации	Формат настенной точки взаимодействия, простая навигацию
Black Glass Max	Большой сенсорный экран, мультитач, подходит для сложных интерфейсов	Занимает много места, высокая стоимость	Аппаратная база для полноценного интерактивного интерфейса
Планшет на ножке Vopum2	Компактный размер, мультимедиа, сетевые обновления контента	Меньший экран по сравнению с напольными киосками	Баланс между функциональностью и мобильностью

Таким образом, анализ аналогов позволил сделать вывод, что необходимо гибридное решение, сочетающее в себе визуальную выразительность, архитектурную интеграцию и понятный сценарий взаимодействия, удобный для неподготовленных пользователей. Эти выводы легли в основу проекта интерактивной инсталляции на открытом воздухе, где экран рассматривается не как отдельное устройство, а как часть целостной системы взаимодействия между людьми, городской средой и цифровым контентом. Поэтому следующим этапом исследования стал анализ целевых групп пользователей и составление их портретов.

Использование метода персон позволило рассмотреть взаимодействие с публичным цифровым интерфейсом с точки зрения мотивации, барьеров и контекста использования. В ходе исследования были выделены четыре группы пользователей, различающихся по возрасту, уровню социальной активности и степени готовности участвовать в волонтерской деятельности.

В первую группу вошли подростки, которые активно вовлечены в цифровую и визуальную культуру, но при этом не имеют опыта волонтерской деятельности. Основными препятствиями здесь являются дистанция между повседневной жизнью и социальными инициативами, а значимыми факторами вовлеченности — визуальная привлекательность интерфейса, простота формулировок и доступность участия.

Во вторую группу входят студенты и молодые специалисты, которые ориентированы на самореализацию и поиск социально значимых практик. Для них важным условием вовлеченности является демонстрация форм участия, соответствующих их личным компетенциям, интересам и возможностям для развития.

В третью группу входят работающие взрослые, для которых основными ограничениями являются высокая загруженность и конкретность предлагаемых действий, локальность инициатив и возможность микроучастия, что снижает порог вхождения в волонтерскую деятельность.

Четвертую группу составляют родители с маленькими детьми. Для них особенно значимы те формы социальной активности, которые легко совместить с семейной жизнью; эмоциональная вовлеченность и ценностная составляющая участия играют здесь центральную роль, а конкретные примеры семейных инициатив служат ориентиром и источником вдохновения.

Сравнительный анализ всех выделенных групп выявил общую закономерность: при всех различиях в возрасте, образе жизни и мотивации люди нуждаются в доступных, понятных и ненавязчивых формах участия. Этот вывод лег в основу концепции интерактивного городского модуля, оснащенного визуальным и сенсорным интерфейсом. Модуль встраивается в городскую среду и предназначен для демонстрации местных инициатив, социальных проектов, простых сценариев вовлечения жителей в волонтерскую деятельность. Публичный цифровой интерфейс значит здесь как первая точка контакта, которая органично вплетает социальные проекты в повседневные маршруты горожан и привычные сценарии их присутствия в городском пространстве. Визуальное и сенсорное взаимодействие делает модуль доступным даже для тех, кто никогда прежде не сталкивался с подобными технологиями, и существенно снижает порог вхождения.

При разработке концепции авторы ориентировались на несколько групп пользователей. Подростки и молодые люди рассматриваются как аудитория, которая впервые знакомится с социальными инициативами через простые и понятные форматы участия. Работающие взрослые ценят скорость получения информации и стремятся минимизировать временные затраты. Для семей с детьми важны форматы совместного участия, интегрированные в повседневную жизнь. Кроме того, в концепции учтены интересы общественных и городских организаций, для которых модуль может стать дополнительным каналом коммуникации.

Функциональное назначение концепции — упростить доступ к информации о городских и социальных проектах и сформировать положительное отношение к участию в них. Интерактивный модуль разработан для демонстрации широкого спектра волонтерских направлений, подчеркивая простоту, оперативность и значимость вовлечения. Размещение таких модулей в общедоступных зонах способствует локализации и развитию гражданских инициатив.

Основу концепции составляет гибридный сценарий взаимодействия. Интерфейс, организованный с использованием карточек, иконок и минималистичных текстовых блоков, призван снизить когнитивную нагрузку и обеспечить быстрое ориентирование пользователей. Возможность продолжения взаимодействия посредством личного мобильного устройства пользователя расширяет спектр доступных сценариев, интегрируя публичный интерфейс с персонализированным цифровым опытом.

Концепция интерактивного городского модуля устанавливает взаимосвязь между жителями, городской средой и социальными инициативами через интуитивно понятный цифровой интерфейс. Объединение архитектурного контекста, визуальной организации и информационных технологий в единую систему способствует снижению порога вхождения для потенциальных волонтеров и повышению их вовлеченности в городскую жизнь.

Визуальное решение было сформировано на основе анализа существующих интерактивных городских экранов, сенсорных киосков и цифровых инсталляций с целью определения наиболее эффективных принципов взаимодействия с неподготовленной аудиторией.

Для уличных форматов были выделены следующие важные характеристики: лаконичная визуальная структура, крупные элементы интерфейса, ограниченная и привлекательная цветовая палитра, а также акцентная графика. Такие критерии дают возможность быстро считывать информацию и воспринимать интерфейс на расстоянии.

Также дополнительным критерием является возможность использования гибридного формата взаимодействия, который сочетает использование уличной инсталляции с личным мобильным устройством пользователя. Связано это с тем, что применение QR-кодов и ссылок на цифровые платформы позволяет расширить функциональные возможности общественного интерфейса, избегая перегрузки интерфейса и сохраняя простоту взаимодействия с инсталляцией. Такой подход является актуальным для задач вовлечения, так как он эффективно связывает физическое пространство городской среды с цифровым опытом пользователя.

Анализ визуальных, интерфейсных и пространственных решений лег в основу проектных решений, принятых при разработке прототипа интерактивного городского модуля. Выявленные принципы, в том числе визуальная понятность, сценарное взаимодействие, архитектурная интеграция и гибридные форматы коммуникации, послужили основой для построения структуры интерфейса и определения ключевых экранов.

На основе разработанной концепции и выявленных визуальных и интерфейсных принципов был создан прототип интерактивного интерфейса городского модуля. Этот прототип был разработан как MVP (минимально жизнеспособный продукт) для проверки исследовательской гипотезы о возможности вовлечения пользователей в волонтерскую деятельность с помощью общедоступных цифровых интерфейсов. На этом этапе основное внимание уделялось структуре интерфейса, логике навигации и сценариям взаимодействия, а не детальной проработке визуального стиля или технической реализации.

Интерфейс модуля (рисунок 3) основан на принципе пошагового вовлечения пользователя и предназначен для краткосрочного взаимодействия в городской среде. Главный экран призван привлечь внимание и содержит визуальное изображение с примерами волонтерской деятельности, а также краткое текстовое сообщение, объясняющее назначение модуля. Крупный заголовок и минимальный объем текста позволяют быстро, прочесть основную информацию, что особенно важно при использовании на улице.

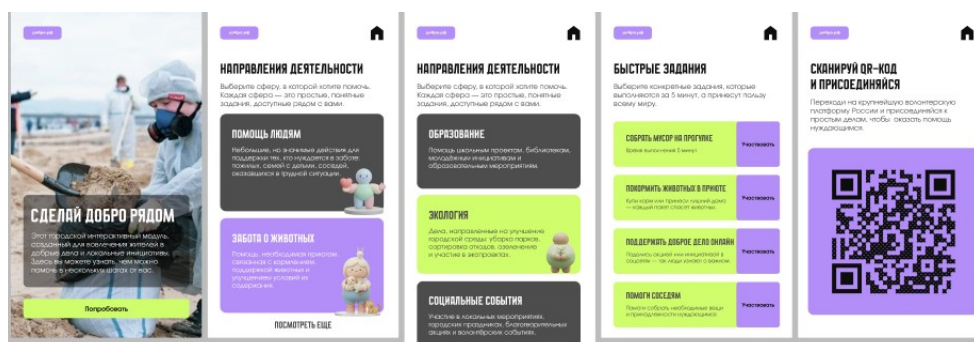


Рисунок 3 - MVP интерфейса

Следующий этап взаимодействия реализован с помощью отдельных экранов, посвященных волонтерской деятельности. Виды деятельности представлены в виде визуальных карточек, отражающих основные направления участия, в том числе помощь людям, забота о животных, экология, образование и социальные инициативы. Структура карточек позволяет пользователю последовательно воспринимать информацию и выбирать интересующую его деятельность без необходимости в сложной навигации. Краткие описания внутри карточек раскрывают содержание каждого вида деятельности в доступной и понятной форме.

После ознакомления с видами деятельности пользователь переходит на экран с примерами быстрых и доступных действий. На этом этапе волонтерская деятельность представлена не как абстрактное социальное отношение, а как набор конкретных сценариев участия, не требующих значительных временных или организационных затрат. Такое решение может уменьшить барьеры и сформировать представление о помощи как о доступной форме повседневной деятельности.

Сценарий взаимодействия завершается отдельным экраном с QR-кодом, который открывает возможность продолжить контакт в личном цифровом пространстве пользователя. QR-код размещен на последнем экране, что сохраняет последовательность восприятия: пользователь сначала знакомится с разделами и примерами участия, после чего может перейти к дальнейшему взаимодействию через мобильное устройство. Так формируется гибридный сценарий, где общедоступный цифровой интерфейс соединяется с персонализированным цифровым опытом.

Разработанный прототип в формате MVP позволил концептуально и проектно проработать ключевые аспекты исследовательской гипотезы: восприятие интерфейса, логику взаимодействия, последовательность вовлечения пользователя. Прототипирование обосновало целесообразность выбранной структуры интерфейса и определило основу для дальнейшей визуализации, а также для пространственной интеграции интерактивного модуля в городскую среду.

Интерактивный городской модуль (рисунок 4) – отдельно стоящий объект, который интегрируется в общественные пространства. Конструкция выполнена в формате вертикальной стойки с сенсорным экраном; экран размещен в устойчивом корпусе с закругленными углами. Визуальная нейтральность объекта позволяет органично включать его в различные типы городской среды: парковые зоны, пешеходные маршруты, общественные площадки.

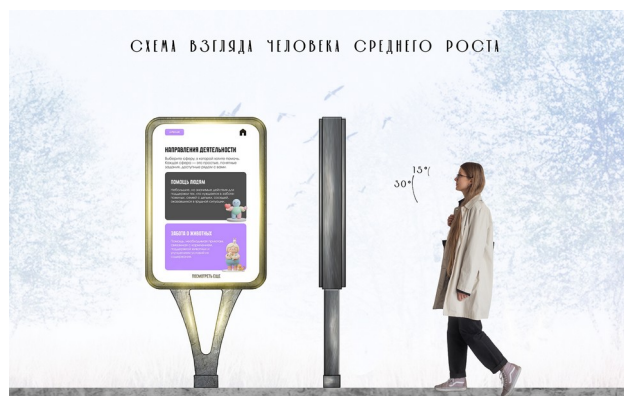


Рисунок 4 – Разработанный модуль

Размеры модуля были тщательно подобраны, исходя из требований эргономики и антропометрии пользователей (рисунок 5). Рабочая поверхность экрана находится на такой высоте, которая обеспечивает удобство обзора для широкого круга пользователей, включая пользователей низкого роста и представителей маломобильных групп.

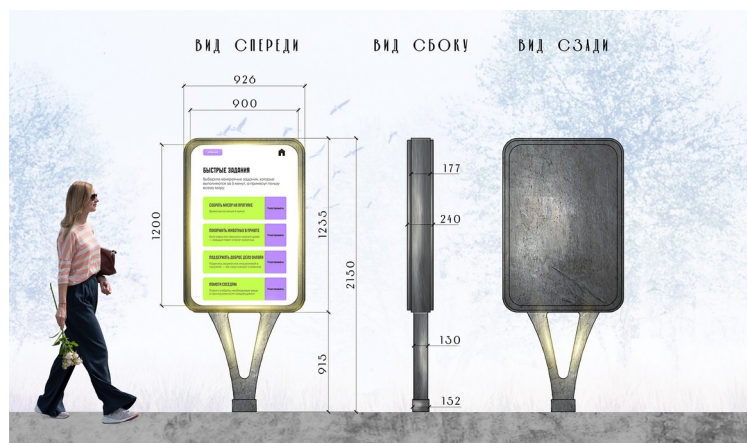


Рисунок 5 – Габариты модуля

Разработка модуля включала тщательную проработку зон видимости и углов обзора. Это позволило сделать информацию на экране легко читаемой в широком диапазоне, учитывая естественное положение головы. Это обеспечивает удобство как для стоящих рядом, так и для маломобильных групп пользователей (рисунок 6).



Рисунок 6 – Использование инсталляции человеком маломобильной группы

Модуль обладает гладкой конструкцией, которая лишена выступающих частей и физических кнопок. Взаимодействие с модулем происходит через сенсорный экран. Это позволяет сделать доступным использование инсталляции людям с ограниченными физическими возможностями. Дополнительный уровень доступности обеспечивается гибридным сценарием взаимодействия: основная информация для вовлечения представлена на экране модуля, а для более глубокого изучения вопроса пользователи могут перейти по QR-коду и использовать дальше свои мобильные устройства.

Модуль уже не является просто носителем цифровой информации, а становится полноценным элементом городской доступности. При его разработке важное внимание было уделено эргономике и доступности. Продуманное пространственное решение создает комфортную и открытую городскую среду, где жители могут знакомиться с волонтерской деятельностью и участвовать в социальных проектах.

В ходе анализа методов привлечения горожан к волонтерской деятельности помощью публичных интерфейсов, был сделан вывод о том, что традиционные цифровые каналы нацелены на уже заинтересованную аудиторию. Публичные же цифровые интерфейсы за счет своей доступности и наглядности обладают большим потенциалом для первоначального вовлечения горожан в волонтерскую деятельность.

В рамках исследования был разработан минимально жизнеспособный продукт (MVP). Его цель проверить на практике предположение о том, что демонстрация простых и локальных сценариев участия может снизить барьер для вступления в волонтерскую деятельность. Анализ пользовательских групп подтвердил, что предложенная структура интерфейса и последовательность экранов соответствуют ожиданиям различных категорий пользователей, учитывая их мотивацию и поведенческие особенности.

Исследование показало, что общедоступные цифровые интерфейсы способны стать действенным инструментом вовлечения граждан в волонтерскую деятельность. Предложенная концепция интерактивного городского модуля раскрывает потенциал соединения дизайна, архитектуры и информационных технологий. За счет этого волонтерские инициативы становятся заметнее, а барьеры участия в них снижаются.

Научный вклад работы состоит в обосновании роли публичных цифровых интерфейсов как части городской инфраструктуры, поддерживающей социальное взаимодействие, а также в формировании принципов проектирования, которые отвечают задачам вовлечения. Практическая значимость определяется возможностью применить полученные результаты при создании интерактивных объектов, городских цифровых сервисов и общественных пространств, которые ориентированы на социальные инициативы.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функционала, доработку сценариев взаимодействия в реальных условиях и разработку адаптивных решений интерфейса, которые учитывают потребности разных категорий пользователей.

### Список литературы

1. Федеральный закон от 05.02.2018 № 15-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам добровольчества (волонтерства)» // Официальный интернет-портал правовой информации.
2. Норман Д. Дизайн привычных вещей / пер. с англ. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2018. — 368 с.
3. Уолтер А. Эмоциональный веб-дизайн/ пер. с англ. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. — 224 с. — ISBN 978-5-91657-802-5.
4. Забродин А. В., Добровольская М. А., Петрова Е. Ю., Федоров Д. Ю., Хонина О. И. Разработка и внедрение системы управления информационными киосками в университете: подходы, технологии // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 3(39).
5. Hosio S., Goncalves J., Kostakos V., Rieki J. From school food to skate parks in a few clicks: using public displays to bootstrap civic engagement of the young // Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. New York: ACM, 2012. DOI: 10.1145/2406367.2406398.
6. Kray C., Fischer F., Flouris G. Public displays for public participation in urban settings: a survey // Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Pervasive Displays. New York: ACM, 2017. DOI: 10.1145/3078810.3078825.
7. Смолева Е. О., Попов А. В. Особенности цифрового гражданского участия в ракурсе современных исследований // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15, № 5. С. 259–275.

### References

1. Federalnyi zakon ot 05.02.2018 № 15-FZ «O vnesenii izmenenii v otdelnye zakonodatelnye akty Rossiiskoi Federatsii po voprosam dobrovolchestva (volonterstva)» // Ofitsialnyi internet-portal pravovoi informatsii.
2. Norman D. Dizain privychnykh veshchei / per. s angl. M. : Mann, Ivanov i Ferber, 2018. 368 s.
3. Uolter A. Emotsionalnyi veb-dizain / per. s angl. M. : Mann, Ivanov i Ferber, 2013. 224 s.
4. Zabrodin A. V., Dobrovolskaya M. A., Petrova E. Yu., Fedorov D. Yu., Khonina O. I. Razrabotka i vnedrenie sistemy upravleniya informatsionnymi kioskami v universitete: podkhody, tekhnologii // Intellekturnye tekhnologii na transporte. 2024. № 3(39).
5. Hosio S., Goncalves J., Kostakos V., Rieki J. From school food to skate parks in a few clicks: using public displays to bootstrap civic engagement of the young // Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. New York : ACM, 2012. DOI: 10.1145/2406367.2406398.
6. Kray C., Fischer F., Flouris G. Public displays for public participation in urban settings: a survey // Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Pervasive Displays. New York : ACM, 2017. DOI: 10.1145/3078810.3078825.
7. Smoleva E. O., Popov A. V. Osobennosti tsifrovogo grazhdanskogo uchastiya v rakurse sovremennykh issledovaniy // Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. 2022. T. 15, № 5. S. 259–275.

УДК 378.147:004.738.5

**Н.И. Калугина, С.В. Яриз**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**СИНТЕЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ: КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ  
СБЛИЖЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТА И БИЗНЕСА В СФЕРЕ ДИЗАЙНА**

© Н.И. Калугина, С.В. Яриз 2025

*Статья посвящена проблеме разрыва между академической подготовкой дизайнеров в университетах и реальными потребностями индустрии. Цель исследования заключается в разработке концепции цифровой платформы, обеспечивающей системное взаимодействие вузов и дизайн-студий. Методологическую основу составили анализ существующих практик организации студенческих практик и изучение механизмов государственно-частного партнерства в сфере высшего образования. В результате предложена модель электронной биржи практик, выполняющей функции агрегации, верификации и координации, а также обоснована необходимость комплекса мер государственной поддержки бизнеса. Новизна исследования заключается в интеграции технологического и стимулирующего подходов к формированию устойчивой экосистемы подготовки кадров. Выводы подтверждают, что предложенная концепция позволяет преодолеть информационную асимметрию и повысить качество подготовки специалистов.*

**Ключевые слова:** дизайн-образование; интеграция образования и бизнеса; цифровая платформа; практика студентов; государственно-частное партнерство.

**N.I. Kalugina, S.V. Yariz**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design 191186, St. Petersburg,  
Bolshaya Morskaya, 18**THEORY AND PRACTICE SYNTHESIS: THE CONCEPT OF A DIGITAL PLATFORM AS A TOOL  
FOR BRIDGING THE GAP BETWEEN UNIVERSITY AND BUSINESS IN THE DESIGN SPHERE**

*Abstract: The article addresses the gap between academic training of designers in universities and the real needs of the industry. The aim of the study is to develop a concept for a digital platform that ensures systematic interaction between universities and design studios. The methodological foundation comprises an analysis of existing practices for organising student internships and a study of public-private partnership mechanisms in the field of higher education. As a result, a model of an electronic internship exchange platform is proposed. The platform performs aggregation, verification, and coordination functions. Additionally, the necessity of a package of government support measures for businesses is substantiated. The novelty of the research consists in combining technological and incentive-driven approaches to foster a sustainable ecosystem for workforce capacity building. The findings confirm that the proposed concept helps overcome information asymmetry and improve the quality of professional training.*

**Ключевые слова:** design education; education and business integration; digital platform; student practice; public-private partnership.

Исторически сложилось так, что университетское образование в сфере дизайна формировалось вокруг идеи фундаментальной подготовки: студент постигал законы композиции, историю искусств, теорию формообразования, чтобы затем, уже в профессиональной практике, адаптировать эти знания к конкретным задачам. Однако сегодня этот линейный путь «от теории к практике» перестал работать. Рынок труда больше не готов ждать, пока выпускник наберется опыта после получения диплома. Цифровая экономика диктует свои условия: специалист должен быть готов к решению сложных бизнес-задач с первого дня работы. В результате традиционная модель университета, ориентированная на сохранение и трансляцию фундаментального знания, вступает в растущее противоречие с потребностями работодателей. Именно на этом пересечении возникает зона напряженности: теоретическая подготовка, получаемая в университете, зачастую оказывается оторванной от реалий дизайн-студий, рекламных агентств и креативных индустрий, где ценятся не столько академические знания, сколько способность быстро решать практические задачи в условиях ограниченных ресурсов и жестких временных рамок. В результате выпускники, обладая высоким потенциалом, зачастую сталкиваются с трудностями адаптации

на первом рабочем месте, а работодатели несут дополнительные издержки, связанные с дообучением молодых специалистов, что в совокупности снижает эффективность всей системы подготовки кадров.

Ключевая проблема, препятствующая гармоничному взаимодействию университетов и профессионального дизайн-сообщества, кроется в отсутствии системно организованных механизмов, обеспечивающих устойчивый, а не эпизодический контакт между этими двумя средами. Существующий формат прохождения студенческих практик, закрепленный образовательными стандартами, зачастую носит формальный характер.

Университеты испытывают сложности с формированием пула надежных партнеров, готовых предоставлять студентам не место для пассивного наблюдения, а полноценное погружение в производственные процессы с реальными задачами и ответственностью. С другой стороны, дизайн-студии, особенно малые и средние предприятия, составляющие основу креативного сектора, не располагают ни кадровыми ресурсами для системного наставничества, ни удобными инструментами для поиска мотивированных студентов, чей уровень подготовки соответствует их специфическим требованиям. Возникает ситуация информационной асимметрии и взаимных ожиданий, которая лишь изредка преодолевается благодаря личным связям преподавателей-энтузиастов или инициативным студентам, что не может служить основой для устойчивого развития кадрового потенциала отрасли. К этому добавляется и фундаментальное различие в наборах компетенций, культивируемых в университетской и бизнес-среде. различие в наборах компетенций, культивируемых в университетской и бизнес-среде. Университеты традиционно сильны в формировании концептуального мышления и историко-культурного багажа, тогда как дизайн-студии обладают уникальными компетенциями в области управления проектами, взаимодействия с клиентами (B2B и B2C), бюджетирования, юридического сопровождения договорных отношений и оперативного внедрения технологических новшеств, таких как нейросети и генеративный дизайн [1]. Студент, не прошедший через «обкатку» в реальной фирме, выходит на рынок труда с теоретически выверенными, но «книжными» знаниями, что создает серьезный барьер для его профессиональной реализации и замедляет его карьерную траекторию.

Более того, глубинная причина слабости связей между академической и индустриальной сферами заключается в отсутствии для бизнеса понятных и экономически значимых стимулов к участию в образовательном процессе. Для коммерческой структуры прием студента на практику является не только инвестицией в будущее, но и сопряжен с текущими издержками, а именно отвлечением опытных сотрудников на наставничество, потенциальными рисками снижения качества работы над коммерческими заказами, а также административной нагрузкой по оформлению документов [2]. В условиях высокой конкуренции на рынке креативных услуг такие издержки, не компенсируемые ни прямыми финансовыми преференциями, ни ощутимыми нематериальными выгодами, становятся для большинства студий непреодолимым препятствием. Без создания внешнего мотивационного контура, формируемого, в первую очередь, государством, рассчитывать на массовое и добровольное вовлечение бизнеса в системную подготовку кадров не приходится. Таким образом, сложившаяся ситуация характеризуется тремя ключевыми диспропорциями: отсутствием профильного посредника между спросом и предложением на рынке студенческих практик, несоответствием формируемых и востребованных компетенций, а также дефицитом экономических стимулов для бизнеса, что в совокупности формирует устойчивую разобщенность университетской и профессиональной среды.

Преодоление указанных системных барьеров требует перехода от разрозненных инициатив к формированию целостной инфраструктуры, способной обеспечить прозрачное, удобное и взаимовыгодное взаимодействие всех участников процесса. Наиболее перспективным инструментом в данном контексте представляется создание специализированной электронной платформы, а именно цифровой биржи практик и стажировок для студентов-дизайнеров, функционирующей как двусторонний рынок.

Анализ природы подобных платформ показывает, что их эффективность определяется не столько технологической сложностью, сколько способностью выполнять три взаимосвязанные функции: агрегации, верификации и координации. Функция агрегации заключается в накоплении критической массы участников с обеих сторон, поскольку только при достижении определенного объема предложений со стороны компаний и профилей со стороны студентов платформа становится самоподдерживающейся экосистемой, где каждый новый участник увеличивает ценность для всех остальных. Функция верификации призвана решить проблему информационной асимметрии, присущую рынку труда: работодатель не может достоверно оценить реальный уровень подготовки студента по формальным академическим показателям, а студент не имеет полного представления о реальных условиях работы в компании. Платформа в данном случае выступает институтом доверия, предоставляя механизмы подтверждения компетенций (например, через интеграцию с академическими рейтингами, оценками от предыдущих наставников или результатами выполнения тестовых заданий) и публичного ранжирования работодателей по качеству наставничества. Координация выходит за рамки элементарного прикрепления стажеров к наставникам. Она органично встраивает платформу в образовательный процесс с возможностью согласования расписания практик с графиками реализации проектных задач компаний.

Важно подчеркнуть, что предлагаемая биржа практик в перспективе будет существенно отличаться как от привычных агрегаторов вакансий, так и от традиционных университетских систем распределения. Ввиду того что классические платформы нацелены на широкий рынок труда в целом, новая биржа, напротив, создаётся для конкретной профессиональной сферы. Следовательно, ключевую роль здесь будут играть не формальные данные из резюме, а реальные навыки и развитое проектное мышление. Соответственно, в отличие от стандартного университетского распределения, которое зачастую носит сугубо административный характер и не учитывает ни предпочтений самого студента, ни специфических запросов компании, предлагаемая биржа реализует механизм взаимного выбора. Благодаря этому учащийся перестанет выступать в роли пассивного объекта и превратится в активного субъекта процесса, самостоятельно выстраивая свою профессиональную траекторию. Кроме того, платформа будет выполнять функцию отбора: компании получают возможность на ранних этапах выявлять талантливых студентов, а учащиеся смогут оценить собственную востребованность на рынке труда. В итоге биржа станет центральным элементом новой экосистемы, где пересекутся образовательные, профессиональные и карьерные траектории.

Концепция предусматривает, что платформа будет систематизировать параметры спроса и предложения и обеспечивать их взаимное соответствие. Студенты могут создавать детализированные профили, куда входят портфолио, сведения об успеваемости, специализация (например, графический дизайн, моушн-дизайн, промышленный дизайн или дизайн интерьера), навыки работы с различными программами, а также личные предпочтения относительно типов проектов. Дизайн-студии и агентства, в свою очередь, получают удобный инструмент для размещения вакансий по практике. В описании каждой вакансии можно указать проектные задачи, требуемые компетенции, сроки реализации и условия сотрудничества, а также предусмотреть дистанционный или гибридный формат работы.

Ключевым принципом работы биржи выступает взаимный выбор. Студент самостоятельно откликается на наиболее интересные для него предложения, а работодатель, используя интеллектуальные алгоритмы, просматривает и отбирает подходящих кандидатов. Подобный подход даёт возможность существенно сократить затраты на подбор специалистов и выстроить продуктивные рабочие связи стажёра с наставником. Однако, как показывает анализ, создание технической платформы является необходимым, но недостаточным условием. Ее эффективность будет напрямую зависеть от степени вовлеченности бизнес-сообщества, которая, в свою очередь, должна быть обеспечена пакетом мер государственной поддержки, трансформирующих участие в подготовке кадров из разряда обременительной обязанности в зону стратегического интереса [3].

Формирование такого пакета стимулов может опираться на успешный опыт реализации государственных программ поддержки занятости и взаимодействия с бизнесом в различных отраслях экономики. Представляется целесообразным предложить комплекс мер, дифференцированных по своему механизму действия, но объединенных общей целью, сделать сотрудничество с университетами через цифровую платформу экономически привлекательным. Во-первых, это налоговые преференции, такие как снижение ставки налога на прибыль или налога, уплачиваемого в рамках упрощенной системы налогообложения, для компаний-участников биржи пропорционально количеству принятых на практику студентов. Во-вторых, прямые финансовые субсидии работодателям, компенсирующие затраты на наставничество, по аналогии с программами субсидирования найма, успешно зарекомендовавшими себя в рамках национального проекта по поддержке занятости. Такие субсидии могут предоставляться на срок прохождения практики и покрывать часть затрат на оплату труда наставника или самого стажера. В-третьих, возможны банковские преференции, предоставление пониженных процентных ставок по кредитным продуктам для фирм, демонстрирующих устойчивую активность в подготовке кадров через платформу. Наконец, административные послабления, такие как упрощенный порядок приема на работу студентов на период практики или отсрочка по уплате страховых взносов, могут существенно снизить бюрократическую нагрузку на бизнес. В роли модератора и гаранта этих преференций должно выступить государство в лице профильных министерств (образования, промышленности и торговли, цифрового развития) и институтов развития, что придаст платформе статус официального и надежного инструмента, а не разрозненной инициативы.

Успешная реализация предложенной модели зависит от равнозначного внимания к двум составляющим: технологической архитектуре платформы и системе экономических стимулов причём эти компоненты находятся в отношении взаимного усиления. Технологическая реализация определяет базовые возможности платформы, а именно удобство интерфейсов скорость подбора надёжность верификации данных защиту персональной информации и интеграцию с образовательными и кадровыми системами. Без качественного цифрового инструментария даже самая продуманная система стимулов не приведёт к формированию устойчивых практик взаимодействия поскольку участники будут сталкиваться с техническими барьерами информационной неопределённостью и операционными издержками, которые нивелируют экономическую привлекательность участия. В то же время сколь бы совершенной ни была технологическая платформа она останется невостребованной без создания для бизнеса понятных и

экономически значимых стимулов к участию. Налоговые преференции субсидирование наставничества и административные послабления выступают тем мотивационным ядром, которое трансформирует участие в подготовке кадров из разряда обременительной обязанности в зону стратегического интереса.

Техническая архитектура платформы строится по модульному принципу, что обеспечивает гибкость, масштабируемость и безопасность. В её основе выделяются четыре ключевых функциональных блока.

Блок управления пользователями и профилями отвечает за регистрацию участников, интеграцию с университетскими системами (единый вход, подтверждение статуса студента) и формирование детализированных профилей, включая портфолио, специализацию и академические достижения. Блок подбора и координации обеспечивает основной процесс взаимодействия. Интеллектуальный алгоритм на основе компетенций, портфолио и предпочтений формирует рекомендации для студентов и работодателей. В рамках блока реализуются механизмы взаимного выбора, синхронизация календарных графиков практик с проектными циклами компаний, а также управление статусами заявок и откликов. Блок верификации и доверия решает задачу снижения информационной асимметрии. Он интегрируется с академическими системами для подтверждения успеваемости, собирает отзывы наставников и формирует публичные рейтинги как студентов, так и работодателей, выступая институтом доверия на двустороннем рынке. Интеграционный и аналитический блок обеспечивает обмен данными с внешними системами (образовательные и кадровые порталы, банковские сервисы, государственные информационные системы), а также накопление и визуализацию данных о востребованности специалистов, эффективности практик и влиянии мер поддержки на вовлеченность бизнеса. Вся инфраструктура размещается в облачной среде с соблюдением требований к защите персональных данных.

Государственная поддержка встроена в архитектуру как отдельный функциональный контур, включающий администрирование мер поддержки, учёт и верификацию участия компаний, а также интеграцию с платёжными системами для предоставления субсидий и льгот. Это позволяет автоматизировать процесс подтверждения права на преференции и делает механизмы стимулирования прозрачными для всех участников экосистемы.

Внедрение описанной концепции, объединяющей цифровую инфраструктуру с системой государственного стимулирования, открывает перспективы для формирования качественно новой экосистемы подготовки кадров в сфере дизайна. Для студентов основным эффектом станет возможность получения опыта работы над реальными коммерческими заказами еще в процессе обучения, что позволит сформировать профессиональное портфолио, содержащее не учебные, а рыночные кейсы, и развить необходимые навыки коммуникации с заказчиком, работы в команде, соблюдения сроков и управления проектной нагрузкой.

Кроме того, прохождение практики в формате, предлагаемом цифровой биржей, открывает для студента возможность погружения в актуальную технологическую среду конкретной компании. В отличие от университетской аудитории, где освоение программного обеспечения носит, как правило, ознакомительный или академический характер, в реальной дизайн-студии студент получает доступ к узкоспециализированным инструментам и профессиональным версиям программ, которые используются в ежедневной проектной работе. Под руководством наставника он осваивает не просто отдельные функции, а целостные технологические цепочки, сложившиеся в компании: от прототипирования до финального рендеринга, от согласования с заказчиком до подготовки макета к печати или интеграции в цифровую среду. Более того, работа в команде опытных специалистов позволяет студенту перенять неявное знание, которое редко фиксируется в учебных пособиях: технологические хитрости, оптимизированные рабочие схемы, авторские методики использования инструментов. Таким образом, практика становится не просто местом применения уже полученных знаний, но мощным каналом технологического развития, формирующим у студента компетенции, которые невозможно в полном объеме освоить в рамках академической программы.

Для университетов внедрение такой системы означает переход от абстрактной оценки качества образования к конкретным показателям востребованности выпускников в индустрии. Более того, обратная связь от работодателей, аккумулируемая платформой, становится ценнейшим источником данных для актуализации образовательных программ, позволяя оперативно корректировать учебные планы, внедрять новые дисциплины и пересматривать содержание существующих курсов в соответствии с реальными потребностями рынка. Для дизайн-студий и агентств преимущества носят стратегический характер: они получают доступ к отфильтрованному пулу мотивированных и талантливых студентов, создавая тем самым эффективный кадровый резерв и сокращая издержки. Участие в программе становится не благотворительностью, а инвестицией в формирование специалиста, уже на этапе обучения, ориентированного на стандарты и рабочие процессы конкретной компании. Наконец, для государства и общества в целом создание такой платформы позволит повысить эффективность бюджетных расходов на высшее образование за счет прямой увязки образовательных результатов с потребностями экономики,

снизить уровень молодежной безработицы среди выпускников творческих специальностей и укрепить позиции отечественных креативных индустрий, обеспечив их высококвалифицированными кадрами.

Таким образом, проблема сближения университетов и дизайн-индустрии имеет не отраслевой, а системный характер. Следовательно, её решение не ограничится простым увеличением часов практики по старым стандартам. Вместо этого потребуются переход к новой модели со-конструирования образовательного опыта, в рамках которой университет, бизнес и государство станут равноправными партнёрами ради общей цели подготовки конкурентоспособного специалиста нового типа. Предложенная в данной статье концепция электронной биржи практик как раз и представляет собой такой интеграционный механизм, который позволит преодолеть информационную асимметрию и обеспечит прозрачность взаимодействия. Соответственно, технология и стимулы образуют двуединую основу успеха. Технология создаст инфраструктурные условия для эффективного взаимодействия, а стимулы обеспечат вовлеченность ключевых участников. Только при условии синхронного развития обеих составляющих платформа сможет выполнить свою системообразующую функцию, став не просто вспомогательным инструментом, а устойчивым институтом интеграции академической среды и дизайн-индустрии.

В дальнейшем концепция цифровой платформы, объединяющая технологическую инфраструктуру и систему государственной поддержки, открывает широкие перспективы для исследований. Целесообразно будет протестировать эту модель в режиме пилотного проекта в отдельных регионах с привлечением профильных вузов и дизайн-студий. После апробации предстоит проанализировать, как она повлияет на трудоустройство выпускников, уровень удовлетворённости работодателей и качество образовательных программ. Особый интерес представляет возможность масштабирования данной модели на другие направления высшего образования, ведь механизмы агрегации спроса и предложения, верификации компетенций и координации образовательного процесса с реальными проектными циклами носят универсальный характер. Инструменты экономического стимулирования бизнеса также являются универсальными, например, в сферах информационных технологий, инжиниринга, архитектуры, медиаиндустрии и сервиса проблема дефицита качественных практик выражена не менее остро. В связи с этим дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию функциональной архитектуры платформы под специфику отраслевых компетенций, а также на разработку дифференцированных моделей государственно-частного партнёрства. При этом такие модели должны будут учитывать особенности различных секторов экономики и типов образовательных организаций.

Таким образом, предложенная концепция может рассматриваться как прототип системного решения. Её потенциал выходит далеко за пределы одной отрасли. Концепция формирует основу для создания национальной экосистемы интеграции высшего образования и рынка труда. Ключевым условием успеха станет доверие всех участников к платформе. Для этого нужна прозрачная система рейтинга и верификации. Студенты должны быть уверены в добросовестности работодателей. Компании, в свою очередь, должны получать достоверную информацию о компетенциях кандидатов.

Платформа способна выполнять не только посредническую, но и аналитическую функцию. На основе накопленных данных можно прогнозировать кадровые потребности отраслей. В долгосрочной перспективе платформа может стать основой для непрерывного профессионального развития. Выпускники смогут возвращаться на биржу для поиска стажировок при повышении квалификации. Работодатели получают возможность участвовать в формировании содержания образовательных программ. Таким образом сложится замкнутый цикл подготовки кадров, отвечающий актуальным запросам экономики.

### Список литературы

1. Цифровые технологии в дизайн-образовании и проектной деятельности. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nlp-obrabotka-estestvennyh-yazykov> (дата обращения: 24.03.2026)
2. Международный и российский опыт применения форм государственно-частного партнерства в сфере высшего образования URL: <https://www.jour.fnisc.ru/index.php/vcugjournal/article/view/8274> (дата обращения: 25.03.2026)
3. Креативные индустрии: Возможности системы образования для подготовки квалифицированных кадров URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kreativnye-industrii-vozmozhnosti-sistemy-obrazovaniya-dlya-podgotovki-kvalifitsirovannyh-kadrov> (дата обращения: 25.03.2026)

### References

1. Cifrovye tekhnologii v dizajn-obrazovanii i proektnoj deyatel'nosti. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nlp-obrabotka-estestvennyh-yazykov> (data obrashheniya: 24.03.2026)
2. Mezhdunarodnyj i rossijskij opyt primeneniya form gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v sfere vysshego obrazovaniya URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-dlya-sozdaniya-tsifrovyh-proizvedeniy-iskusstva-iskusstvo-glazami-algoritmov> (data obrashheniya: 25.03.2026)

«Stalingradskaya bitva» proshla prezentaciya otrestavrirovannoj panoramy i AR-ekspozicii. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365721000567> (data obrashcheniya: 12.11.2025)

3. Kreativnye industrii: Vozmozhnosti sistemy obrazovaniya dlya podgotovki kvalifitsirovannyh kadrov  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kreativnye-industrii-vozmozhnosti-sistemy-obrazovaniya-dlya-podgotovki-kvalifitsirovannyh-kadrov> (data obrashcheniya: 25.03.2026)

УДК 712.256

**Д.А. Морозов**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18

**РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ИНТЕРАКТИВНОЙ ДЕТСКОЙ ПЛОЩАДКИ «ЦИФРОВОЙ КОВЧЕГ»**

*В статье рассмотрены этапы создания интерактивной детской игровой среды (детской площадки), разрабатываемой с учетом развития информационных технологий, а также растущих экологических требований. В качестве решения предлагается концепция и прототип интерактивной площадки «Цифровой ковчег», дизайн которой ориентирован на создание пространства, создающего максимальной эффект присутствия в природной среде. Актуальность темы обусловлена растущим влиянием антропогенного фактора и необходимостью снижения его воздействия для сохранения природы. Сделан вывод, что интеграция экологических материалов, природных мотивов и интерактивных цифровых технологий при создании детских игровых площадок может способствовать формированию у детей раннего экологического сознания, что поможет сохранить природную среду для будущих поколений. Статья может быть полезна широкому кругу читателей.*

**Ключевые слова:** природа, человек, архитектура, дизайн, информационные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность, энергоэффективность, инклюзивный дизайн, устойчивый дизайн.

**D.A. Morozov**

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 18 Bolshaya Morskaya str., St. Petersburg, 191186

**DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE CHILDREN'S PLAYGROUND PROTOTYPE «THE DIGITAL ARK»**

*The article discusses the stages of creating an interactive children's play environment (playground), which is being developed taking into account the development of information technology, as well as growing environmental requirements. As a solution, the concept and prototype of the Digital Ark interactive platform is proposed, the design of which is focused on creating a space that maximizes the effect of presence in the natural environment. The relevance of the topic is due to the growing influence of the anthropogenic factor and the need to reduce its impact for nature conservation. It is concluded that the integration of eco-friendly materials, natural motifs and interactive digital technologies in the creation of children's playgrounds can contribute to the formation of early ecological awareness in children, which will help preserve the natural environment for future generations. The article may be useful to a wide range of readers.*

**Keywords:** nature, man, architecture, design, information technology, virtual reality, augmented reality, energy efficiency, inclusive design, sustainable design.

В современном мире технологические и социальные трансформации настолько велики, что становится трудно определить границы между естественным и искусственным, физическим и цифровым миром. Для описания такой реальности необходимо рассматривать ее как сложную систему, состоящую из элементов, взаимодействующих друг с другом и оказывающих друг на друга взаимное влияние. Выберем для анализа взаимосвязей следующие сущности: природа, человек, архитектура, дизайн и информационные технологии.

Определим природу как исходную систему, источник ресурсов и фундаментальный контекст существования. Человека будем рассматривать как меняющее мир психосоциальное существо, являющееся продуктом своей среды. Под архитектурой будем понимать материальное структурирование пространства, создаваемое человеком для обитания, работы и общения. Дизайном назовем наделение объектов функциональностью, эстетикой и смыслом. Наконец, информационные технологии охарактеризуем как совокупность методов и инструментов для создания, хранения, обработки и передачи информации, а также цифровую реальность, расширяющую когнитивные возможности человека.

Рассмотрим взаимодействие указанных сущностей с точки зрения человека. Человек является точкой пересечения всех рассматриваемых сущностей, выступая одновременно их создателем и пользователем. Наиболее фундаментальная связь у человека и природы, которая формирует биологию и психологию человека, дает ресурсы для выживания. Человек, в свою очередь, оказывает на природу

преобразующее воздействие, а в современном мире и разрушающее воздействие. Загрязняя природу и не думая о восстановлении использованных ресурсов, человек подрывает основы собственного существования. Поэтому, крайне важна «необходимость целенаправленного развития биосферы, подчиненного обеспечению дальнейшего развития цивилизации, но и такого изменения общества, его природы и организации, которые были бы способны обеспечить нужную гармонию в развитии природы и общества» [1].

Архитектура является инструментом человека, помогая создавать необходимую среду обитания. Она формирует поведение, социальные нормы и комфортную среду для человека. Дизайн адаптирует объекты к потребностям человека, формирует эстетические предпочтения и потребительское поведение. Информационные технологии изменяют способы коммуникации, дают человеку дополнительные возможности для познания окружающего мира и разработки методов и технологий для бережного отношения к природе.

Простейшим примером взаимодействия сущностей архитектуры, дизайна и информационных технологий являются традиционный японский дом и сад, которые выражают философию человека через архитектуру и дизайн, не отделяют его от природы, а, наоборот, создают с ней неразрывное единство. Эстетический замысел выражается через сменяемые элементы дизайна и структуру жилища.

Необходимость разработки современной концепции дизайна детской игровой среды (площадки) с интерактивными элементами обусловлена существующими тенденциями развития и потребностями общества.

Такой проект учитывает требования экологии, несет в себе развивающую и педагогическую функции и использует информационные технологии, что делает его комплексным и своевременным решением. В условиях растущей урбанизации дети все меньше контактируют с природой. «Искусственно созданный комфорт проживания доступен человеку по вполне проторенной дороге. Всего хватает. Кроме одного – устойчивой и девственной природной среды в этой системе комфорта» [2]. Использование живых изгородей и деревьев создают «зеленый оазис» в городской среде. «Контакт с природой побуждает человека к глубокому чувственному восприятию через визуальные образы, звуки, запахи и тактильные ощущения» [3]. Это не только улучшает эстетику и микроклимат, но и позволяет детям получить опыт, близкий к реальному взаимодействию с природой, что, несомненно, важно для их развития.

Использование натуральных, экологичных материалов и игровых элементов в виде животных формирует у детей подсознательную связь с природой и воспитывает бережное отношение к ней. Ребенок не просто играет на абстрактной конструкции, он еще и взаимодействует с животным миром. Это закладывает основы бережного отношения к природе через игру, что является наиболее эффективным методом обучения.

Предложенная среда стимулирует комплексное развитие ребенка. «Зеленый» ландшафт и разнообразные по форме конструкции-животные развивают вестибулярный аппарат, координацию и крупную моторику лучше, чем стандартные горки и лестницы. Тематика животных и интерактивные элементы стимулируют память, внимание и любознательность. Нестандартные формы игровых элементов способствуют также развитию воображения.

Создание типового масштабируемого решения позволяет внедрять высококачественные игровые пространства системно, а не в виде единичных дорогостоящих проектов. Стандартизация, основанная на экологичности и развивающем потенциале, формирует более высокий стандарт для производства детских площадок.

Современные подходы к проектированию детских площадок существенно отличаются от стандартного набора «горка-качели». Детская площадка рассматривается не как место для выплеска энергии, а как многогранное развивающее пространство. Одна из ключевых тенденций это применение принципов инклюзивного и устойчивого дизайна. Такой подход предполагает наличие широких дорожек, сенсорных панелей с разными звуками, а также «тихих» зон для детей, которым требуется отдых от шума и активности. Применение натуральных материалов и эко-дизайна выражается в отказе от яркого пластика в пользу натуральных материалов, а также повышению акцентов на ландшафтный дизайн с живыми растениями и цветами. Такой подход помогает решить проблему тотальной урбанизации, которая «сократила доступное детям пространство и ограничила их возможности для познавательной деятельности и общения с окружающим миром» [4]. Еще одной тенденцией является нарративный подход – площадка создается не как набор отдельных снарядов, а как единая история или мир. Все элементы, от качелей до скамеек, подчинены общей теме и стимулируют детей к ролевой игре. Кроме того, современные площадки стремятся быть полезными не только для детей, но и для их родителей, а также быть доступными в разное время года. Появляются удобные скамейки, навесы от солнца и дождя, качественное освещение для вечернего времени. Это делает площадку настоящим общественным центром, повышая ее социальную ценность.

В целом, современная философия проектирования детских площадок смещается от простого предоставления оборудования для физической активности к созданию целостной развивающей среды. Главный фокус сосредоточен на ребенке и его потребностях в познании, общении и творчестве.

В качестве потенциальных пользователей разрабатываемого прототипа выберем следующие аватары:

- Мирослав, 4 года, ребенок, есть младший брат. Интересы: природа, животные. Цели: собрать коллекцию необычных камней. Мечты: стать другом всех животных в лесу. Боли: Не может долго концентрироваться, нуждается в простых объяснениях сложных экологических процессов. Особенности личности: высокая эмоциональная отзывчивость, стремление к новым впечатлениям;

- Елена, 35 лет, маркетолог. Доход: 80-120 тыс. руб. Статус: замужем, двое детей 5 и 2 лет. Интересы: экологичный образ жизни, развивающие методики для детей. Цели: сформировать у детей экологические привычки. Мечты: собственный загородный эко-дом. Боли: тревога о будущем планеты, одиночество в своих стремлениях среди окружения. Особенности личности: ответственность перед будущими поколениями, целеустремленность;

- Виктор Павлович, 68 лет, пенсионер. Доход: 35-40 тыс. руб. Статус: женат, имеет внука 4 лет. Интересы: наблюдение за птицами, создание скворечников. Цели: передать внуку знания о природе и экологии. Мечты: организовать семейную экспедицию на Байкал. Боли: Внук предпочитает виртуальные игры реальной природе, страх «что-то сломать» в телефоне или планшете. Особенности личности: бережливость, любит рассказывать истории;

- Галина Ивановна, 62 года, пенсионер. Доход: 25-30 тыс. руб. Статус: одинока, имеет внука и внучку. Интересы: воспитание внуков, организация общественной жизни двора. Цели: создать зеленый оазис во дворе силами жильцов. Мечты: увидеть свой двор самым зеленым в районе. Боли: разрыв между поколениями в интересах. Особенности личности: энергичная, инициативная;

- Анна, 27 лет, няня. Доход: 80 тыс. руб. Статус: не замужем, детей нет. Интересы: детская психология, нейропедагогика. Цели: создание и развитие блога об экологическом воспитании детей. Мечты: открыть детский эко-центр. Боли: непонимание со стороны родителей. Особенности личности: наблюдательность, терпеливость.

Сформулируем концепцию для создания нашего прототипа в следующей редакции: Создать проект типового интерактивного игрового пространства (детской площадки) из натуральных материалов, которая гармонично интегрирует природу в городскую среду, обеспечивая безопасное развивающее пространство для детей и повышая комфортность городской среды для всех жителей. Основу данной концепции составляет гипотеза о том, что если создать сеть игровых площадок "Цифровой ковчег" для детей 1,5-5 лет, сочетающих природные элементы с цифровыми технологиями, это позволит сформировать у детей раннее экологическое сознание через игровое взаимодействие с живой природой и экологичными материалами.

Для реализации концепции по созданию гармоничного игрового пространства, интегрирующего природу в городскую среду, гипотеза предлагает механизм использования интерактивных игровых элементов в виде животных и имитацию природных ландшафтов с применением экологичных материалов.

Проектирование игровой среды – это создание мира, в котором каждый элемент должен нести смысл и пробуждать воображение. Для проекта «Цифровой ковчег» подбор референсов основан на фокусировке на природные материалы и цвета.

Сердце «Ковчег» – это его тактильность. Камень и песок это основа ландшафта. Это базовые, честные материалы, которые учат ребенка ощущать вес, текстуру и температуру (рис.1).



Рис.1. Пример референса – песок

Кора, трава и мох отвечают за мягкость и жизнь. Изображения густой травы и бархатистого мха вдохновляют на создание зеленых, живых островов для отдыха и спокойных игр, где можно просто лежать и смотреть на облака (рис.2).



Рис.2. Пример референса – мох

Природные камни малахит и янтарь – референсы для цветовых акцентов и интерактивных элементов. Глубокий зеленый узор малахита может стать основой для росписи или текстуры. Теплый, светящийся изнутри янтарь – прообраз для встроенных световых панелей (рис.3).



Рис.3. Пример референса – янтарь

Полевые цветы и ягоды подсказывают цветовую гамму леса или луга. Игровые элементы могут иметь эти цвета имитируя природную среду. Также игровая «природная» среда подразумевает наличие живых растений и клумб с цветами (рис.4).



Рис.4. Пример референса – цветы

Самые важные изображения в подборке референсов для данного проекта, это дети, исследующие мир. Иллюстрация, на которой ребенок трогает шершавую кору, запускает ладонь в песок, изучает

лепестки или вдыхает аромат цветка, отражает конечную цель проекта – создание впечатлений от общения с природой (рис.5).



Рис.5. Пример референса – ребенок в лесу

Игровая среда «Цифровой ковчег» представляет собой систему, созданную на основе физического взаимодействия с элементами природы и цифровым контентом. Рассмотрим сценарий использования ее ключевых элементов и их влияние на пользователя. Анализ сценариев взаимодействия проведем на примере основного типа пользователей – четырехлетнего ребенка.

Первичный контакт ребенка с игровой средой происходит через «песочницу-черепаху». Данный элемент направлен на развитие мелкой моторики и тактильного восприятия через прямое взаимодействие с природным материалом (песком). Физическая активность (копание, пересыпание) обеспечивает базовый сенсомоторный опыт. В структуру объекта интегрирован цифровой интерфейс (планшет), предлагающий образовательные видеоматериалы о морских черепахах.

Активация цифрового компонента происходит по инициативе самого ребенка и не прерывает физическую игру, а дополняет ее. Субъект переходит от простого манипулирования песком к сюжетно-ролевой игре («поиск черепаших яиц»), где физические действия наделяются новым смыслом, продиктованным полученной информацией. Таким образом, происходит объединение тактильного и когнитивного опыта. Удовольствие от взаимодействия с песком подкрепляется познавательным интересом, что создает положительную эмоциональную связь с обучением.

Модуль «качели-жиряфы» представляет собой парные консольные качели, требующие для раскачивания синхронизации действий двух пользователей. Этот аспект стимулирует развитие социально-коммуникативных навыков и невербального взаимодействия. Основной физический опыт связан с развитием крупной моторики, чувства равновесия и стимуляцией вестибулярного аппарата, что вызывает яркий эмоциональный отклик (ощущение «полета» и «падения»).

Цифровая составляющая реализована через сенсорные панели, интегрированные в дизайн объекта. Прикосновение к ним активирует звуки саванны, которые служат фоновым сопровождением физической активности. Звуковое погружение усиливает эффект игрового действия, позволяя субъектам вообразить себя «путешественниками по саванне». В данном случае цифровой компонент выполняет функцию обогащения воображения и углубления игрового сюжета, создаваемого самими детьми.

«Горка-слон» сочетает в себе задачу подъема по лестнице и последующее вознаграждение скоростной спуска. Подъем задействует крупную моторику, координацию и планирование движений. Достижение верхней площадки («спины слона») сопровождается чувством выполненной задачи («покорение гиганта»).

На этой пиковой точке физического и эмоционального подъема субъекту предлагается взаимодействие с интерактивными панелями, предоставляющими краткую познавательную информацию (факты и изображения слонов). Размещение образовательного контента в момент наивысшего удовлетворения от физического достижения способствует более эффективному усвоению информации. Последующий спуск по горке-хоботу обеспечивает восторг и ощущение скорости, закрепляя весь цикл «усилие-познание-награда» как положительный опыт.

Игровой комплекс «Карусель-дельфины» представляет собой модель взаимодействия, ориентированную на групповое выполнение задачи. В отличие от «Горки-слона» здесь успех зависит от скоординированных действий нескольких участников.

Начальная фаза предполагает адаптацию к циклическому движению. По мере набора скорости карусели звуками воды и ветра и криками дельфинов имитируется погружение в океан, что создает эффект совместного путешествия. Этот этап задействует вестибулярный аппарат и способствует формированию чувства общности у группы детей.

Использование «Качели-бабочки» реализует сценарий, в котором интенсивность физического действия субъекта напрямую влияет на цифровую среду, создавая цикл «усилие-результат-созерцание». С увеличением скорости и амплитуды движения качелей яркость огоньков на крыльях бабочек увеличивается. Это устанавливает интуитивно понятную связь между физическим усилием (работой мышц ног и корпуса для набора высоты) и виртуальным результатом.

Анализ сценариев использования игровой среды «Цифровой ковчег» демонстрирует успешную реализацию модели гибридного игрового пространства. Цифровые технологии не выступают в роли самоцели, а служат инструментами для обогащения физической активности ребенка. Они стимулируют познавательный интерес и усиливают эмоциональную вовлеченность. Синергетический эффект от сопряжения физического, когнитивного и эмоционального опыта способствует целостному развитию личности, подтверждая высокий потенциал для использования рассматриваемых интегрированных сред.

Рассмотрим основные конструктивные элементы игровых элементов нашей площадки.

Основу горки-слона составляют опорная конструкция с лестницей, стартовая площадка, скат и декоративные боковые панели в виде слона. Лестница и стартовая площадка изготавливаются из массива лиственницы или дуба. Деревянные элементы шлифуются до полной гладкости и пропитываются натуральными маслами на основе льна или тунгового дерева для защиты от влаги без использования токсичных лаков. Ступени имеют противоскользящие насечки для безопасности. Скат горки выполнен из цельного листа полированной нержавеющей стали. Боковые панели вырезаются из толстой влагостойкой фанеры высшего сорта. Окрашивание производится красками на водной основе. Все крепежные элементы выполнены из нержавеющей стали.

Конструкция качелей-бабочек включает опорную раму, подвесную систему, сиденье и декоративные боковины с внутренней подсветкой. Опорная рама собирается из брусьев сибирской лиственницы. Соединения рамы выполняются по технологии шип-паз с дополнительной фиксацией болтами из нержавеющей стали. Подвесная система состоит из направляющих из нержавеющей стали, которые обеспечивают максимальную надежность и долговечность. Сиденье выполнено из цельного куска древесины. Декоративные боковины отлиты из переработанного полиэтилена высокой плотности, материала, получаемого из пластиковых отходов.

Консольная качели «жирафы» включает в себя следующие элементы: опорная рама из нержавеющей стали, консольная деревянная балка, стилизованная под шею жирафа, узел крепления качелей к консольной балке. Он состоит из кронштейна и подшипникового узла. Сиденья и их спинки деревянные, при этом спинки закреплены на рамах из нержавеющей стали. Ручки перед сиденьями также металлические.

Песочница-черепаха состоит из деревянного корпуса, собранного из бруса, соединенного между собой элементами из нержавеющей стали. Панцирь черепахи выделен на резиновом покрытии площадки желтым цветом.

Конструкция карусели-дельфинов включает центральную ось с подшипниковым узлом, платформу и сиденья с нарисованными фигурками дельфинов. Центральная ось с подшипниковым механизмом скрыта внутри кожуха из лиственничных досок. Сам механизм выполнен из высококачественной стали для обеспечения плавного вращения и долговечности.

Концепция прототипа площадки "Цифровой ковчег" представляет собой игровое пространство, организованное по принципу архипелага. В основе дизайна лежит идея спасительных островов, возвышающихся над водой.

Основная территория покрыта безопасным бесшовным материалом, где светло-желтый цвет символизирует сушу, а извилистая синяя «река» оставшиеся воды, при этом «река» повторяет контуры силуэта черепахи. Эта река не только служит декоративным элементом, но и выполняет функцию естественного зонирования, разделяя площадку на отдельные "острова".

Каждый «остров» представляет собой зеленую зону с одним или несколькими игровыми элементами, предназначенными для различных видов активности. Покрытие под каждым игровым элементом также стилизовано под контуры черепахи. Скамейки для отдыха также выполнены в виде черепах.

Пространство площадки ограждено живой изгородью из кустарников дерена, на территории площадки высажены молодые клены, которые создают тень и уют, интегрируя игровую зону в природный ландшафт.

Общий вид площадки «цифровой ковчег» представлен на рис.6



Рис.6. Прототип площадки «цифровой ковчег»

Проведенный анализ подтверждает, что природа, человек, архитектура, дизайн и информационные технологии образуют единую, сложно-связанную систему, где изменения в одном элементе вызывают трансформации в других. На фоне современных тенденций, таких как рост урбанизации и отрыв детей от природы, обоснована актуальность создания новых развивающих пространств.

Представленный прототип площадки «Цифровой ковчег» является практической реализацией комплексного подхода, который решает несколько задач одновременно. Во-первых, он интегрирует природу в городскую среду через ландшафтный дизайн и использование натуральных, экологических материалов. Во-вторых, анализ сценариев взаимодействия демонстрирует, что цифровые технологии не заменяют физическую активность, а обогащают ее, стимулируя познавательный интерес и воображение. Игровые элементы, выполненные в виде животных и дополненные интерактивными элементами, объединяют физический, когнитивный и эмоциональный опыт ребенка.

Конструктивные решения и выбор материалов подчеркивают направленность на внедрение принципов экологичности, долговечности и безопасности в рамках данного проекта. Разработанная концепция является масштабируемым решением, способным задать новый стандарт качества для детских площадок, смещая фокус на создание целостной развивающей игровой среды.

### **Заключение**

В результате проведенного исследования и разработки концепции можно утверждать, что проект «Цифровой ковчег» — это не просто детская площадка, а модель гармоничной среды обитания, актуальная для современного и будущего общества. Он наглядно демонстрирует возможность успешного объединения элементов природы и технологий для игры, физической активности и развития экологически ориентированного мышления у детей, что поможет сохранить природную среду для будущих поколений.

*Научный руководитель: доцент кафедры ЦАТ, канд. техн. наук, Сошников А.В.*

### **Список литературы**

1. Дмитриева Н.В., Современное состояние проблемы взаимоотношения природы – человека общества: социально-философский анализ. Вестник Саратовского государственного технического университета, 2012, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-problemy-vzaimootnosheniya-prirody-cheloveka-obschestva-sotsialno-filosofskiy-analiz?ysclid=mhlxzwqyu0455320708>, (дата обращения 01.11.2025)

2. Лыткин К.А. Триединство взаимодействий «Человек-природа-архитектура» - методы оптимизации. Вестник евразийской науки, 2019. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/triedinstvo-vzaimodeystviy-chelovek-priroda-arhitektura-metody-optimizatsii?ysclid=mhlxoe0mxf600531819>, (дата обращения 01.11.2025)
3. Тараненко Г., Природа как катализатор индивидуальности в эпоху информационных технологий и искусственного интеллекта. Электронный ресурс: URL: <https://gennadiitaranenko.ru/articles/priroda-kak-katalizator-individualnosti/?ysclid=mhlxwxo4mf5514765>, (дата обращения 01.11.2025)
4. Мицаева Х.В., Поляков Е.Н., Современные тенденции в проектировании детских игровых площадок. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 23-37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-v-proektirovanii-detskih-igrovyyh-ploschadok?ysclid=mhlyotavg6499726059>, (дата обращения 01.11.2025)

## References

1. Dmitrieva N.V., Sovremennoe sostoyanie problemy vzaimootnosheniya prirody – cheloveka obshchestva: social'no-filosofskiy analiz. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, [The current state of the problem of the relationship between nature and human society: a socio-philosophical analysis. Bulletin of the Saratov State Technical University] 2012, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-problemy-vzaimootnosheniya-prirody-cheloveka-obshchestva-sotsialno-filosofskiy-analiz?ysclid=mhlxzwqyu0455320708>, (date accessed 01.11.2025)
2. Lytkin K.A. Triedinstvo vzaimodeystvij «Chelovek-priroda-arkhitekturA» - metody optimizacii. Vestnik evrazijskoj nauki, [The trinity of interactions "Man-nature-architecture" - optimization methods. Bulletin of Eurasian Science], 2019. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/triedinstvo-vzaimodeystviy-chelovek-priroda-arhitektura-metody-optimizatsii?ysclid=mhlxoe0mxf600531819>, (date accessed 01.11.2025)
3. Taranenko G., Priroda kak katalizator individual'nosti v ehpokhu informacionnykh teznologij i iskusstvennogo intellekta. Ehlektronnyj resurs. [Nature as a catalyst for individuality in the era of information technologies and artificial intelligence. Electronic resource], URL: <https://gennadiitaranenko.ru/articles/priroda-kak-katalizator-individualnosti/?ysclid=mhlxwxo4mf5514765>, (date accessed 01.11.2025)
4. Micaeva KH.V., Polyakov E.N., Sovremennye tendencii v proektirovanii detskih igrovyyh ploschadok. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, [Current trends in the design of children's playgrounds. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2023. Т. 25. № 5. С. 23-37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-v-proektirovanii-detskih-igrovyyh-ploschadok?ysclid=mhlyotavg6499726059>, (date accessed 01.11.2025)

УДК 378.147.34

**А.А. Петрова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **ВЛИЯНИЕ GITHUB CLASSROOM НА ВОСПРИНИМАЕМУЮ ПРОЗРАЧНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В КУРСЕ ВЕБ-ДИЗАЙН**

© А.А. Петрова, 2026

*В статье рассматривается влияние GitHub Classroom и GitHub Pages на воспринимаемую прозрачность дистанционного учебного процесса в курсе веб-дизайна. Проведено пилотное исследование на основе анкетирования студентов (шкала Лайкерта и открытые ответы). Результаты показывают, что наиболее высоко оцениваются инструментальные аспекты прозрачности, связанные с централизованным доступом к артефактам и проверкой результатов по ссылке, тогда как компонент предсказуемости оценивания требует более явных критериев и ориентиров.*

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, веб-дизайн, GitHub Classroom, GitHub Pages, прозрачность учебного процесса, обратная связь, контроль версий.

**A.A. Petrova**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **THE IMPACT OF GITHUB CLASSROOM ON THE PERCEIVED TRANSPARENCY OF THE DISTANCE LEARNING PROCESS IN THE WEB DESIGN COURSE**

*The article examines the impact of GitHub Classroom and GitHub Pages on the perceived transparency of the distance learning process in a web design course. A pilot study was conducted based on student questionnaires (Likert scale and open responses). The results show that the instrumental aspects of transparency related to centralized access to artifacts and verification of results by reference are most highly appreciated, while the predictability component of evaluation requires more explicit criteria and guidelines.*

**Keywords:** distance learning, web design, GitHub Classroom, GitHub Pages, transparency of the learning process, feedback, version control.

#### **Введение**

В условиях распространения дистанционных и смешанных форм обучения возрастает значение организованной ясности учебного процесса, особенно в практико-ориентированных дисциплинах, где результат формируется поэтапно и требует многократных доработок. Для таких курсов важным становится не только содержание задания, но и понятность процедур его выполнения, сдачи, проверки и последующей корректировки. В исследованиях, посвященных оцениванию и качеству дистанционного образования, подчеркивается значимость критериев, процедур и условий, обеспечивающих понятность образовательного процесса для его участников [1].

Для дисциплины «веб-дизайн» указанная проблема проявляется особенно отчетливо, поскольку учебная деятельность включает работу с цифровыми артефактами (исходный код, макеты, прототип, итоговый веб-ресурс), промежуточными версиями и последовательными исправлениями. В дистанционном формате при традиционной организации сдачи работ могут возникать источники непрозрачности: рассеивание требований и обратной связи по разным каналам, отсутствие единого пространства фиксации версий, затруднения в отслеживании прогресса и сопоставления замечаний преподавателя с конкретным состоянием работы. Эти факторы могут снижать предсказуемость оценивания и усложнять как учебную деятельность студентов, так и проверку работ преподавателем.

Одним из инструментов, потенциально позволяющих снизить указанную неопределенность, является GitHub Classroom. GitHub Classroom позиционируется как средство для создания цифровых классов и заданий для отслеживания выполнения и поддержки преподавательских действий в рамках курса [2]. В контексте веб-дизайна дополнительное значение имеет возможность публикации итогового проекта через GitHub Pages, что позволяет проверять результат в рабочей среде браузера по ссылке, а не только в режиме демонстрации экрана или через локальные файлы.

Вместе с тем наличие цифрового инструмента само по себе не гарантирует прозрачности учебного процесса. Существенную роль играют педагогические практики: способ формулирования требований, явность критериев оценивания, структура обратной связи и правила доработки заданий. В работах по критериальному и формирующему оцениванию подчеркивается, что прозрачность оценивания для обучающихся достигается при ясном представлении критериев и их связи с обратной связью и результатом [3]. Следовательно, исследование влияния GitHub Classroom на воспринимаемую прозрачность учебного процесса требует рассмотрения как инструментальных, так и педагогически обусловленных факторов.

Исследовательская проблема настоящей работы заключается в необходимости определить, каким образом использование GitHub Classroom в дистанционном курсе веб-дизайна влияет на воспринимаемую студентами прозрачность организации учебного процесса, и какие ее компоненты оказываются наиболее чувствительными к используемому инструменту и способу педагогической организации.

Цель исследования: выявить, как использование GitHub Classroom в дистанционном курсе «веб-дизайн» влияет на воспринимаемую прозрачность учебного процесса (в том числе ясность требований, понятность критериев оценивания, видимость прогресса, ясность исправлений и предсказуемость оценки).

Задачи исследования:

- уточнить понятие воспринимаемой прозрачности учебного процесса применительно к дистанционному обучению в практико-ориентированной дисциплине;
- описать организацию учебного процесса в курсе «веб-дизайн» при использовании GitHub Classroom;
- выделить инструментальные, педагогические и смешанные компоненты прозрачности;
- разработать анкету для оценки воспринимаемой прозрачности учебного процесса студентами;
- проанализировать количественные и качественные данные анкетирования и сопоставить результаты с выдвинутой гипотезой.

Гипотеза исследования: использование GitHub Classroom способствует повышению воспринимаемой прозрачности дистанционного учебного процесса за счет централизованного хранения учебных артефактов, фиксации истории изменений, поддержки актуальности версии работы и возможности проверки результата в реальной среде (через публикацию сайта), однако выраженность эффекта зависит также от качества формулировки требований, критериев оценивания и организации обратной связи преподавателем.

Научная новизна работы заключается в операционализации воспринимаемой прозрачности дистанционного учебного процесса в курсе веб-дизайна через систему инструментальных, педагогических и смешанных компонентов, а также в эмпирическом анализе их выраженности на материале конкретного учебного курса.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования полученных результатов для совершенствования организации сдачи, проверки и доработки проектных работ в дистанционных практико-ориентированных дисциплинах,

а также для проектирования более понятных студентам процедур обратной связи и оценивания.

Эмпирическую базу исследования составляют данные анкетирования студентов курса «веб-дизайн», реализованного в дистанционном формате Microsoft Teams для проверки занятий и GitHub Classroom для сопровождения и проверки заданий; итоговые проекты студентов публиковались с использованием GitHub Pages.

#### **Теоретико-методологические основания исследования.**

В рамках исследования прозрачность образовательного процесса рассматривается как воспринимаемая характеристика организации обучения, отражающая степень понятности для обучающегося того, что именно требуется выполнить, каким образом осуществляется движение к результату, как интерпретировать замечания преподавателя и на каких основаниях формируется итоговая оценка. Такой подход позволяет рассматривать прозрачность не только как наличие формально заданных правил, но и как фактическую доступность и применимость в учебной деятельности.

В условиях дистанционного обучения значимость прозрачности возрастает, поскольку часть очных механизмов оперативного уточнения требования и совместного обсуждения промежуточных результатов оказывается ограниченной. При этом для практико-ориентированных дисциплин, включая веб-дизайн, характерны поэтапность работы, множественные версии артефактов и необходимость регулярных доработок, что делает прозрачность неотъемлемой характеристикой управляемости учебного процесса. В работах по оцениванию и качеству дистанционного образования подчеркивается необходимость понятных процедур, критериев и условий взаимодействия как факторов качества образовательной среды [1].

Прозрачность образовательного процесса рассматривается как многокомпонентная воспринимаемая характеристика организации обучения. С учетом дистанционного формата и специфики проектной деятельности в курсе веб-дизайна выделяются инструментальные, педагогические обусловленные и смешанные компоненты прозрачности.

К инструментальным компонентам отнесены:

- централизованность хранения учебных артефактов;
- наблюдаемость истории изменений;
- определенность актуальной версии результата;
- доступность и полнота артефакта для проверки;
- устойчивость проверки к техническим помехам дистанционного формата;
- верифицируемость результата в рабочей среде.

К педагогически обусловленным компонентам отнесены:

- четкость требований к заданию;
- понятность критериев оценивания;
- структура и качество обратной связи;
- ясность правил процесса.

К смешанным компонентам отнесены:

- видимость прогресса;
- ясность исправлений.

Особую роль в поддержании прозрачности играет обратная связь, связывающая требования, текущее состояние работы и ожидаемый результат. В логике формирующего оценивания именно обратная связь обеспечивает ориентирование обучающегося в процессе доработки и повышает осмысленность учебной деятельности [3]. Выделенные компоненты рассматриваются в работе как концептуальная основа для последующей операционализации в анкетном инструментарии.

Цифровые инструменты организации учебной деятельности в дистанционном формате могут рассматриваться как средства снижения неопределенности при выполнении, сдаче и проверке заданий. Их значение связано с возможностью централизации учебных артефактов, фиксации изменений и поддержания наблюдаемости процесса работы, что особенно важно в практико-ориентированных дисциплинах с поэтапной доработкой результатов.

Теоретически повышению прозрачности способствуют следующие механизмы: централизация материалов и результатов, версионирование и история изменений, привязка комментариев к артефакту (или его версии), а также структурирование взаимодействий (единый порядок выдачи, сдачи, проверки и доработки). В совокупности эти механизмы уменьшают риск рассеивания информации по каналам, потери версий и разрыва между замечаниями преподавателя и объектом исправления.

Выбор GitHub Classroom в настоящем исследовании обусловлен тем, что данная платформа в теории позволяет реализовать указанные механизмы в учебном процессе: организовывать задания, работать с репозиториями студентов и сопровождать выполнение работ в единой цифровой среде. Для курса веб-дизайна дополнительное значение имеет использование GitHub Pages, позволяющее проверять итоговый результат в рабочей среде браузера по ссылке.

Цифровая платформа создает инфраструктурные условия для повышения прозрачности, но не обеспечивает ее автоматически. Прозрачность учебного процесса формируется как результат сочетания инструментальных возможностей среды и педагогической организации требований, критериев и обратной связи.

В научной и методической литературе GitHub рассматривается как образовательный инструмент, поддерживающий организацию практических заданий, проектную работу и развитие профессиональных цифровых компетенций обучающихся. В частности, в отечественных исследованиях подчеркивается, что использование платформы и систем контроля версий позволяет фиксировать ход работы и упрощать сопровождение учебных проектов [4]. Кроме того, описаны примеры применения GitHub Classroom как инструмента управления заданиями в образовательной практике. В отличие от большинства работ, фокусирующихся на формировании компетенций и организационных преимуществах платформы, в настоящем исследовании акцент сделан на воспринимаемой прозрачности дистанционного учебного процесса и ее компонентной структуре.

#### **Описание образовательного контекста и организации учебного процесса.**

Эмпирической базой исследования является курс «Веб-дизайн», реализуемый для студентов 3 курса направления «Прикладная информатика в дизайне». Учебный процесс организован в дистанционном формате: практические занятия проводятся в Microsoft Teams, а лекционные материалы размещаются в постоянном доступе в облачном хранилище (OneDrive). Такой формат обеспечивает доступность учебных материалов, но одновременно повышает значимость четкой организации каналов коммуникации и процедур сдачи работ.

В структуру работы входят практико-ориентированные задания:

- две лабораторные работы, направленные на освоение базовых навыков HTML и CSS;
- подготовка технического задания для итогового проекта;
- прототипирование дизайн-макета в Figma,
- реализация сайта на основе прототипа с использованием технологий Flexbox, Grid Layout и Bootstrap;
- проверка валидности кода;
- оформление итогового пакета материалов.

Учебный процесс был организован поэтапно: после выдачи задания студентам отводилось время на его выполнение, после чего группа переходила к следующему заданию. Для заданий были предусмотрены контрольные точки для сдачи. Работа над итоговым проектом продолжалась в течение всего семестра.

Роль преподавателя включает организацию заданий, консультирование и сопровождение выполнения, проверку наличия обязательных элементов работы, обсуждение решений со студентом, а также оценивание по пятибалльной шкале. Коммуникация осуществляется в дистанционном формате в ходе практических занятий.

В целях теоретического сопоставления в работе используется реконструкция традиционного сценария сдачи работ без системного контроля версий. Данный сценарий рассматривается не как отдельная эмпирическая выборка, а как концептуальная модель, позволяющая описать типичные источники организационной неопределенности, релевантные для исследования воспринимаемой прозрачности.

В типовом сценарии студентам выдаются лекционные материалы и задания, работа выполняется поэтапно и предъявляется на практических занятиях, а итоговая аттестация организуется по установленным правилам курса. Материалы курса могут храниться централизованно (например, в личном кабинете), однако промежуточные версии работ, как правило, не фиксируются в единой системе: студент демонстрирует текущий вариант на занятии и на следующей встрече показывает внесенные исправления. Обратная связь тоже представляется преимущественно устно в ходе занятия.

С точки зрения прозрачности учебного процесса в такой модели проявляются типичные источники непрозрачности. Во-первых, возникает неполная история версий и исправлений: динамика работы и последовательность доработок сохраняются преимущественно у студента и не всегда доступны преподавателю для последующей проверки. Во-вторых, при технических сбоях (например, неисправности устройства студента) может нарушаться доступность материалов и целостность истории работы. В-третьих, при синхронной демонстрации результата возможны технические помехи (низкое качество связи, размытость изображения), затрудняющие проверку. Наконец, отсутствие единого механизма фиксации изменений и комментариев может снижать наблюдаемость прогресса и усложнять сопоставление замечаний с конкретным состоянием работы.

Таким образом, реконструированный традиционный сценарий задает теоретическую модель сравнения и позволяет выделить аспекты учебного процесса, в которых цифровые инструменты с централизованным хранением артефактов и фиксацией изменений потенциально способны повысить воспринимаемую прозрачность.

В рассматриваемом курсе GitHub Classroom используется как средство организации сдачи и сопровождения практических и проектных работ. Учебные задания и лекционные материалы выдаются преподавателем и остаются доступными студентам в течение семестра; GitHub Classroom применяется для работы с репозиториями студентов и сопровождения процесса выполнения заданий.

Для итогового проекта используется репозиторий без жестко заданного шаблона структуры, однако обязательным условием является его публичность, что обеспечивает возможность публикации результата через GitHub Pages. Итоговая работа должна содержать полный комплект материалов и файлов с корректными именами и структурой папок сайта в соответствии с принятыми практиками организации веб-проекта. Возможность публикации и проверки сайта по ссылке соответствует логике использования GitHub Pages как инструмента размещения веб-проектов.

Процесс доработки организован итеративно: после получения комментариев студент вносит изменения в проект и фиксирует их в репозитории. Обратная связь предоставляется преимущественно в ходе практических занятий; при этом преподаватель проверяет код и другие материалы непосредственно в репозитории, что снижает необходимость проверки от качества соединения. Проверка итогового результата также может осуществляться по опубликованной ссылке на сайт, что позволяет оценивать работу в рабочей среде браузера без скачивания файлов на устройство преподавателя.

Прогресс по итоговому проекту сохраняется в одном репозитории, а история изменений делает процесс более наблюдаемым и воспроизводимым. Таким образом, описанная организация работы с использованием GitHub Classroom реализует ряд механизмов, направленных на снижение источников непрозрачности, характерных для традиционного сценария: централизацию хранения артефактов, фиксацию версий и изменений, поддержание актуальности результата и повышение доступности работы для проверки.

#### **Дизайн исследования.**

Исследование выполнено в формате пилотного описательно-аналитического исследования, направленного на оценку воспринимаемой прозрачности учебного процесса и первичную проверку гипотезы о механизмах ее формирования при использовании GitHub Classroom. Сравнение носит концептуальный характер: эмпирически анализируется восприятие прозрачности в текущей модели организации курса, а интерпретация результатов осуществляется через сопоставление с теоретической моделью традиционного сценария сдачи работ, реконструированной в предыдущей главе. Единицей анализа выступает восприятие студентом прозрачности учебного процесса, а не показатели успеваемости.

В исследовании участвовали студенты 3 курса направления «Прикладная информатика в дизайне» (группы 3-МД-4, 3-МД-8, 3-МД-17), обучавшиеся по дисциплине «Веб-дизайн» в дистанционном формате. Опрос был предложен всем студентам групп, однако при интерпретации результатов основное внимание уделялось ответам студентов, выполнивших итоговый проект, поскольку они прошли полный цикл взаимодействия с заданиями, обратной связью и процедурой итоговой сдачи. Участие в опросе было добровольным, ответы собирались анонимно и не влияли на итоговую оценку.

Сбор данных осуществлялся с помощью авторской анкеты воспринимаемой прозрачности учебного процесса, включавшей шкальные утверждения и открытые вопросы. Шкальная часть была построена по пятибалльной шкале Лайкерта (1 – «полностью не согласен», 5 – «полностью согласен»). Анкета разрабатывалась на основе принятой в исследовании модели прозрачности, включающей инструментальные, педагогически обусловленные и смешанные компоненты. Каждый компонент измерялся несколькими утверждениями (по четыре утверждения), после чего ответы агрегировали в обобщенный показатель. Открытые вопросы использовались для выявления факторов, которые, с точки зрения студентов, облегчали или затрудняли понимание требований, хода работы, доработок и оценивания.

Анкетирование проводилось после завершения курса, в формате онлайн-опроса (Google Forms), что позволило опираться на опыт прохождения полного учебного цикла. Для минимизации влияния преподавателя на ответы сбор данных был организован после выставления итоговых оценок; участие не было обязательным, а в инструкции к опросу отдельно указывался исследовательский характер процедуры.

Количественные данные анализировались методами описательной статистики с расчетом обобщенных показателей по компонентам прозрачности и сопоставлением их

выраженности внутри одной выборки. Использование нескольких утверждений для каждого компонента позволяло повысить устойчивость измерения. Открытые ответы анализировались методом тематического кодирования с выделением повторяющихся смысловых категорий (например, требования, организация сдачи, обратная связь, технические условия дистанционного взаимодействия). Итоговая интерпретация строилась на сопоставлении количественных и качественных результатов. Неполные анкеты, не позволяющие рассчитать ключевые показатели, исключались из анализа; данные хранились в обезличенном виде и использовались только в рамках исследования.

**Результаты исследования.**

В анкетировании приняли участие 12 студентов курса «Веб-дизайн». Для каждого компонента прозрачности рассчитывался интегральный показатель как среднее значение по четырем утверждениям (шкала 1-5). Среднее значение – М, медиана – Ме, стандартное отклонение – SD.

В целом оценки прозрачности находятся в диапазоне от 3,58 до 4,58 балла, что соответствует преимущественно умеренно высокому и высокому уровню воспринимаемой прозрачности.

Инструментальные компоненты в среднем оценены на 3,99 (Ме = 3, 97). Максимальные значения внутри этой группы получены по компоненту верифицируемости результата в рабочей среде с использованием GitHub Pages (М = 4,58), что указывает на высокую значимость проверки результата «по ссылке» без скачивания и демонстрации экрана. Наименее выраженными оказались история изменений (М = 3,58) и актуальность версии (М = 3,63), при этом разброс по отдельным инструментальным компонентам был сравнительно заметным (SD около 0,8), что может отражать неоднородность опыта студентов и различия в том, как активно использовались механизмы версионирования.

Педагогически обусловленные компоненты в среднем составили 4,12 (Ме = 4,13). Наиболее высокую оценку получили правила процесса (М = 4,38). Наименее выраженным оказался компонент с понятностью критериев оценивания (М = 3,85). В целом, показатели по педагогически обусловленным компонентам показали, что организация этапов сдачи работ была ясна для студентов.

Смешанные компоненты в среднем составили 4,16 (Ме = 4,16). Более высокий показатель получен для ясности исправлений (М = 4,19), что согласуется с восприятием обратной связи как в целом понятной и применимой.

На рисунке 1 приведена таблица с результатами оценки компонентов по каждому студенту.

Студент	Компоненты											
	Инструментальные компоненты						Педагогические компоненты				Смешанные компоненты	
	Единое место хранения артефактов	История изменений	Актуальность версии	Прозрачность доступа к артефактам	Снижение влияния технических помех на проверку	Верифицируемость результата в реальной среде	Чёткость требований	Понятность критериев оценивания	Структура и качество обратной связи	Правила процесса	Видимость прогресса	Ясность исправлений
1	3,75	3,5	4,25	5	4,25	4,75	2,75	2,75	3,75	4	4,25	3,75
2	3,5	3	2,5	4	3,75	4	3,75	3,25	3,5	3,75	3,5	3,5
3	2,75	2,5	3,25	3	3,5	3,25	4,25	4,25	4,25	4,5	4,25	4,25
4	4	2,75	3,5	4	5	4	3,25	2,75	3,25	4	3	3,75
5	3,75	2,75	3	3	3,25	4,5	2,75	2,75	3,25	3,25	3,5	3
6	3,5	4,5	3,25	4,25	3,75	4,75	4,5	3,75	4,25	4,25	4,5	4
7	5	3,25	3,25	3,5	3,25	5	4,75	5	4	4,25	3,75	4
8	4,75	5	5	4,5	4,5	5	4,75	5	4,75	5	5	5
9	5	4,75	4	5	5	5	5	4,75	5	5	5	5
10	5	3,5	4,75	5	4,5	5	5	4,5	5	5	5	4,75
11	4,5	4	2,75	3,25	3	4,75	4,25	3,25	3,5	4,5	3,25	4,25
12	5	3,5	4	5	2	5	4,5	4,25	5	5	4,5	5
Среднее значение (М)	4,21	3,58	3,63	4,13	3,81	4,58	4,13	3,85	4,13	4,38	4,13	4,19
Медиана (Ме)	4,25	3,5	3,375	4,125	3,75	4,75	4,375	4	4,125	4,375	4,25	4,125
Стандартное отклонение (SD)	0,77	0,82	0,78	0,79	0,89	0,56	0,82	0,88	0,69	0,57	0,71	0,65

Рис. 1. Результат оценки компонентов

Сильные компоненты с наиболее высоким средним значением: верифицируемость результата в рабочей среде, правила процесса, ясность исправлений.

Зоны потенциального улучшения: история изменений, актуальность версии, а также понятность критериев оценивания.

Открытые ответы показали, что источниками непонятности требований и ожиданий чаще всего называли презентационные материалы, объяснения преподавателя и возможность уточняющих вопросов. Отдельно отмечалась полезность «единого места», где собраны задания и требования. В качестве наиболее полезных элементов GitHub Classroom и GitHub Pages студенты чаще всего упоминали:

- возможность просматривать результат по ссылке без скачивания файлов (студент №7);
- централизованное хранение материалов «не на собственном устройстве»; (студент №12)
- структурирование файлов (студент №2);
- контроль версий, сравнение изменений и возможность отслеживать внесенные правки (студенты №1 и №6).

К затруднениям и источникам неопределенности относились:

- отсутствие четкого плана, ТЗ, правил у части студентов (студент №5);
- технические факторы дистанционного формата (например, неполадки с интернетом) (студент №5);
- организационно-технические трудности (например, большой размер файлов при загрузке в репозиторий) (студент №8);
- риск «потери» устных комментариев (часть студентов отмечала, что обратную связь приходилось записывать вручную, чтобы не забыть) (студент №1).

По блоку обратной связи ответы в целом носили позитивный характер (упоминались «понятные и конструктивные комментарии»), при этом встречались запросы на более конкретные и зафиксированные в письменном виде комментарии.

На вопрос о том, чего не хватало для предсказуемости оценки, наиболее частыми были ответы, связанные с примерами работ, критериями и чек-листом. Это указывает на более явную и стандартизированную «карту качества» результата (что соответствует компоненту понятности критериев оценивания).

Полученные результаты в целом поддерживают гипотезу о том, что использование GitHub Classroom и GitHub Pages связано с повышением воспринимаемой прозрачности за счет инструментальных механизмов централизованного доступа к артефактам и верифицируемости результата в реальной среде: именно компонент проверки результата «в рабочем виде» оказался наиболее выраженным, а в открытых ответах многократно фиксировалась ценность проверки «без скачивания» и по «ссылке».

В то же время результаты показывают, что отдельные аспекты прозрачности остаются чувствительными к педагогической организации, прежде всего в части критериев оценивания и запросов на примеры и чек-листы. Кроме того, сравнительно более низкие оценки компонентов, связанных с историей изменений и актуальностью версий, могут отражать неоднородность практик использования версионирования или различия в цифровой подготовке студентов (например, разный уровень владения Git).

### **Заключение.**

Целью исследования было выявить влияние использования GitHub Classroom в дистанционном курсе веб-дизайна на воспринимаемую студентами прозрачность учебного процесса.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- уточнено понятие воспринимаемой прозрачности учебного процесса применительно к дистанционному обучению в практико-ориентированной дисциплине;
- описана организация учебного процесса в курсе «веб-дизайна» при использовании GitHub Classroom;

- выделены инструментальные, педагогически обусловленные и смешанные компоненты прозрачности;
- разработана анкета для оценки воспринимаемой прозрачности учебного процесса;
- проведен анализ количественных и качественных данных анкетирования и выполнено сопоставление результатов с выдвинутой гипотезой.

Таким образом, гипотеза о том, что GitHub Classroom способствует росту воспринимаемой прозрачности за счет централизованного хранения и возможностей фиксации изменений, в целом поддерживается, однако результаты указывают на сохранение уязвимых зон, связанных с педагогически обусловленными компонентами, прежде всего с явностью критериев и предсказуемости оценивания. Практическим следствием является необходимость усиления явных критериев и стандартизации формата обратной связи и процедур доработки при сохранении преимуществ инструментальной инфраструктуры GitHub Classroom и GitHub Pages. Полученные выводы могут быть использованы преподавателями практико-ориентированных дисциплин при проектировании дистанционных курсов, где критически важны наблюдаемость процесса и воспроизводимость проверки результатов.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры цифровых и аддитивных технологий, Славникова Мария Александровна*

*Scientific supervisor: Senior lecturer of the Department of Digital and Additive Technologies, Slavnikova Maria Alexandrovna*

#### **Список литературы**

1. Курашова С.В., Zubok Д. А. Формирование критериев оценки качества дистанционного образования. // Современное педагогическое образование. 2022. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-kriteriev-otsenki-kachestva-distsionnogo-obrazovaniya> (дата обращения: 06.03.2026)
2. О GitHub Classroom: электронный ресурс // GitHub Docs (русская версия). URL: <https://docs.github.com/ru/education/manage-coursework-with-github-classroom/get-started-with-github-classroom/about-github-classroom> (дата обращения: 06.03.2026)
3. Пинская М.А., Иванов А.В. Формирующий подход: критериальное оценивание в действии // Народное образование. 2010. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formiruyuschiy-podhod-kriterialnoe-otsenivanie-v-deystvii> (дата обращения: 06.03.2026)
4. Садыкова Ф.Э. Сервис GitHub как инструмент для формирования компетенций в области программирования // Научный результат. Педагогика и психология образования. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/servis-github-kak-instrument-dlya-formirovaniya-kompetentsiy-v-oblasti-programmirovaniya> (дата обращения: 19.03.2026).

#### **References**

1. Kurashova S.V., Zubok D.A. *Formirovanie kriteriev otsenki kachestva distantsionnogo obrazovaniia*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-kriteriev-otsenki-kachestva-distsionnogo-obrazovaniya> [Development of criteria for assessing the quality of distance education] : [Electronic resource] (date accessed: 06.03.2026)
2. About GitHub Classroom : electronic resource // GitHub Docs (RU). URL: <https://docs.github.com/ru/education/manage-coursework-with-github-classroom/get-started-with-github-classroom/about-github-classroom> (date accessed: 06.03.2026)
3. Pinskaya M.A., Ivanov A.V. *Formiruyushchii podkhod: kriterial'noe otsenivanie v deistvii* URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formiruyuschiy-podhod-kriterialnoe-otsenivanie-v-deystvii> [Formative approach: criterion-based assessment in action] (date accessed: 06.03.2026)
4. Sadykova F.E. *Servis GitHub kak instrument dlia formirovaniia kompetentsii v oblasti programmirovaniia*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/servis-github-kak-instrument-dlya-formirovaniya-kompetentsiy-v-oblasti-programmirovaniya> [GitHub service as a tool for developing programming competencies] (date accessed: 19.03.2026).

УДК 004.5

**Е.А. Ренева, Е.С. Кокорин**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**AI-АССИСТИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: ИНСТРУМЕНТЫ, НАВЫКИ И АРХИТЕКТУРНЫЕ ПОДХОДЫ**

© Е.А. Ренева, Е.С. Кокорин, 2026

*В статье рассматриваются современные подходы к разработке программного обеспечения с применением искусственного интеллекта. Анализируется эволюция AI-инструментов — от автодополнения кода до полноценных агентных сред. Описываются ключевые навыки разработчика в условиях распространения AI-ассистентов, архитектурные паттерны мультиагентных рабочих процессов, вопросы безопасности и управления контекстом. Рассматриваются практические ограничения рабочего контекстного окна моделей и методология Spec-Driven Development.*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, разработка ПО, языковые модели, AI-агенты, prompt engineering, Spec-Driven Development, мультиагентные системы, CI/CD, безопасность.

**E.A. Reneva, E.S. Kokorin**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**AI-ASSISTED SOFTWARE DEVELOPMENT: TOOLS, SKILLS AND ARCHITECTURAL APPROACHES**

*The article examines modern approaches to software development using artificial intelligence. The evolution of AI tools is analyzed — from code autocompletion to full-fledged agent environments. Key developer skills in the context of AI assistant proliferation, architectural patterns of multi-agent workflows, security issues, and context management are described. Practical limitations of model working context windows and the Spec-Driven Development methodology are discussed.*

**Keywords:** artificial intelligence, software development, language models, AI agents, prompt engineering, Spec-Driven Development, multi-agent systems, CI/CD, security.

За последние несколько лет разработка программного обеспечения изменилась сильнее, чем за предыдущее десятилетие. Ещё в 2021 году AI-инструменты воспринимались как удобное дополнение к IDE — они предлагали строчку кода, не больше. К 2026 году агентные системы самостоятельно читают тикеты, создают ветки в репозитории, пишут код, прогоняют тесты и открывают pull request. Граница между «инструментом» и «участником команды» стала условной [1].

Такой сдвиг затрагивает не только инструменты, но и саму профессию разработчика. Умение написать синтаксически правильный код уже не является дефицитным навыком — важнее стало умение правильно поставить задачу, оценить результат и выстроить процесс. Настоящая статья систематизирует ключевые аспекты AI-ассистированной разработки и предлагает практические рекомендации для специалистов и команд.

Современные AI-инструменты для разработчиков прошли несколько поколений эволюции. Первое поколение — GitHub Copilot (2021) — давало inline-подсказки прямо в редакторе. Инструмент видел только несколько сотен токенов вокруг курсора и предлагал продолжение строки. Несмотря на ограниченность, именно этот класс инструментов впервые показал измеримый эффект: на шаблонных задачах ускорение достигало 55% [2].

Второе поколение — Cursor, Windsurf — перешло к chat-режиму с пониманием всего проекта. Разработчик мог обсудить архитектуру, попросить переписать несколько файлов сразу или объяснить чужой код. Это стало возможным за счёт RAG-подсистем: кодовая база индексируется, и в контекст запроса динамически подгружаются только нужные фрагменты [4].

Третье поколение — Claude Code, Codex CLI, Aider — это агенты, которые берут на себя целые итерации: планируют шаги, выполняют команды в терминале, правят файлы, запускают тесты, формируют коммиты. Разработчик превращается в постановщика задач и финального ревьюера. Опытные инженеры всё чаще используют не один агент, а цепочку: один отвечает за планирование, второй — за написание кода, третий — за проверку. На рисунке 1 изображена эволюция AI-инструментов.

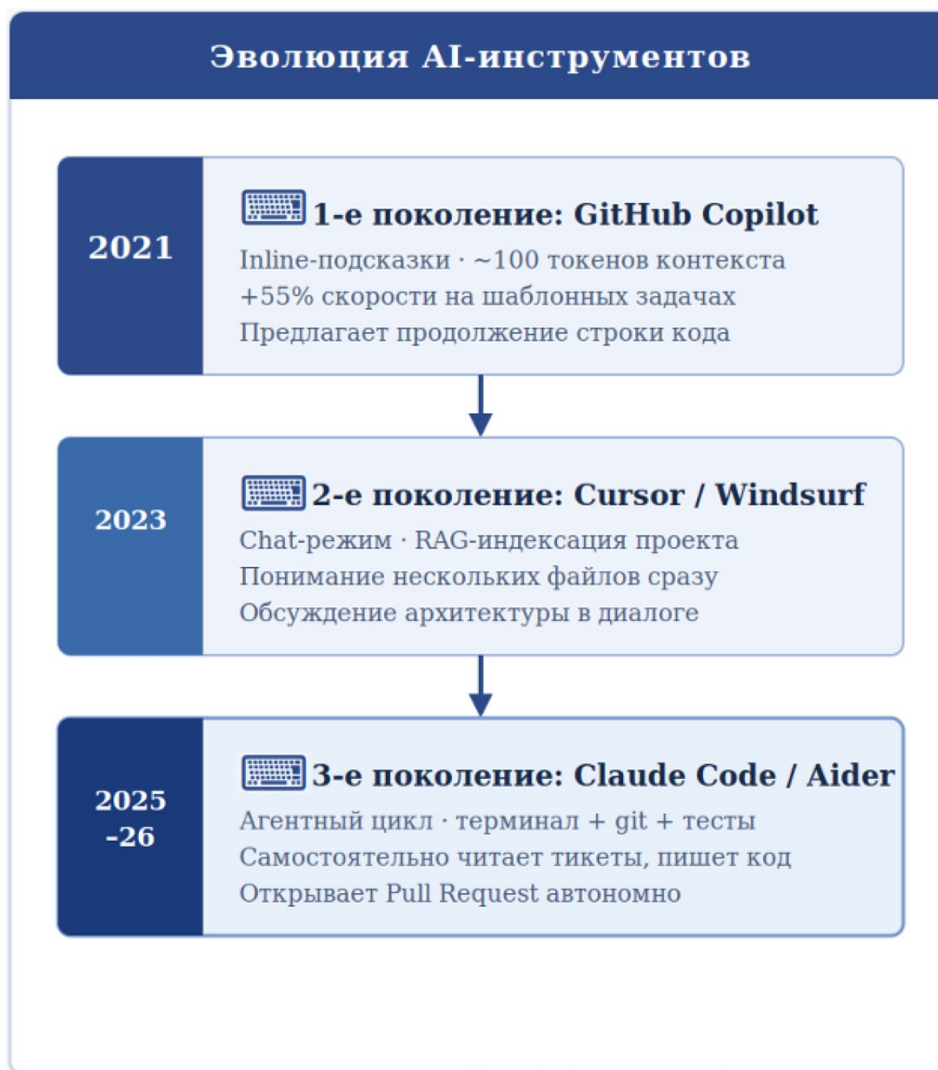


Рис. 1. Эволюция AI-инструментов

На практике удобно разбивать задачи на три класса. Быстрые точечные правки — достаточно короткого промпта в inline-режиме. Задачи средней сложности — chat-режим с обсуждением вариантов. Крупные изменения, затрагивающие несколько модулей, — полноценный агентный режим с предварительной спецификацией. Попытки применить один подход ко всем типам задач приводят либо к потере скорости, либо к низкому качеству результата.

Умение точно сформулировать задачу стало ключевым профессиональным навыком. Хороший промпт включает несколько компонентов: чёткое описание результата, контекст предметной области, ограничения по технологиям и стилю кода, а также примеры ожидаемого поведения [3]. Разница между хорошо и плохо составленным промптом по влиянию на качество результата сопоставима с разницей

между опытным и начинающим разработчиком. Организации начинают включать prompt engineering в корпоративные стандарты разработки наряду с code style guides.

Несколько приёмов, выработанных практиками. Во-первых, борьба с «льстивостью» моделей: без специальных инструкций LLM склонны соглашаться с пользователем и подтверждать ошибочные решения. Формулировки «атакуй эту идею», «найди слабые места», «перечисли противоречия» переключают модель в режим критического анализа. Во-вторых, явное декларирование цели — зачем делается задача и какую проблему решает — даёт модели более устойчивый ориентир, чем описание технических шагов. Отдельно следует выделить «Puzzle-Driven Development» — приём, при котором агенту прямо поручается искать «дыры» в собственном решении: пропущенные граничные случаи, неявные предположения, нерассмотренные сценарии ошибок. Этот подход частично компенсирует системную склонность LLM к паттерн-матчингу — воспроизведению популярных решений из обучающей выборки без проверки их применимости к конкретному контексту.

Разработчик смещается от исполнителя, пишущего код, к архитектору и редактору, направляющему AI-генерацию. Ключевые компетенции теперь — системное мышление, критический code review AI-кода, глубокое понимание бизнес-логики.

При проверке AI-кода особенно важно обращать внимание на граничные случаи и обработку ошибок: модели охотно генерируют «счастливый путь», игнорируя исключения. Вторая характерная проблема — LLM «уверенно ошибаются»: сгенерированный код компилируется и проходит поверхностные тесты, но содержит неверные допущения о поведении внешних систем. Важное наблюдение: модели хорошо реализуют архитектуру, уже описанную в коде или спецификации, но плохо проектируют её с нуля. Архитектурные решения по-прежнему остаются за человеком.

Производители моделей анонсируют контекстные окна в сотни тысяч токенов, однако качество рассуждений на практике начинает деградировать значительно раньше — примерно после 100 тысяч токенов активного контекста. Это подтверждается исследованием эффекта «потери в середине»: языковые модели непропорционально плохо работают с информацией, расположенной в центральной части длинного входа [7].

На практике это означает: разработчики целенаправленно очищают историю между итерациями, размещают ключевые инструкции одновременно в начале и в конце контекста, а проектную документацию строят «плоской» — много коротких файлов предпочтительнее глубокой вложенности.

Между сессиями контекст сохраняется через конфигурационные файлы — CLAUDE.md, AGENTS.md, .cursorrules. Практика показала, что такие файлы должны быть максимально короткими: несколько строк с самыми принципиальными правилами проекта. Подробный CLAUDE.md съедает ценные токены и снижает качество работы модели над актуальной задачей.

Протокол MCP (Model Context Protocol) от Anthropic стандартизирует подключение внешних сервисов к агентам [5]. Вместе с тем широкое применение MCP обнажило компромисс: каждый подключённый сервис добавляет описания инструментов в системный промпт, отнимая токены из рабочего контекста. В ответ появилась практика динамической подгрузки MCP по требованию — описание инструмента запрашивается только в момент его использования.

По мере роста задач появляется необходимость координировать несколько агентов: оркестратор декомпозирует задачу и распределяет подзадачи, специализированные агенты отвечают за код, тесты, документацию и ревью. Взаимодействие с внешними системами реализуется через механизм tool use (function calling).

Важный методологический приём — использовать разные модели для ролей исполнителя и ревьюера. Если один и тот же агент пишет код и сам его проверяет, возникает эффект anchoring bias: модель склонна подтверждать собственные решения. В зрелых конфигурациях ревьюер запускается на другой модели и не получает информации о внесённых изменениях — только контекст исходной задачи и финальный результат.

Spec-Driven Development (SDD) — методология, при которой перед генерацией кода агент совместно с разработчиком сначала создаёт формализованное описание фичи: цель, границы, модель данных, интерфейсы, граничные случаи и открытые вопросы [9]. Только после согласования спецификации начинается реализация.

Мотивация проста: спецификация принудительно выявляет «дыры» в архитектуре до начала кодирования, фиксирует инвариантные решения и служит источником истины при ревью. Тесты в этом подходе рассматриваются как исполняемая спецификация — порядок их написания вторичен, но взаимная

согласованность кода и тестов критична. Полноценная SDD оправдана для крупных изменений, затрагивающих несколько модулей; для точечных правок она избыточна.

Перспективное направление — параллельная работа нескольких агентов в изолированных ветках репозитория — в частности, через механизм `git worktrees`. Оркестратор разбивает фичу: один агент реализует модель данных, второй — бизнес-логику, третий — UI, четвёртый — тесты. При правильной декомпозиции суммарное время выполнения сокращается в несколько раз по сравнению с последовательным подходом.

К 2026 году появилось несколько специализированных оркестраторов, которые автоматизируют эту схему: они принимают на вход задачу из системы управления проектами (Linear, Jira), создают `worktree`, запускают в ней агентную сессию, отслеживают прогресс и по завершении открывают `pull request` в основную ветку. Похожая концепция реализована в «фабриках агентов», работающих в фоновом режиме как планируемые задания (`scheduled tasks`): агент просыпается по расписанию, проверяет очередь незакрытых тикетов и забирает в работу те, что подходят под заранее заданные критерии.

Главный вызов — управление конфликтами слияния: агенты должны работать с чётко разграниченными зонами ответственности и обращаться к общему документу-спецификации как к эталону.

Полный цикл AI-ассистированной разработки выглядит так: агент получает ссылку на задачу в Jira или GitHub Issues, анализирует описание, создаёт ветку, реализует изменения, запускает тесты и при успехе открывает `pull request` с автоматически сгенерированным описанием на основе диффа. Ещё пару лет назад это звучало как фантастика — в 2026 году схема работает в продуктивной разработке.

Pre-commit хуки и линтеры обеспечивают дополнительный контроль: синтаксические ошибки, нарушения `code style` и базовые проблемы безопасности устраняются до попадания кода в репозиторий. Автоматический `code review` вторым агентом (на другой модели), запускаемый как GitHub Action, снижает нагрузку на ревьюера-человека. Для тестирования особенно ценны интеграционные и API-тесты: они реже ломаются при рефакторинге и лучше выявляют характерные ошибки AI-кода — неверные допущения о поведении внешних систем.

Предоставление агентам доступа к файловой системе, терминалу и внешним API требует тщательной архитектуры. Принцип минимальных привилегий — агент получает доступ только к ресурсам, необходимым для конкретной задачи — реализуется через контейнеризацию, ограничения сетевых обращений и мониторинг команд. Задокumentированные инциденты показывают: агент с полным доступом к `terraform` способен в результате неверной интерпретации задачи удалить `production`-ресурсы.

Механизм `human-in-the-loop` (HITL) определяет точки, где агент должен запросить подтверждение перед необратимыми действиями. Зрелый HITL декомпозируется по уровням: чтение — без подтверждения; изменения в рабочей копии — без подтверждения, но с фиксацией в контроле версий; изменения конфигурации среды и любые действия в `production` — только с явным подтверждением [11].

Атаки `prompt injection` — внедрение инструкций в данные, обрабатываемые агентом — особенно опасны в сочетании с высокими привилегиями. В профессиональной литературе выделяется «летальная триада» (`lethal trifecta`): доступ к приватным данным + обработка недоверенного контента + возможность внешней коммуникации [8]. Система со всеми тремя свойствами при успешной атаке способна выгрузить данные пользователя во внешние каналы. Практическая защита — архитектурно разорвать хотя бы одно из трёх свойств.

Разработка приложений для платформ Apple — особый случай AI-ассистированной разработки. К 2026 году модели уверенно генерируют экраны, модели данных, сетевые сервисы и тесты на Swift и SwiftUI. Однако интеграция с инструментарием Xcode и спецификой iOS-сборок требует дополнительных решений, заметно отличающихся от практик веб- или backend-разработки.

Официальные MCP-интеграции для Xcode по состоянию на весну 2026 года практики оценивают как неудовлетворительные: они не покрывают значимые режимы сборки и плохо вписываются в реальные рабочие процессы. В результате сложилась устойчивая практика: собственные CLI-обёртки над `xcodebuild` в связке с `xcbeautify`, очищающим вывод сборки до уровня, пригодного для передачи в контекст модели. Такие обёртки оформляются как проектные «навыки» и напрямую вызываются агентом.

Для тестирования UI на SwiftUI применяются несколько подходов. SwiftUI превью превращаются в скриншот-тесты на этапе сборки — дёшево и эффективно для фиксации визуальных регрессий. Для end-to-end сценариев используются кросс-платформенные фреймворки с декларативным описанием действий. Отдельную роль играют `deep links`: URL-схемы приложения позволяют агенту запускать тесты сразу с

нужного экрана, минуя длинные цепочки навигации. Именно URL-based навигация в сочетании с явным stateful-роутером считается наиболее «AI-дружественной» архитектурой мобильного приложения.

В крайних случаях, когда автоматизированные способы не покрывают нужный сценарий, агент взаимодействует с симулятором в режиме computer use — принимает решения на основе скриншотов, как пользователь. Цикл «написал → запустил → посмотрел → исправил» замыкается внутри агентной сессии, хотя и ценой значительного времени выполнения.

Рекомендуемый пайплайн для iOS-разработчика с AI-ассистентом: CLI-обёртка над xcodebuild с xcbeautify; короткий CLAUDE.md (5–10 строк ключевых правил) и набор проектных навыков; скриншот-тесты превью SwiftUI; deep links для навигации в тестах; старшая модель для планирования фичи и более экономичная — для реализации.

AI-ассистированная разработка прошла путь от экспериментальной технологии до стандартной инженерной практики. Несколько итогов.

Инструменты движутся к агентной автономии, но не в смысле отказа от контроля — а в смысле переноса контроля на более высокий уровень: спецификации, HTTP-точки, мультиагентные ревью-связки. Зрелый стек 2026 года — это композиция из нескольких моделей разных производителей, каждая в своей роли.

Профессия разработчика смещается от написания кода к архитектурному мышлению, критической оценке AI-результатов и инженерии контекста. Prompt engineering и Spec-Driven Development становятся обязательными дисциплинами наравне со знанием алгоритмов.

Реальное рабочее контекстное окно заметно меньше заявленного — это требует явного управления контекстом и пересмотра детальности проектной документации в пользу коротких и плоских структур.

Безопасность агентных систем требует принципа минимальных привилегий и архитектурного разрыва летальной триады. Интеграция AI в CI/CD даёт измеримый эффект только при согласованности всей цепочки — от постановки задачи до слияния pull request.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на разработку метрик эффективности AI-ассистированной разработки, формирование отраслевых стандартов безопасной работы с агентами и эмпирическое измерение практически применимого контекстного окна на реальных инженерных задачах.

### Список литературы:

1. Anthropic. Building Effective Agents [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.anthropic.com/engineering/building-effective-agents> (дата обращения: 01.04.2026).
2. GitHub Copilot: Your AI Pair Programmer [Электронный ресурс] / GitHub, Inc. — URL: <https://github.com/features/copilot> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Wei J. et al. Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2022. — Vol. 35.
4. Lewis P. et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2020. — Vol. 33.
5. Anthropic. Model Context Protocol: An Open Standard for Connecting AI Systems [Электронный ресурс]. — URL: <https://modelcontextprotocol.io> (дата обращения: 01.04.2026).
6. Chen M. et al. Evaluating Large Language Models Trained on Code // arXiv preprint arXiv:2107.03374. — 2021.
7. Liu N. F. et al. Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts // Transactions of the Association for Computational Linguistics. — 2024. — Vol. 12. — P. 157–173.
8. Willison S. The Lethal Trifecta for AI Agents [Электронный ресурс]. — URL: <https://simonwillison.net/2025/Jun/16/the-lethal-trifecta/> (дата обращения: 01.04.2026).
9. GitHub. Spec Kit: Toolkit for Spec-Driven Development [Электронный ресурс]. — URL: <https://github.com/github/spec-kit> (дата обращения: 01.04.2026).
10. OWASP. Top 10 for Large Language Model Applications 2025 [Электронный ресурс]. — URL: <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/> (дата обращения: 01.04.2026).

**References:**

1. Anthropic. *Building Effective Agents*. URL: <https://www.anthropic.com/engineering/building-effective-agents> (accessed: 01.04.2026).
2. GitHub Copilot: Your AI Pair Programmer / GitHub, Inc. URL: <https://github.com/features/copilot> (accessed: 01.04.2026).
3. Wei J. et al. *Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models*. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2022. Vol. 35.
4. Lewis P. et al. *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks*. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020. Vol. 33.
5. Anthropic. *Model Context Protocol: An Open Standard for Connecting AI Systems*. URL: <https://modelcontextprotocol.io> (accessed: 01.04.2026).
6. Chen M. et al. *Evaluating Large Language Models Trained on Code*. *arXiv preprint arXiv:2107.03374*. 2021.
7. Liu N. F. et al. *Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts*. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*. 2024. Vol. 12. P. 157–173.
8. Willison S. *The Lethal Trifecta for AI Agents*. URL: <https://simonwillison.net/2025/Jun/16/the-lethal-trifecta/> (accessed: 01.04.2026).
9. GitHub. *Spec Kit: Toolkit for Spec-Driven Development*. URL: <https://github.com/github/spec-kit> (accessed: 01.04.2026).
10. OWASP. *Top 10 for Large Language Model Applications 2025*. URL: <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/> (accessed: 01.04.2026).

УДК — 62-1/9:004.94

**В.К. Селюнина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191158, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПА К ЦИФРОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ**

© В.К. Селюнина, 2026

*Аннотация: в статье на основе комплексного историко-технологического анализа доказываем, что эволюция 3D-моделирования и аддитивных технологий представляет собой единый преемственный процесс. Фундаментальные принципы построения трёхмерных цифровых моделей последовательно трансформировались в практические аддитивные производства — от стереолитографии до многоматериальной печати. Детально анализируются этапы цифрового конвейера: моделирование, подготовка файла, послойное синтезирование. Обосновывается прямая структурная преемственность между классическими субтрактивными методами обработки и современными аддитивными процессами.*

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, аддитивные технологии, CAD-системы, SLA, FDM, SLS, цифровое производство, слайсинг.

**V.K. Selyunina**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191158, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **APPLICATIONS OF 3D MODELING AND ADDITIVE TECHNOLOGIES: FROM VIRTUAL PROTOTYPE TO DIGITAL MANUFACTURING**

*Abstract: This article, using a comprehensive historical and technological analysis, demonstrates that the evolution of 3D modeling and additive manufacturing represents a single, continuous process. Fundamental principles of constructing 3D digital models have consistently transformed into practical additive manufacturing—from stereolithography to multi-material printing. The stages of the digital pipeline—modeling, file preparation, and layer-by-layer synthesis—are analyzed in detail. A direct structural continuity between classical subtractive processing methods and modern additive processes is substantiated.*

**Keywords:** 3D modeling, additive technologies, CAD systems, SLA, FDM, SLS, digital manufacturing, slicing.

### **Введение**

Актуальность темы обусловлена стремительной трансформацией промышленного производства, в рамках которой 3D-моделирование и аддитивные технологии перестали быть инструментами прототипирования и превратились в полноценный метод серийного изготовления изделий. Между традиционными субтрактивными методами (фрезеровка, точение) и аддитивными сложился технологический разрыв, который на самом деле является этапом эволюции — от вычитания материала к его послойному наращиванию. Роль 3D-моделирования в этом переходе оказалась определяющей. Именно цифровая модель становится тем универсальным посредником, который преобразует абстрактную геометрию в управляющие коды для аддитивной установки. Изучение этой связи позволяет не только оптимизировать производственные цепочки, но и прогнозировать развитие цифрового производства. Цель работы — систематизировать эволюцию и современное состояние применений 3D-моделирования и аддитивных технологий, доказав их кумулятивный и преемственный характер.

### **Историко-технологическая эволюция: от цифровой геометрии к физическому синтезу**

Эволюция аддитивных технологий берёт начало в 1980-х годах, когда появился метод стереолитографии (SLA), основанный на послойном отверждении жидкой фотополимерной смолы под действием ультрафиолетового лазера. Ключевым звеном этого процесса стала цифровая трёхмерная модель, которую требовалось преобразовать в набор тонких горизонтальных слоёв. Параллельно со стереолитографией развивались технологии экструзионной печати (FDM), в которых в качестве расходного материала использовалась термопластичная нить. В отличие от SLA, технология FDM не требовала применения токсичных смол и сложной постобработки, что сделало её наиболее доступной

для массового пользователя. Третьим ключевым направлением стало селективное лазерное спекание, где в качестве материала выступал полимерный порошок, спекаемый лазером, причём эта технология позволяла создавать детали без поддерживающих структур, поскольку непрореагировавший порошок сам служил опорой для последующих слоёв.

Стереолитография обеспечивает точность до 25 микрон и гладкую поверхность, но требует использования поддерживающих конструкций и постобработки, включающей промывку. Технология FDM уступает по точности, но выигрывает в простоте и дешевизне материалов, что и делает её лидером в образовательном сегменте. Селективное лазерное спекание занимает промежуточное положение: оно даёт высокую механическую прочность изделий, не нуждается в поддерживающих структурах, но характеризуется высокой стоимостью оборудования и необходимостью строгого контроля температуры в рабочей камере. Именно эти различия определили ниши применения каждой из технологий: SLA используется в ювелирном деле, стоматологии и литейном производстве; FDM – для прототипирования, бытовых принтеров и образовательных учреждений; SLS – для изготовления функциональных деталей, малых серий и в аэрокосмической отрасли [1].

### **Цифровой конвейер: от идеи до физического объекта**

Современное аддитивное производство даёт четкую последовательность этапов, в которой каждый шаг алгоритмически связан с предыдущим, и нарушение этой последовательности или возможной ошибки на ранней стадии не могут быть компенсированы последующими настройками. Первым этапом является создание трёхмерной модели в CAD-системе и модель должна быть герметичной, то есть не содержать разрывов поверхности, неоднозначных нормалей или самопересечений. Для этого применяются специализированные алгоритмы проверки геометрии и автоматического исправления дефектов. Вторым этапом выступает экспорт модели в формат STL, который аппроксимирует поверхность модели множеством треугольников, и степень этой аппроксимации (количество треугольников) влияет одновременно на точность передачи геометрии и на размер самого файла: избыточное число треугольников приводит к чрезмерному объёму данных, а недостаточное наоборот к потере детализации.

На третьем этапе программа нарезает модель на горизонтальные слои заданной толщины, обычно в диапазоне 0,05–0,3 мм. После генерирует траекторию движения печатающей головки, а также задаются параметры печати: скорость перемещения, температура экструдера, интенсивность обдува, процент заполнения и паттерн заполнения. Четвёртым этапом выступает генерация G-кода – управляющей программы, интерпретируемой аддитивной установкой, которая содержит команды перемещения (G0, G1), включения экструдера (M104), нагрева стола (M140) и другие технологические. Этот код является прямым аналогом управляющих программ для станков в основном с числовым программным управлением и наглядно демонстрирует технологическую преемственность между аддитивными и классическими субтрактивными методами обработки. Заключительным этапом является физическая печать и последующая постобработка, которая может включать удаление поддерживающих конструкций, шлифовку, полировку, окрашивание или термическую обработку в зависимости от требований к готовому изделию. Важно подчеркнуть, что каждый из перечисленных этапов оставляет след в качестве продукции, и ошибки, допущенные на ранних стадиях, например, негерметичность исходной модели или неверный выбор параметров слайсинга, не могут быть исправлены на последующих этапах настройкой режимов печати [2].

### **Сравнительный анализ материалов и областей применения**

Ключевым фактором, определяющим выбор аддитивной технологии, является спектр доступных материалов. В FDM применяются термопласты: PLA (полилактид) — биоразлагаемый, простой в печати, но хрупкий; ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) — прочный, ударопрочный, но с усадкой и токсичными испарениями; PETG — компромиссный вариант; нейлон — износостойкий, гибкий. Композитные нити (с добавлением углеродного волокна, дерева, металла) расширяют функциональность. SLA использует фотополимерные смолы: стандартные, высокопрочные, гибкие, литевые (выгорающие без золы для инвестиционного литья). SLS работает с полиамидами (PA11, PA12), термопластичными эластомерами (TPU) и металлическими порошками (в случае SLM — лазерного плавления). Области применения аддитивных технологий непрерывно расширяются. В медицине печатают индивидуальные имплантаты, хирургические шаблоны, модели для предоперационного планирования. В аэрокосмической отрасли — лёгкие и сложные по геометрии детали (сопла, кронштейны, теплообменники). В архитектуре — масштабные макеты. В образовании — наглядные пособия и развивающие конструкторы. Аддитивные технологии также проникают в пищевую промышленность (печать шоколадом, тестом) и строительство (печать бетоном зданий и мостов). Важно подчеркнуть, что развитие новых материалов — например, силиконов, керамических паст и биосовместимых полимеров — постоянно расширяет границы применимости 3D-печати [3].

### Преемственность технологий: от ЧПУ к 3D-печати

Несмотря на кажущуюся новизну, аддитивные технологии унаследовали множество принципов от традиционных субтрактивных методов. Идея числового программного управления (ЧПУ), разработанная в 1950-х годах, легла в основу G-кода. Разница лишь в том, что в токарном станке инструмент удаляет материал, а в 3D-принтере — добавляет. Иерархия «CAD-модель → постпроцессор → управляющая программа» осталась неизменной. Более того, многие гибридные станки сегодня сочетают фрезерную головку и печатающий узел, позволяя сначала нарастить материал, а затем точно обработать его. Это прямое доказательство структурной преемственности. Принцип послойного формирования также имеет предшественников: в фотографии это последовательное экспонирование слоёв цветной плёнки, в микроэлектронике — послойное осаждение металла при производстве печатных плат. Аддитивные технологии не отменили старые методы, а дополнили их, заняв нишу там, где субтрактивные методы неэффективны или принципиально неприменимы (например, внутренние полости сложной формы). Таким образом, современное цифровое производство следует рассматривать как эволюционное расширение, а не революционное отрицание предшествующего инженерного опыта [4].

### Заключение

Проведённый анализ показал, что развитие 3D-моделирования и аддитивных технологий представляет собой последовательный, преемственный процесс. От первых стереолитографических установок до многоматериальной печати — эволюция шла по пути увеличения точности, расширения спектра материалов и снижения порога входа. Фундаментальные принципы, заложенные на ранних этапах (слайсинг, послойное отверждение, поддержка геометрии), оказались устойчивыми и перекочевали во все современные аддитивные технологии. Сравнительный анализ SLA, FDM и SLS демонстрирует, что выбор технологии определяется балансом между точностью, скоростью и стоимостью. Цифровой конвейер от CAD-модели до G-кода является прямым развитием идей ЧПУ, что подтверждает преемственность между субтрактивными и аддитивными методами обработки. Практическая ценность работы заключается в возможности использования её результатов в образовательных курсах по цифровому производству и инженерному дизайну. Перспективное направление — разработка гибридных технологических процессов, объединяющих аддитивное и субтрактивное формирование в одной установке, а также создание распределённых сетей цифрового производства, где 3D-модель передаётся по сети и печатается локально.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры цифровых и аддитивных технологий Славникова М.А.*

Supervisor: Senior Lecturer of the Department of Digital and Additive Technologies Slavnikova M.A.

### Список литературы:

1. Халл Ч. Стереолитография и аддитивное производство: история метода. Москва: Техносфера, 2019. 312 с. (дата обращения: 10.03.26)
2. Крамп С. Экструзионная 3D-печать: от прототипа к продукту. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. 288 с. (дата обращения: 12.03.26)
3. Лаборатория аддитивных технологий. Сравнительный анализ методов селективного лазерного спекания. // Журнал цифрового производства. 2024. Т. 7. № 2. С. 45-67. (дата обращения: 15.03.26)

### References

1. Hull Ch. Stereolithography i additivnoye proizvodstvo: istoriya metoda [Stereolithography and Additive Manufacturing: A History of the Method]. Moscow: Technosphere Publ., 2019. 312 p. (date accessed: 10.03.26)
2. Crump S. Ekstruzionnaya 3D-pechat': ot prototipa k produktu [Extrusion 3D Printing: From Prototype to Product]. Saint Petersburg: Polytech-Press Publ., 2021. 288 p. (date accessed: 12.03.26)
3. Laboratoriya additivnykh tekhnologiy. Sravnitel'nyy analiz metodov selektivnogo lazernogo spekaniya [Laboratory of Additive Technologies. Comparative Analysis of Selective Laser Sintering Methods]. Zhurnal tsifrovogo proizvodstva [Journal of Digital Manufacturing]. 2024. Vol. 7. No. 2. P. 45-67. (date accessed: 15.03.26)

УДК 004.451:621.397.45:778.58

**А.М. Хайруллина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **РОЛЬ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ LINUX В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ВИДЕОКОНТЕНТА В СОВРЕМЕННЫХ МЕДИАПРОИЗВОДСТВАХ**

© А.М. Хайруллина, 2026

*В статье рассматривается влияние операционной системы на процессы создания цифрового видеоконтента в условиях современных медиапроизводств. Особое внимание уделяется использованию Linux в профессиональных пайплайнах, включая цветокоррекцию, композитинг и рендеринг, а также проводится его сравнение с другими операционными системами. Выявлены преимущества и ограничения Linux при работе с ресурсоёмкими задачами, характерными для видеопродакшена.*

**Ключевые слова:** Linux, операционная система, медиапроизводство, видеопродакшен, производительность, визуальные эффекты, рендеринг.

**A.M. Khairullina**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **THE ROLE OF THE LINUX OPERATING SYSTEM IN OPTIMIZING DIGITAL VIDEO CONTENT CREATION PROCESSES IN MODERN MEDIA PRODUCTIONS**

*This article examines the influence of the operating system on digital video content creation processes in modern media production environments. Particular attention is paid to the use of Linux in professional pipelines, including color grading, compositing, and rendering, and a comparison with other operating systems is provided. The advantages and limitations of Linux when working with resource-intensive tasks typical of video production are identified.*

**Keywords:** Linux, operating system, media production, video production, performance, visual effects, rendering.

Развитие видеоконтента и технологий его производства связано с изменением требований к качеству изображения и сложности обработки. В конце XIX — начале XX века, с появлением первых кинофильмов, основная задача заключалась в фиксации движущегося изображения, а требования к обработке оставались минимальными.

Переход к цифровым технологиям начался во второй половине XX века и получил развитие в 1990-х годах с появлением цифрового видеомонтажа и первых нелинейных монтажных систем. В этот период начали формироваться программные инструменты обработки видео, что расширило возможности постпродакшена.

С начала 2000-х годов усиливаются требования к качеству видеоконтента, что связано с распространением форматов высокой чёткости (HD), а затем 4K и выше. Параллельно развиваются технологии визуальных эффектов и компьютерной графики, что ведёт к росту вычислительной нагрузки и усложнению производственных процессов [1].

Современный этап связан с объединением видеомонтажа, цветокоррекции, анимации и визуальных эффектов в рамках единой программной среды. Профессиональные инструменты, такие как DaVinci Resolve, используются в промышленных проектах и требуют согласованной работы программного обеспечения и аппаратных ресурсов.

Развитие требований к видеоконтенту и программной среде взаимосвязано: усложнение задач связано с появлением новых технологий, а новые инструменты расширяют возможности производства и влияют на стандарты качества.

Цель работы — анализ влияния операционной системы на процессы создания цифрового видеоконтента с акцентом на использование Linux в профессиональной среде.

Задачи исследования включают:

- Рассмотрение особенностей современных процессов создания цифрового видеоконтента;
- Анализ распространённых операционных систем в медиапроизводстве, выявление особенностей применения Linux в профессиональных пайплайнах;

- Сравнение Linux с другими операционными системами по ключевым параметрам;
- Оценку влияния операционной системы на производительность и стабильность рабочих процессов и описание её преимуществ и ограничений в медиапроизводстве.

Выбор операционной системы в медиапроизводстве зависит от конкретных задач, будь то монтаж, цветокоррекция или создание визуальных эффектов. Чаще всего рабочие станции базируются на Windows, macOS или Linux. Windows лидирует по популярности как в любительском сегменте, так и в профессиональных студиях. Ее ценят за универсальность и поддержку огромного количества комплектующих и софта. MacOS традиционно выбирают представители креативных индустрий. Система жестко завязана на определенном «железе», что обеспечивает предсказуемую работу приложений, хотя и лишает пользователя возможности гибко менять детали компьютера. Linux же занимает нишу тяжелого производства — рендеринга и работы со сложными 3D-сценами. В этой системе проще распределять нагрузку и контролировать ресурсы при экстремальных вычислениях. В таблице 1 приведено сравнение основных характеристик этих систем [2] – [4].

Таблица 1. Общее сравнение Windows, MacOS и Linux

Критерий	Windows	macOS	Linux
Распространённость	Высокая	Средняя	Ограниченная
Поддержка ПО	Максимальная	Высокая, но ограничена экосистемой Apple	Ограниченная, но есть профессиональные инструменты
Гибкость настройки	Средняя	Низкая	Высокая
Работа с оборудованием	Через драйверы и системные слои	Жёсткая связь с железом	Более прямой контроль ресурсов
Производительность при высокой нагрузке	Зависит от системы	Стабильная	Высокая при правильной настройке
Использование в индустрии	Широкое	Популярна в креативной среде	Широко в VFX и рендер-фермах
Уровень требований к пользователю	Низкий–средний	Низкий	Средний–высокий

Несмотря на общие различия операционных систем, их особенности наиболее явно проявляются в рамках конкретных задач медиапроизводства. При работе с видеомонтажом, цветокоррекцией и визуальными эффектами ключевое значение приобретают такие параметры, как доступ к вычислительным ресурсам, управление памятью, поведение системы при высокой нагрузке и эффективность рендеринга.

В связи с этим целесообразно рассмотреть различия между Windows, macOS и Linux применительно к задачам видеопродакшена. Сравнение операционных систем с учётом технических характеристик для выполнения задач видеопродакшена представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение Windows, MacOS и Linux в задачах видеопродакшена

Критерий	Windows	macOS	Linux
Доступ к GPU	Через WDDM и DirectX, наличие дополнительных слоёв	Через Metal, оптимизировано под Apple GPU	Прямое взаимодействие с CUDA, минимальные накладные расходы
Управление памятью	Активное использование swap при нагрузке, возможны просадки	Используется компрессия памяти, стабильное поведение	Гибкое управление памятью, эффективная работа с кэшированием
Поведение при высокой нагрузке	Возможны фризы и нестабильность при перегрузке	Стабильная работа в пределах экосистемы	Более предсказуемое поведение при высокой нагрузке
Рендеринг	Зависит от GUI, присутствует системный overhead	Оптимизировано, но ограничено аппаратно	Возможен headless-рендеринг с минимальным overhead
Стабильность в тяжёлых задачах	Зависит от конфигурации и драйверов	Высокая, но в рамках ограничений системы	Высокая при корректной настройке
Использование в VFX и студиях	Используется, но не основной стандарт	Используется в отдельных задачах	Широко применяется в профессиональной среде и рендер-фермах

Различия между системами позволяют предположить, что Linux лучше справляется с задачами, где требуется высокая вычислительная мощность. Это видно на практике, например в цветокоррекции и VFX. Чтобы понять причины, нужно рассмотреть, как устроен производственный пайплайн и какие нагрузки в нём возникают.

Современное медиапроизводство — это цепочка связанных этапов. В одних проектах всё начинается со съёмки, в других — с анимации или компьютерной графики. В любом случае исходный материал проходит дальнейшую обработку и включается в общий процесс, направленный на получение финального результата нужного качества.

На этапе постобработки выполняют монтаж, цветокоррекцию, композитинг и добавление эффектов. Эти процессы связаны с обработкой больших объёмов данных: используются высокобитрейтные форматы, RAW-материалы, сложные вычисления. Существенная часть нагрузки ложится на GPU и оперативную память, причём её объём напрямую ограничивает работу со сложными сценами.

В анимации основная нагрузка приходится на рендеринг и сборку сцен. Трёхмерная графика, симуляции и эффекты требуют значительных ресурсов и времени. Финальный этап обычно включает цветокоррекцию и кодирование в разные форматы, что дополнительно увеличивает нагрузку.

Скорость и стабильность зависят от взаимодействия программ с оборудованием. Процессор, видеокарта, память и накопители должны работать согласованно. Операционная система распределяет ресурсы и обеспечивает доступ к ним.

При высокой нагрузке часто возникают проблемы: не хватает памяти, снижается производительность, появляются задержки при воспроизведении, возможны сбои. В отдельных случаях процессы останавливаются или заметно увеличивается время рендера. Выбор операционной системы в таких условиях влияет на устойчивость всего пайплайна.

С учётом этих требований можно рассмотреть, как Linux используется в подобных задачах. Для него характерно более прямое взаимодействие с оборудованием, включая GPU, за счёт чего уменьшаются накладные расходы. В проектах с большим количеством эффектов, например при композитинге, объём используемой оперативной памяти может достигать очень высоких значений. В Linux механизмы управления памятью позволяют проходить пиковые нагрузки без резких сбоев. Также применяется headless-режим — работа без графического интерфейса, что снижает нагрузку и ускоряет рендеринг и экспорт, особенно при пакетной обработке.

Развитие инструментов видеопроизводства связано с этими особенностями. В 1980-е годы в кино применялись цифровые системы цветокоррекции, например решения DaVinci Systems — специализированные комплексы для работы с киноматериалами. В 1990-е появились системы нелинейного монтажа: Avid Media Composer и Adobe Premiere перенесли обработку видео в программную среду. В 2000-е и 2010-е годы разные этапы производства начали объединяться в единые решения. DaVinci Resolve, основанный на разработках DaVinci Systems, стал доступен на разных операционных системах, включая Linux. В этот же период Linux получил распространение в VFX и рендеринге, где требуются стабильность и высокая производительность.

На практике Linux чаще применяют в визуальных эффектах и постпродакшене. Крупные студии, такие как Industrial Light & Magic, Weta Digital и Framestore, используют его при создании графики, композитинга и рендеринга. Это связано с необходимостью обрабатывать сложные сцены и выполнять длительные вычисления.

В проектах с большим количеством эффектов применяются распределённые вычисления. Рендер-фермы обычно работают на Linux-дистрибутивах, например CentOS или Rocky Linux, поскольку система позволяет гибко управлять ресурсами и масштабировать нагрузку.

В задачах цветокоррекции и композитинга часто используется DaVinci Resolve, включая модуль Fusion. При работе с RAW-материалами, такими как RED RAW или Blackmagic RAW, возрастает объём данных и требования к памяти и GPU. В таких условиях Linux ведёт себя более предсказуемо и позволяет работать без остановок.

С технической точки зрения важна работа с GPU. В Linux приложения, использующие CUDA, взаимодействуют с оборудованием через меньшее количество промежуточных слоёв. В Windows задействуются дополнительные уровни, включая WDDM и DirectX, что может увеличивать накладные расходы. Управление оперативной памятью также играет роль: при композитинге объём может достигать десятков и сотен гигабайт. Linux лучше распределяет ресурсы в таких условиях, тогда как в других системах возможны просадки или завершение процессов. В рендеринге это проявляется при использовании headless-режима: уменьшается нагрузка и повышается стабильность обработки, особенно при пакетных задачах [9].

Для подтверждения различий в производительности операционных систем было проведено сравнительное тестирование времени рендеринга трёхмерной анимации в среде Blender при идентичных

настройках. Параметры настроек представлены на рисунке 1.

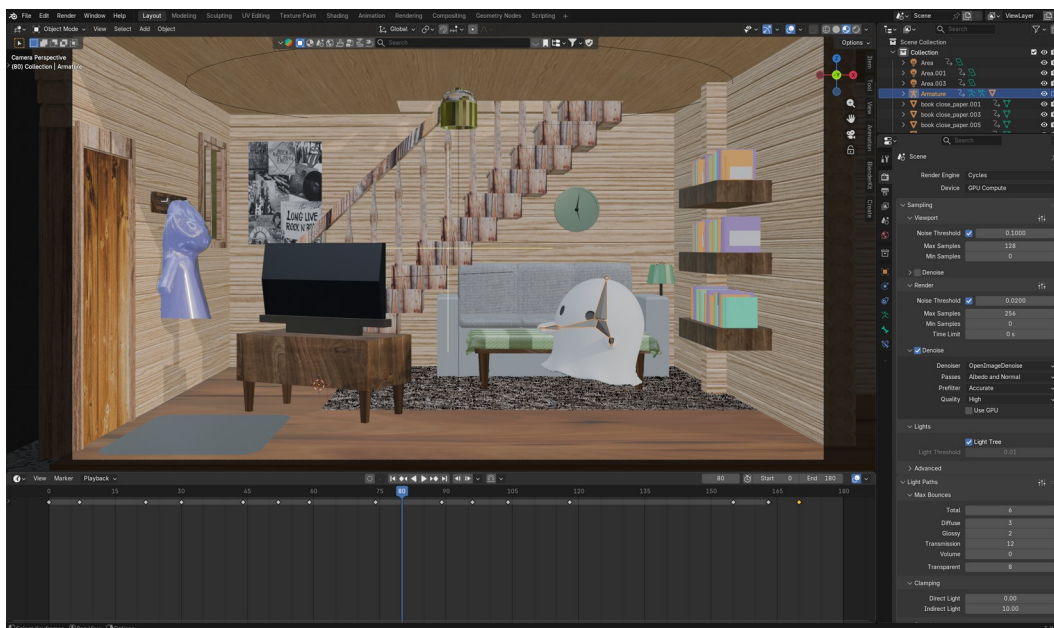


Рис.1. Настройки рендера сцены в Blender

Тестирование проводилось на одинаковой аппаратной конфигурации:

- процессор: Intel Core i9
- оперативная память: 128 ГБ
- графический ускоритель: NVIDIA RTX 4090
- движок рендеринга: Cycles
- тип рендеринга: GPU (CUDA)

Сцена и параметры рендеринга оставались неизменными для всех тестов.

В результате проведения тестирования, представленном на рисунках 2 и 3, были получены значения рендеринга, которые показали, что при равных условиях разница во времени оказалась более чем в 3 раза: на Linux рендер занял 10,26 минут, а на Windows – 32,03 минуты.

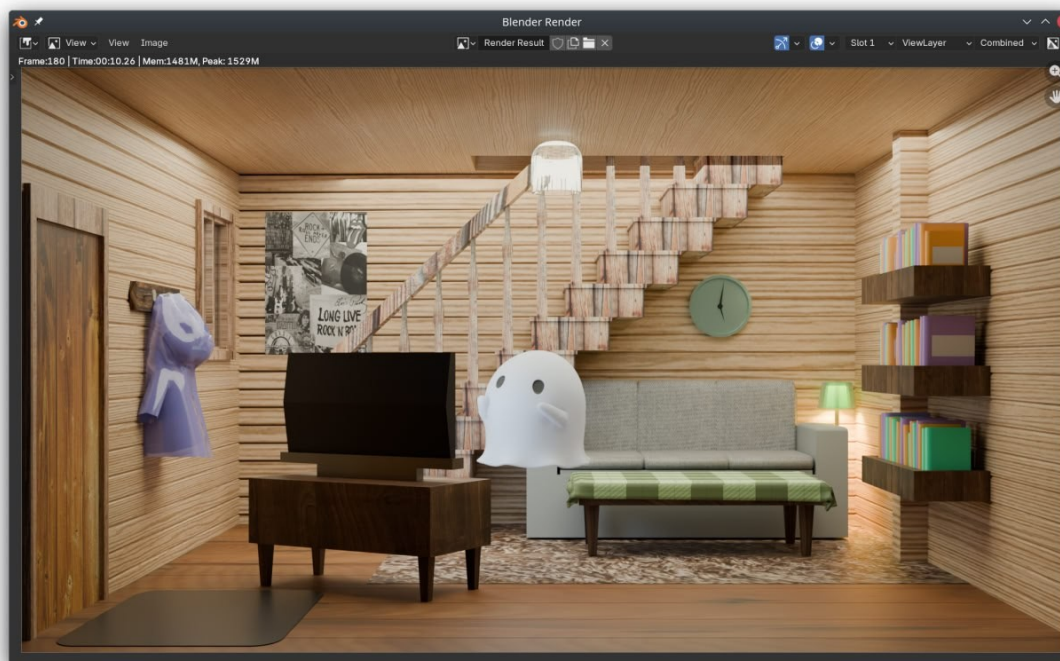


Рис.2. Значения рендера на Linux

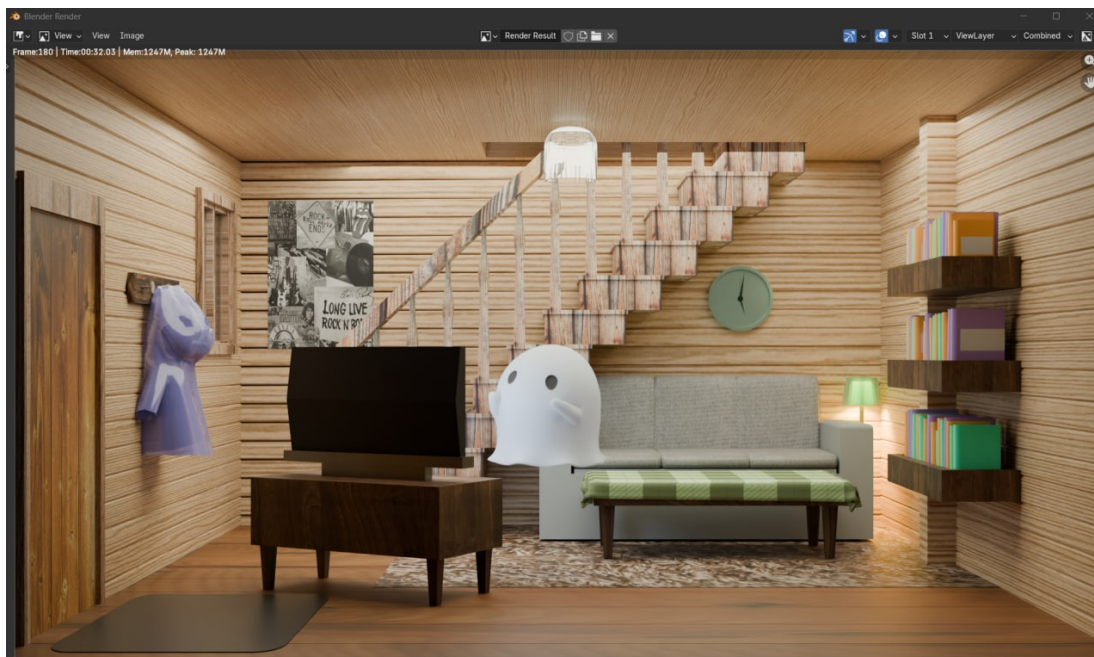


Рис.3. Значения рендера на Windows

При всех достижениях Linux в производительности, данная ОС требует предварительной настройки. Часто необходимо вручную устанавливать драйверы, кодеки и дополнительные инструменты. Для начинающих это может быть сложнее по сравнению с более распространёнными системами. Есть ограничения по поддержке программ и форматов: например, при работе со звуком иногда приходится конвертировать файлы или отдельно настраивать пайплайн. В итоге работа с Linux требует более внимательной подготовки и организации процессов.

В работе рассмотрено влияние операционной системы на создание видеоконтента с акцентом на Linux. Описаны этапы пайплайна, требования к вычислительной среде и различия между системами. Linux используется для ресурсоёмких задач при наличии соответствующей подготовки, особенно там, где важны стабильность и контроль над ресурсами.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры цифровых и аддитивных технологий, Славникова Мария Александровна.*

*Scientific supervisor: Maria Aleksandrovna Slavnikova, senior lecturer in the Department of Digital and Additive Technologies.*

#### Список литературы

1. Бордвелл Д., Томпсон К. Искусство кино. М.: Издательство ГИТИС, 2010. 760 с.
2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Сетевые операционные системы. СПб: Питер, 2002. 544 с.
3. Таненбаум А.С., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
4. Сильбершатц А., Гэлвин П.Б., Ганье Г. Операционные системы. М.: Вильямс, 2018. 1056 с.
5. Пойнтон Ч. Цифровое видео и HD. М.: Техносфера, 2012. 600 с.
6. Райт С. Цифровой композитинг для кино и видео. М.: ДМК Пресс, 2017. 384 с.
7. Немет Э., Снайдер Г., Хейн Т. Руководство администратора Linux. СПб.: Питер, 2017. 1232 с.
8. Керриск М. Интерфейс программирования Linux. СПб.: Питер, 2010. 1200 с.
9. Брокмайер Дж., Лебланк Д. Э., Маккартни Р. У. Маршрутизация в Linux. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 240 с.
10. Blackmagic Design. Документация DaVinci Resolve. URL: <https://www.blackmagicdesign.com> (дата обращения: 05.04.2026)
11. Avid Technology. История Media Composer. URL: <https://www.avid.com> (дата обращения: 05.04.2026)
12. Adobe Inc. История Adobe Premiere Pro. URL: <https://www.adobe.com> (дата обращения: 05.04.2026)
13. Industrial Light & Magic. Официальный сайт. URL: <https://www.ilm.com> (дата обращения: 05.04.2026)
14. Weta Digital. Официальный сайт. URL: <https://www.wetafx.co.nz> (дата обращения: 05.04.2026)

15. Framestore. Официальный сайт. URL: <https://www.framestore.com> (дата обращения: 05.04.2026)
16. NVIDIA Corporation. Руководство по CUDA. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/> (дата обращения: 05.04.2026)
17. RED Digital Cinema. REDCODE RAW. URL: <https://www.red.com> (дата обращения: 05.04.2026)
18. Blackmagic Design. Blackmagic RAW. URL: <https://www.blackmagicdesign.com> (дата обращения: 05.04.2026)

## References

1. Bordwell D., Thompson K. *Iskusstvo kino* [The Art of Cinema]. Moscow: GITIS Publishing, 2010. 760 p. (in Rus.)
2. Olifer V.G., Olifer N.A. *Setevye operatsionnye sistemy* [Network Operating Systems]. — Saint Petersburg: Piter, 2002. — 544 p. (in Rus.)
3. Tanenbaum A.S., Bos H. *Sovremennye operatsionnye sistemy* [Modern Operating Systems]. Saint Petersburg: Piter, 2015. 1120 p. (in Rus.)
4. Silberschatz A., Galvin P.B., Gagne G. *Operatsionnye sistemy* [Operating System Concepts]. Moscow: Williams, 2018. 1056 p. (in Rus.)
5. Poynton C. *Tsifrovoe video i HD* [Digital Video and HD]. Moscow: Tekhnosfera, 2012. 600 p. (in Rus.)
6. Wright S. *Tsifrovoy kompoziting dlya kino i video* [Digital Compositing for Film and Video]. Moscow: DMK Press, 2017. 384 p. (in Rus.)
7. Nemeth E., Snyder G., Hein T. *Rukovodstvo administratora Linux* [Linux Administration Handbook]. Saint Petersburg: Piter, 2017. 1232 p. (in Rus.)
8. Kerrisk M. *Interfeys programmirovaniya Linux* [The Linux Programming Interface]. Saint Petersburg: Piter, 2010. 1200 p. (in Rus.)
9. Brockmeier J., Leblanc D.E., McCartney R.W. *Marshrutizatsiya v Linux* [Routing in Linux]. — Moscow: Williams Publishing House, 2002. — 240 p. (in Rus.)
10. Blackmagic Design. DaVinci Resolve Documentation. URL: <https://www.blackmagicdesign.com> (date accessed: 05.04.2026)
11. Avid Technology. Media Composer History. URL: <https://www.avid.com> (date accessed: 05.04.2026)
12. Adobe Inc. Adobe Premiere Pro History. URL: <https://www.adobe.com> (date accessed: 05.04.2026)
13. Industrial Light & Magic. Official Website. URL: <https://www.ilm.com> (date accessed: 05.04.2026)
14. Weta Digital. Official Website. URL: <https://www.wetafx.co.nz> (date accessed: 05.04.2026)
15. Framestore. Official Website. URL: <https://www.framestore.com> (date accessed: 05.04.2026)
16. NVIDIA Corporation. CUDA Programming Guide. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/> (date accessed: 05.04.2026)
17. RED Digital Cinema. REDCODE RAW White Paper. URL: <https://www.red.com> (date accessed: 05.04.2026)
18. Blackmagic Design. Blackmagic RAW Overview. URL: <https://www.blackmagicdesign.com> (date accessed: 05.04.2026)

УДК 656.613.1

**А. Д. Афанасьева**

Сибирский государственный университет водного транспорта  
630099, Новосибирск, Щетинкина, 33

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ "ЭЛЕКТРОННЫЙ ТАЛЬМАН" В ПОРТАХ**

*В статье проведен сравнительный анализ эффективности традиционного и автоматизированного учета грузов на примере внедрения системы «электронный тальман» в ПАО «Владивостокский морской торговый порт». Рассмотрены различия между традиционным ручным и цифровым учетом. Проведено сравнение по шести ключевым операционным критериям: время фиксации, точность учета, прозрачность данных, безопасность персонала, зависимость от погодных условий и стоимость внедрения, а также проведены расчеты экономической эффективности, учитывающие сокращение трудозатрат и снижение ошибок идентификации. Расчеты доказывают, что срок окупаемости проекта не превышает 10 месяцев. Вместе с достоинствами, выявлены и эксплуатационные ограничения системы, предложены пути ее совершенствования.*

**Ключевые слова:** электронный тальман, ВМТП, цифровизация, учет грузов, цифровое зрение, эффективность внедрения, грузооборот, экономия.

**A. D. Afanasyeva**

Siberian State University of Water Transport  
630099, Novosibirsk, Schetinkina, 33

### **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE ELECTRONIC TALMAN SYSTEM IN PORTS**

*The paper provides a comparative analysis of the effectiveness of traditional and automated cargo accounting using the example of the implementation of the electronic Talman system in PJSC Vladivostok Commercial Sea Port. The differences between traditional manual and digital accounting are considered. A comparison was made on six key operational criteria: recording time, accounting accuracy, data transparency, personnel safety, dependence on weather conditions and cost of implementation, and a methodology for calculating the economic effect was proposed, considering reduced labor costs and reduced identification errors. Calculations show that the payback period of the project does not exceed 10 months. Along with the advantages, the operational limitations of the system are identified and ways to improve it are proposed.*

**Keywords:** electronic Talman, VMTP, digitalization, cargo accounting, digital vision, implementation efficiency, cargo turnover, economy.

В связи с активным внедрением цифровизации и стремлением к упрощению и повышению эффективности человеческой работы, особое значение приобретает модификация привычных методов учета грузов в морских и речных портах. Одним из наиболее трудоемких и ответственных процессов остается работа тальмана, до недавнего времени она выполнялась исключительно вручную.

В условиях роста мирового грузооборота и жестких требований к времени обработки судна портам необходимо внедрять систему «электронный тальман», которая заменит традиционную работу автоматизированным сбором данных.

Целью исследования стало количественное и качественное сравнение эффективности системы «электронный тальман» и классического бумажного учета грузов в портах, а также выявление недостатков цифровой системы и определение путей их совершенствования.

В традиционном понимании тальман – это специалист по учету грузов, человек с бумагой, который физически пересчитывает количество груза, фиксирует повреждения, сверяет маркировку и оформляет приемосдаточные документы. «Электронный тальман» — это не просто автоматизация работы одного человека, а целый цифровой комплекс для обработки грузовых операций, где бумага заменяется на устройства мобильные и машинного слежения, единую базу данных для демонстрации данных в режиме реального времени.

Владивостокский морской торговый порт (ВМТП), входящий в Транспортную группу FESCO (предприятие в контуре управления Госкорпорации «Росатом») впервые среди российских портов внедрил систему, которая при помощи машинного зрения осматривает прибывающие контейнеры — «электронный тальман» [1].

Специальный аппаратный комплекс в виде портала с камерами работает на причале. При проезде тягача формируются изображения всех поверхностей контейнера. Технологии цифрового зрения позволяют считывать и вносить в информационную систему всю важную информацию: номер, наличие пломб, трафареты и возможные повреждения.

Это решение – единственное в своем роде в портах России. Вся программная часть разработана с использованием отечественного ПО [2] (программное обеспечение).

Для более точного определения преимуществ было проведено сравнение между традиционным и электронным тальманами по шести критериям, а именно: время фиксации одной операции (на примере осмотра одного контейнера), точность учета, прозрачность (единая операционная среда порта), безопасность персонала, зависимость от погоды, стоимость внедрения.

Для более точного определения преимуществ было проведено сравнение между традиционным и электронным тальманами по шести критериям и сведено в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение традиционного и электронного тальманов

Критерии сравнения	Традиционный тальман	Электронный тальман
Время фиксации одной операции (на примере осмотра одного контейнера)	до 60 секунд	До 5 секунд
Точность учета	0,5%	Снижение ошибок на 90%
Прозрачность (единая операционная среда порта)	Низкая	Высокая
Безопасность персонала	Низкая (работа в зоне повышенной опасности)	Высокая (пункт диспетчера вне зоны опасности)
Зависимость от погоды	Критичная	Минимальная, но не равна 0
Стоимость внедрения	Низкая	Высокая

Сравнение по шести критериям показывает, что электронный тальман превосходит традиционный по пяти из них, включая скорость, точность, прозрачность, безопасность и зависимость от погоды. Единственным преимуществом классического тальмана остается низкая стоимость внедрения.

Для объективной оценки эффективности необходимо перевести операционные преимущества в экономические показатели:

- сокращение времени осмотра грузов;
- снижение штатной численности;
- уменьшение претензионных выплат;
- рост пропускной способности без капложений в инфраструктуру.

Опыт ВМТП показал, что внедрение машинного зрения на причале — это не изолированное решение, а часть более широкой цифровой экосистемы порта. Дальнейшее развитие таких систем идет по нескольким направлениям:

- полная интеграция с государственными информационными платформами. В момент прохождения портала данные контейнера должны автоматически уходить в системы портовых властей и ФТС. Это исключит двойной ввод информации и сократит время таможенного оформления груза;
- применение искусственного интеллекта для предиктивной аналитики. Нейросеть, накопленная база изображений, сможет прогнозировать потенциальные повреждения и выявлять контейнеры повышенного риска еще до их вскрытия, повышая безопасность и планирование ремонтов
- масштабирование решения на другие типы грузов;
- распространение опыта на порты России.

На основе всех исследований были выявлены важные недостатки системы «электронный тальман»: сбой при экстремальных погодных условиях (дождь/туман искажают лазерную маркировку), высокая стоимость внедрения системы, проблемы с оптическим распознаванием поврежденной маркировки, риск отказа оборудования в агрессивной среде, а также организационные факторы — сопротивление персонала и недостаточная квалификация. Для устранения этих недостатков предложены следующие пути совершенствования: внедрение гибридной архитектуры (автоматическая обработка 95% операций, ручное подтверждение 5% сложных случаев); использование комбинированных датчиков (лазер + радиолокация) и систем обогрева для защиты от погоды; обеспечение локального кэширования данных и резервирования каналов связи; проведение обучающих программ для персонала.

Подводя общий вывод стоит отметить, что внедрение системы «электронный тальман» является стратегически обоснованным шагом в цифровизации портовой инфраструктуры. Комплекс цифровой автоматизации, аналитики и защиты данных не только повышает операционную эффективность, но и создает основу для дальнейшего развития инновационных систем порта.

Эффект от внедрения системы «электронный тальман» можно оценить на основе экономии фонда оплаты труда и экономии от уменьшения ошибок тальманского учета. Совокупный годовой экономический эффект предлагается рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{фот}} + \mathcal{E}_{\text{ошиб}}, \text{ руб.}$$

где  $\mathcal{E}_{\text{фот}}$  - экономия фонда оплаты труда за навигацию, руб;

$\mathcal{E}_{\text{ошиб}}$  - экономия от уменьшения ошибок тальманского учета, руб.

$$\mathcal{E}_{\text{фот}} = \mathcal{E}_{\text{р.т.}} - \mathcal{E}_{\text{э.т.}}, \text{ руб.}$$

где  $\mathcal{E}_{\text{р.т.}}, \mathcal{E}_{\text{э.т.}}$  - расходы на заработную плату тальманов и при работе системы «электронный тальман», руб.

Расходы на заработную плату посчитаем по формуле:

$$\mathcal{E} = \delta \cdot b \cdot a_{\text{см}} \cdot T_{\text{ч-см}}, \text{ руб.}$$

где  $\delta$  - коэффициент, учитывающий районную надбавку,  $\delta = 1,6$  ;

$b$  - коэффициент, учитывающий доплаты за сменность и условия труда,  $b = 1,7$  ;

$a_{\text{см}}$  - сменная тарифная ставка,  $a_{\text{см}} = 2625 \text{ руб}$  ;

$T_{\text{ч-см}}$  - затраты труда за навигацию, ч-см.

$$T_{\text{ч-см}} = \frac{Q_n}{P_v}, \text{ ч-см.}$$

где  $Q_n$  - навигационный грузооборот, TEU (примем в расчетах 800000 TEU);

$P_v$  - норма выработки тальмана, TEU/чел-см.

$$P_v = \frac{P_k}{m}, \text{ TEU/чел-см.}$$

где  $P_k$  - комплексная норма выработки, TEU/см;

$m$  - количество тальманов при осмотре одного контейнера, чел.

$$P_k = P_{\text{ч}} \cdot T_{\text{оп}}, \text{ TEU/см.}$$

где  $P_{\text{ч}}$  - часовая производительность осмотра контейнеров, TEU/ч;

$T_{\text{оп}}$  - оперативное время работы, ч ( $T_{\text{оп}} = 10,5 \text{ ч}$ ).

$$P_{\text{ч}} = \frac{3600 \cdot G_n}{T_{\text{ц}}}, \text{ TEU/ч.}$$

где  $G_n$  - количество осматриваемых контейнеров за раз;

$T_{\text{ц}}$  - время осмотра контейнера, сек (при осмотре тальманом 60 секунд, системой «электронный тальман» 5 секунд).

Внедрение электронного тальмана значительно снижает количество ошибок, связанных с занесением информации в базу данных и повышает прозрачность проведения внутривортовых операций. Экономии от уменьшения ошибок тальманского учета рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ошиб}} = Q_{\text{ошиб}}^{\text{без}} \cdot C_{\text{ст}}^{\text{ошиб}}, \text{ руб.}$$

где  $Q_{\text{ошиб}}^{\text{без}}$  - количество предотвращенных ошибок, TEU;

$C_{ст}^{ошиб}$  - средняя стоимость одного ошибочно учтенного контейнера, руб (примем среднее значение 15000рублей).

$$Q_{ошиб}^{без} = \frac{Q_{нав}^{ошиб} \cdot N_{э.т.}^{ошиб}}{100}, \text{ TEU},$$

где  $Q_{нав}^{ошиб}$  - количество контейнеров, выпущенных с ошибкой за навигацию, TEU;

$N_{э.т.}^{ошиб}$  - процент снижения ошибок при использовании системы «электронный тальман», % (снижается на 90%).

$$Q_{нав}^{ошиб} = \frac{Q_{нав} \cdot N_{ошиб}}{100}, \text{ TEU},$$

где  $N_{ошиб}$  - процент совершаемых ошибок при ручном учете, % ( $N_{ошиб} = 0,5\%$ ).

Срок окупаемости проекта рассчитаем по формуле:

$$T_{ок} = \frac{C_{проекта}}{\mathcal{E}_{год}}, \text{ год},$$

где  $C_{проекта}$  - стоимость проекта, млн.руб.

Приведем пример расчета на Владивостокском морском торговом порту (при осмотре тальманом):

$$P_{ч} = \frac{3600 \cdot 1}{60} = 60 \text{ TEU/ч}$$

$$P_{к} = 60 \cdot 10,5 = 630 \text{ TEU/см}$$

$$p_{в} = \frac{630}{1} = 630 \text{ TEU/чел-см}$$

$$T_{ч-см} = \frac{800000}{630} = 1269,8 \text{ чел-см}$$

$$\mathcal{E} = 1,6 \cdot 1,7 \cdot 2625 \cdot 1269,8 = 9066372 \text{ руб}$$

Пример расчета (система «электронный тальман»):

$$P_{ч} = \frac{3600 \cdot 1}{5} = 720 \text{ TEU/ч}$$

$$P_{к} = 720 \cdot 10,5 = 7560 \text{ TEU/см}$$

$$p_{в} = \frac{7560}{1} = 7560 \text{ TEU/чел-см}$$

$$T_{ч-см} = \frac{800000}{7560} = 105,8 \text{ чел-см}$$

$$\mathcal{E} = 1,6 \cdot 1,7 \cdot 2625 \cdot 105,8 = 755412 \text{ руб}$$

$$\mathcal{E}_{фот} = 9066372 - 755412 = 8310960 \text{ руб}$$

$$Q_{нав}^{ошиб} = \frac{800000 \cdot 0,5}{100} = 4000 \text{ TEU}$$

$$Q_{ошиб}^{без} = \frac{4000 \cdot 90}{100} = 3600 \text{ TEU}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ошиб}} = 3600 \cdot 15000 = 54000000 \text{ руб}$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 8310960 + 54000000 = 62310960 \text{ руб}$$

Исходные данные для расчета стоимости проекта:

- Разработка программного обеспечения: 15 млн руб.
- Аппаратный комплекс (порталы, камеры машинного зрения, серверы): 30 млн руб.
- Монтаж и пуско-наладочные работы: 5 млн руб.

Итого инвестиций: 50 млн руб.

$$T_{\text{ок}} = \frac{50000000}{62310960} = 0,8 \text{ год} = 10 \text{ месяцев}$$

Ключевые показатели эффективности проекта приведены в таблице 2

Таблица 2. Показатели эффективности внедрения системы «электронный тальман»

Показатель	До внедрения (Ручной труд)	После внедрения (Электронный тальман)	Δ Изменение
Время осмотра 1 контейнера	60 сек	5 сек	Снижение на 92%
Трудозатраты в год	13 333 чел-часы	1 111 чел-часы	Снижение на 92%
Годовой ФОТ подразделения	9,07 млн руб.	0,8 млн руб.	Экономия 8,3 млн руб.
Уровень ошибок идентификации	0,5% (4 000 ед.)	0,05% (400 ед.)	Снижение в 10 раз
Финансовые потери от ошибок	60 млн руб.	6 млн руб.	Экономия 54 млн руб.
Эффект от внедрения системы «электронный тальман»	62,3 млн.руб		
Срок окупаемости проекта	0,8год=10 месяцев		

Проведенное исследование и анализ опыта ПАО «Владивостокский морской торговый порт» позволяют сделать следующие ключевые выводы:

1. Внедрение системы «электронный тальман» позволило сократить время осмотра контейнера с 60 до 5 секунд. В масштабах порта с оборотом 800 тыс. TEU это эквивалентно высвобождению более 12 тысяч человеко-часов рутинного, тяжелого труда, который ранее выполнялся в любых погодных условиях на причале.

2. Совокупный годовой экономический эффект после внедрения системы составляет 62,3 млн. рублей — прямая экономия фонда оплаты труда 8,3 млн. рублей, и 54 млн рублей — предотвращенные потери от ошибок тальманского счета и недостач.

3. При расчетных капитальных затратах в 50 млн рублей проект окупается за 10 месяцев. Данный показатель является одним из лучших в классе ИТ-проектов в транспортной отрасли и подтверждает правильность стратегического курса ВМТП на цифровизацию в рамках программы «Умный порт».

4. Опыт ВМТП демонстрирует, что автоматизация тальманского учета — это не просто сокращение издержек, а создание цифрового фундамента для внедрения технологий «безлюдного порта», цифровых двойников и сквозной логистики. Повышение прозрачности операций и достоверности данных напрямую влияет на конкурентоспособность российских портов на глобальном рынке морских перевозок.

5. Рекомендуется рассмотреть вопрос масштабирования проекта «Электронный тальман» на другие контейнерные терминалы Российской Федерации, в первую очередь в Дальневосточном и Азово-Черноморском бассейнах, как эффективный инструмент повышения производительности труда в условиях растущего грузопотока.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры Управление транспортным процессом СГУВТ, Зыкова В. Ю.*

*Supervisor: Senior Lecturer of the Department of Transport Process Management of SSUWT, Zykova V. Y.*

#### Список литературы

1. ВМТП первым в России внедрил технологию «электронный тальман». URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/vmtp\\_pervym\\_v\\_rossii\\_vnedril\\_tehnologiyu\\_elektronnyu\\_talman.html](https://www.korabel.ru/news/comments/vmtp_pervym_v_rossii_vnedril_tehnologiyu_elektronnyu_talman.html) (дата обращения: 01.04.2026)

2. ВМТП первым в России использует «электронного тальмана». URL: <https://www.vmtp.ru/press-service/vmtp-pervym-v-rossii-ispolzuet-elektronnogo-talmana/> (дата обращения: 01.04.2026)

**References**

1. ВМТП первым в России внедрил технологию «электронный тальман». URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/vmtp\\_pervym\\_v\\_rossii\\_vnedril\\_tehnologiyu\\_elektronnyu\\_talman.html](https://www.korabel.ru/news/comments/vmtp_pervym_v_rossii_vnedril_tehnologiyu_elektronnyu_talman.html) (дата обращения: 01.04.2026)

2. ВМТП первым в России использует «электронного тальмана». URL: <https://www.vmtp.ru/press-service/vmtp-pervym-v-rossii-ispolzuet-elektronnogo-talmana/> (дата обращения: 01.04.2026)

УДК 631.8:658.567

Е. В. Фисунова, К. С. Кириш, П. П. Власов

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### РЕЦИКЛИНГ СБРАСОВЫЕМЫХ РАСТВОРОВ КАЛИЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*В статье представлены экспериментальные данные по изучению влияния концентрации хлорида натрия (10–18 %) и температуры (105–115 °С) на растворимость карбонатов магния и кальция, а также на состав и фильтрующие свойства осадков в модельных системах  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^- - H_2O$  и  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}, Ca^{2+}/Cl^- - H_2O$ , содержащей 12 %  $KCl$ , 1,5 %  $MgCl_2$ , 0,7 %  $CaCl_2$  при дозировке соды 105 % от стехиометрической нормы.*

Ключевые слова: растворимость, фильтрующие свойства, карбонат магния, карбонат кальция, кальцинированная сода

E. V. Fisunova, K. S. Kirish, P. P. Vlasov

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya Street, 18

### RECYCLING OF WASTE SOLUTIONS FROM POTASH PLANTS

*The article presents experimental data on the effect of sodium chloride concentration (10-18 %) and temperature (105-115 °C) on the solubility of magnesium and calcium carbonates, as well as on the composition and filtering properties of precipitation in model systems  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^- - H_2O$  and  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}, Ca^{2+}/Cl^- - H_2O$  containing 12 %  $KCl$ , 1.5 %  $MgCl_2$ , 0.7 %  $CaCl_2$  at a dosage of soda of 105% of the stoichiometric norm.*

Keywords: solubility, filtering properties, magnesium carbonate, calcium carbonate, soda ash

В отрасли минеральных удобрений при переработке калийных руд (сильвинита и карналлита) с получением хлорида калия образуются отвалы галита, солевые шламы и забалансовые рассолы [1]. Отходы загрязняют окружающую среду, однако, при дополнительной обработке очищенные растворы могут быть использованы в технологическом цикле производства хлорида калия, а осажденные загрязнители забалансовых растворов найдут применение в производства сложных минеральных удобрений [2].

Технологический процесс получения хлористого калия из сильвинита галургическим методом включает следующие операции: дробление руды с предварительным грохочением; подогрев щелоков; растворение руды; обезвоживание галитовых отходов и их промывка; осветление насыщенного щелока; кристаллизация калия хлористого; сгущение и центрифугирование хлоркалийевой суспензии; сушка калия хлористого, его гранулирование и обогащение гранулята; удаление отходов производства [3].

Суспензии глинисто-галитовых отходов размещают на шламохранилищах, отчуждая при этом большие территории. Жидкая фаза глинисто-солевого шлама является раствором, содержащим хлориды калия, натрия и другие примеси.

Забалансовые рассолы образуются в результате технологических процессов переработки руд, при отводе растворов с глинисто-солевых терриконов, а также при откачивании подземных вод рудников.

Избыточные растворы, являясь частью забалансовых рассолов галургического производства, образуются при промывке оборудования и на стадии кристаллизации хлорида калия, при сбросе части рассолов из процесса для вывода из технологии растворимых примесей, хлоридов магния и кальция, которые снижают технологические показатели и качество основного продукта.

Для обеспечения качественных показателей продукции (хлорида калия) перечисленные отходы тем или иным способом выводят из производства [4].

Как видно из таблицы 1, в растворах отходов калийной промышленности массовая доля хлорида калия может составлять от 6 до 13 %. Кроме хлорида калия, рассолы содержат другие соли, которые могут находить полезное применение.

В мировой практике применяются различные способы избавления от забалансовых растворов. В основном организуется их разбавление и сброс в моря, а также существуют различные варианты захоронения [5].

Нами предлагается следующая последовательность переработки жидких отходов калийных фабрик, которая предполагает использование всех компонентов и включает следующие основные стадии: –предварительная очистка рассола от солей жесткости;

–переработка карбонатов кальция и магния на сложные удобрения, в частности, ЖКУ;  
 –выпарка рассола с получением кристаллического хлористого натрия различных сортов;  
 –конверсия гипса раствором хлорида калия в сульфат калия либо возвращение упаренного раствора в производство хлорида калия галургическим методом.

Состав некоторых отходов на предприятии ПАО «Уралкалий» представлен в таблице 1.

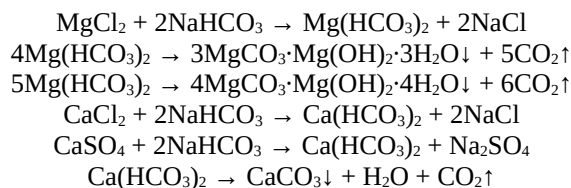
Таблица 1. Химический состав отходов ПАО «Уралкалий»

Источник рассола	Содержание, %					
	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Сточные воды БКПРУ-4	13,50	11,06	0,22	0,18	0,26	74,77
Пруд-накопитель рассолов БКПРУ-4	18,45	9,52	0,24	0,18	0,32	71,31
Избыточные растворы БКПРУ-4	18,60	13,30	0,39	0,33	0,47	66,91
Избыточные растворы СКРУ-1	18,60	11,40	1,05	0,08	0,48	68,47

Примечание. БКПРУ-4: березниковское калийное производственное рудоуправление;  
 СКРУ-1: соликамское калийное рудоуправление

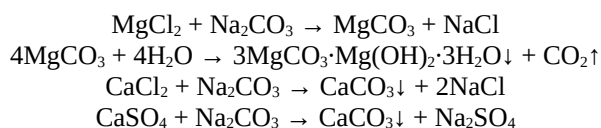
Кристаллический хлорид натрия растворяют, раствор очищают от взвешенных веществ и очистку от солей магния и кальция известково-содовым методом, а затем поступает на производство кальцинированной соды [5]. Главная особенность известково-содового метода заключается в его избирательности. Метод, может быть применим к рассолам, которые содержат соли кальция и небольшие количества соли магния.

Очистку забалансовых рассолов можно проводить, используя полупродукт производства кальцинированной соды гидрокарбонат натрия, что значительно удешевит стадию очистки. В этом случае процесс осаждения ионов кальция и магния можно описать следующими уравнениями:



Для осуществления этих превращений необходимо кипячение или сочетание подогрева с интенсивным перемешиванием [6].

В данной статье рассматривается очистка забалансовых растворов от солей жесткости содовым методом, который можно отнести к наиболее простому способу, как по химизму процесса, так и по конструкции аппаратов. Химизм процесса можно представить в виде следующих уравнений:



При этом проводится осаждение солей жесткости при высоких температурах (105-115 °С) для образования кристаллогидрата карбоната магния (MgCO<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O) вместо гелеобразного гидроксикарбоната магния (Mg<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) для эффективного отделения твердой фазы [7].

Первоначально проводили исследование в системе K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>/Cl<sup>-</sup>-H<sub>2</sub>O. При этом содержание хлорида калия и хлорида магния составляло 10 % и 1,5 % соответственно. Концентрация хлорида натрия изменялась в диапазоне от 10 до 18 % с шагом в 3 %. Опыты проводились в автоклаве при температурах 105 °С; 110 °С; 115 °С. Соды брали в количестве 105 % от стехиометрии на осаждение магния.

Рассол помещали в автоклав вместе с заранее рассчитанным количеством соды и нагревали в сушильном шкафу до заданной температуры. Время взаимодействия компонентов модельного рассола с карбонатом натрия в автоклаве составляло 2 часа. Для изучения влияния температуры на физико-химические свойства системы проводилось несколько параллельных опытов при различных температурах и полученные данные усреднялись. Суспензию фильтровали на фильтре Шотта (пористостью 50) при разряжении 50 кПа и с учетом времени фильтрования оценивали съём твердой и жидкой фаз. Комплексометрическим методом определялось содержание магния в жидкой и твердой фазах [8]. Влагоемкость осадков определялась при температуре 75 °С, а в сухой твердой фазе, отмытой от хлора, анализировалась кристаллизационная вода при температуре 300 °С. Экспериментальные данные приведены на рисунке 1 и в таблице 2.

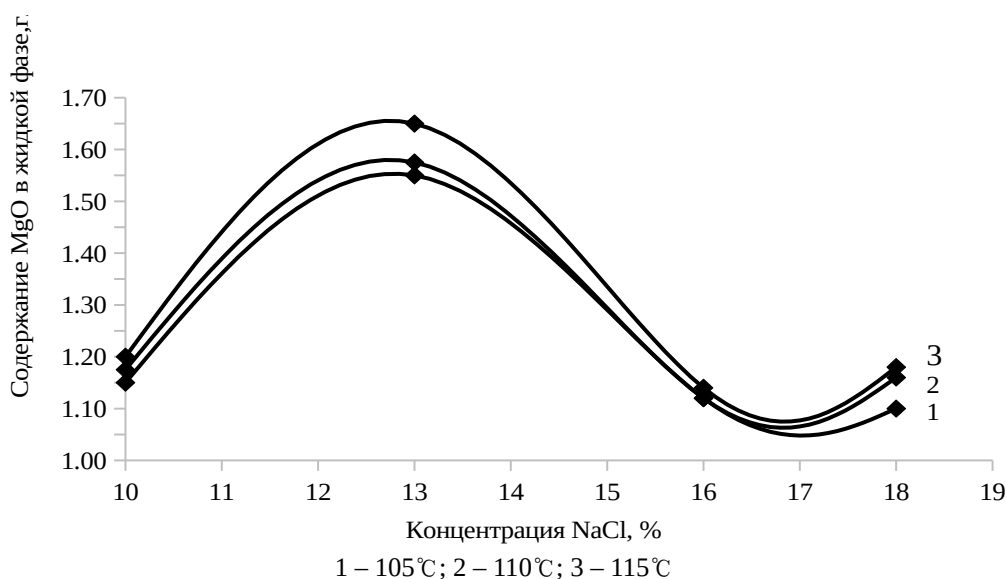


Рис. 1. Зависимость содержания MgO в жидкой фазе от NaCl в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-H_2O$ , содержащей 10 % KCl, 1,5 %  $MgCl_2$ , при норме соды 105 % от стехиометрии на магний

Таблица 2 – Влияние концентрации хлорида натрия и температуры на состав фаз и фильтрующие свойства осадка в системе, содержащей 10 % KCl, 1,5 %  $MgCl_2$ , при норме соды на магний 105 % от стехиометрии

Количество хлорида натрия, %	Температура, °С	Содержание MgO		Состав и фильтрующие свойства осадка			
		в жидкой фазе, г/л	в твердой фазе, %	$H_2O_{ж}$ , %	$H_2O_{кр}$ , %	Съем твердой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	Съем жидкой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
10	105	1,05	34,4	37,1	38,0	0,19	12,9
10	110	1,18	34,2	47,5	37,6	0,22	17,1
10	115	1,20	34,6	36,2	37,8	0,24	16,2
13	105	1,55	34,5	47,1	38,8	0,22	22,4
13	110	1,57	34,0	41,7	37,3	0,22	25,8
13	115	1,65	34,1	50,4	37,8	0,25	26,1
16	105	1,12	34,1	51,7	38,0	0,33	29,7
16	110	1,14	34,5	36,9	37,8	0,42	48,1
16	115	1,15	34,2	49,6	37,2	0,50	56,1
18	105	1,10	34,1	42,9	37,3	0,27	24,4
18	110	1,16	34,8	32,2	37,4	0,28	26,3
18	115	1,18	34,2	55,5	37,6	0,34	46,0

Для изученных концентрациях хлорида натрия в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-H_2O$  растворимость карбоната магния монотонно возрастает с повышением температуры в интервале 105–115 °С. Это характерно для эндотермического процесса растворения. Зависимость растворимости от концентрации NaCl носит экстремальный характер. При увеличении концентрации NaCl от 10 % до 13 % наблюдается значительный рост растворимости (на 40–50 %), проявляется эффект всаливания, связанный с изменением ионной силы в растворе. При дальнейшем повышении концентрации NaCl до 16–18 % растворимость снижается, поскольку вступает в силу эффект высаливания, обусловленный конкуренцией ионов  $Na^+$  и  $Cl^-$  за сольватную оболочку и снижением активности воды.

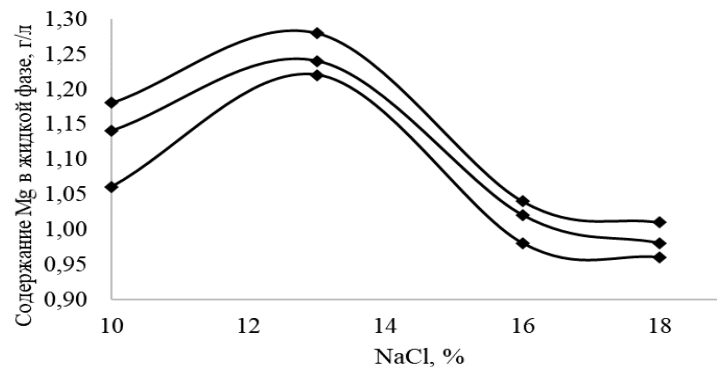
Среднее содержание в осадке MgO (34,3 %) и  $H_2O_{кр}$  (37,7 %) указывает на то, что твердая фаза представлена смесью кристаллогидратов  $MgCO_3 \cdot 3H_2O$  (29 % MgO, 39,1 %  $H_2O_{кр}$ ) и  $Mg_2(OH)_2CO_3 \cdot 3H_2O$  (40,8 % MgO, 36,7 %  $H_2O_{кр}$ ) в соотношении 1:1.

Поскольку в забалансовых растворах концентрация хлористого калия может достигать 15 %, была исследована система  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-H_2O$ , содержащая 15 % KCl. При этом, как и в предыдущем случае, рассматривалось влияние изменения концентрации хлорида натрия в пределах от 10 до 18 %, так и температуры в диапазоне 105–115 °С. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 3. Основное внимание уделено изменению растворимости карбоната магния в этой системе, которое приведено на рисунке 2.

Проводился анализ жидкой и твердой фазы (фильтрата и осадка) на содержание магния комплексометрическим методом. Полученные значения использовались для расчета содержания MgO в

твердой и жидкой фазах. Производилось определение гигроскопической и кристаллической влаги в осадках. Также оценивались фильтрующие свойства осадка по параметрам, описанных выше.

При увеличении содержания NaCl от 10 % до 13 % растворимость карбоната магния возрастает, достигая своего максимума. При дальнейшем увеличении концентрации NaCl (от 13% до 18%) растворимость резко снижается. С повышением температуры растворимость карбоната магния равномерно увеличивается.



Изотермы 105 °C, 110 °C, 115 °C расположены снизу в верх

Рис. 3. Растворимость карбоната магния от содержания NaCl в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-H_2O$ , содержащей 15 % KCl, 1,5 %  $MgCl_2$ , при норме соды 105 % от стехиометрии на магний

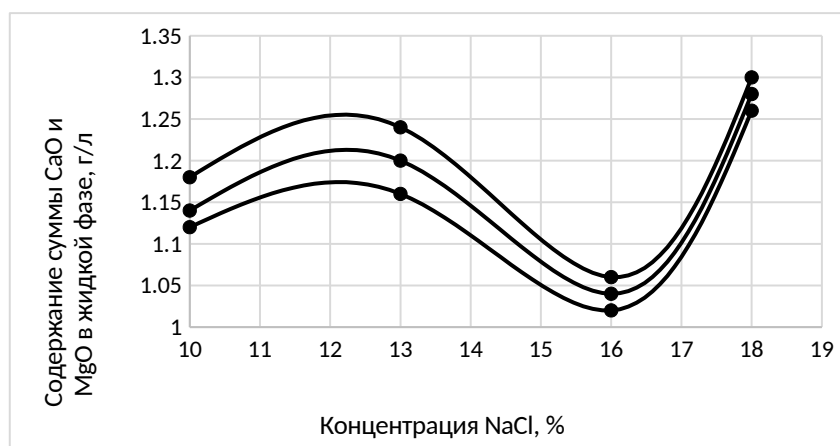
Таблица 3 – Влияние концентрации хлорида натрия и температуры на содержание оксида магния в фазах, фильтрующие показатели осадка в системе, содержащей 15 % KCl, 1,5 %  $MgCl_2$ , при норме соды 105 % от стехиометрии на магний

Количество хлорида натрия, %	Температура, °C	Содержание MgO		Состав и фильтрующие свойства осадка			
		в жидкой фазе, г/л	в твердой фазе, %	$H_2O_{г}$ , %	$H_2O_{кр}$ , %	Съем твердой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	Съем жидкой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
10	105	1,06	34,4	23,4	37,3	0,22	19,7
10	110	1,14	34,2	25,4	37,2	0,25	21,2
10	115	1,18	34,1	32,5	37,8	0,26	24,5
13	105	1,22	34,5	31,2	37,4	0,25	24,4
13	110	1,24	34,0	19,0	37,2	0,28	26,4
13	115	1,28	34,2	25,0	37,8	0,38	32,1
16	105	0,98	34,1	21,5	37,4	0,14	19,4
16	110	1,02	34,5	36,1	37,6	0,18	21,1
16	115	1,04	34,3	18,3	37,5	0,28	21,5
18	105	0,96	34,1	22,1	37,1	0,19	18,1
18	110	0,98	34,5	34,5	37,6	0,20	18,7
18	115	1,01	34,3	37,1	37,1	0,26	22,9

Для моделирования состава забалансовых рассолов использовали раствор, содержащий 12 % KCl, 1,5 %  $MgCl_2$  и 0,7 %  $CaCl_2$ , в который вводили соответственно 10 %, 13 %, 16 % и 18 % хлорида натрия. Время взаимодействия компонентов рассола (солей магния и кальция) с карбонатом натрия, который брали в количестве 105 % от стехиометрии на осаждение солей жесткости, в автоклаве составляло 2 часа. Эксперименты проводили при температурах 105 °C, 110 °C и 115 °C. Анализировали жидкую и твердую фазы на суммарное содержание кальция и магния комплексометрическим методом. Сведения по растворимости карбонатов солей жесткости приведены на рисунке 4. Проводили определение гигроскопической при температуре 75 °C и кристаллической влаги при температуре 300 °C в осадках. Также оценивались фильтрующие свойства осадка на фильтре Шотта (пористостью 50) при разрежении 50 кПа. Полученные данные по суммарной растворимости карбонатов кальция и магния приведены на рисунке 4. Все остальные данные по содержанию кристаллизационной и гигроскопической воды, общему количеству CaO и MgO в осадке, по производительности фильтрования твердой и жидкой фаз приведены в таблице 4.

Повышение температуры на 10°C увеличивает растворимость карбонатов в среднем на 3–7%, что характерно для эндотермического процесса растворения. При увеличении концентрации хлорида натрия от 10 % до 13 % наблюдается слабый солевой эффект (всаливание). При 16 % NaCl проявляется эффект

"высаливания", наблюдается минимальная растворимость. При 18% NaCl возможно изменение ионной силы или активности воды, приводящее к новому росту растворимости. Состав осадка стабилен, что указывает на формирование карбонатов близкой к стехиометрии независимо от условий. Фильтрация ухудшается с ростом температуры при низкой ионной силе, но стабилизируется при концентрации хлорида натрия выше 13%. Концентрация 13–16 % NaCl соответствует оптимальному балансу между полнотой осаждения и скоростью фильтрации).



Изотермы 105 °C, 110 °C и 115 °C расположены снизу в верх

Рис 4. Зависимость растворимости карбоната магния и кальция от температуры и содержания NaCl в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-$ -H<sub>2</sub>O, содержащей 12 % KCl, 1,5 % MgCl<sub>2</sub>, 0,7 % CaCl<sub>2</sub> при норме соды 105 % от стехиометрии на соли магния и кальция

Таблица 4. Влияние концентрации хлорида натрия и температуры на растворимость карбонатов магния и кальция, состав и фильтрующие показатели осадков в системе, содержащей 12 % KCl, 1,5 % MgCl<sub>2</sub>, 0,7 % CaCl<sub>2</sub> при норме соды 105 % от стехиометрии на соли магния и кальция

Количество хлорида натрия, %	Температура, °C	Содержание MgO и CaO		Состав и фильтрующие свойства осадка			
		в жидкой фазе, г/л	в твердой фазе, %	H <sub>2</sub> O гигр., %	H <sub>2</sub> O кр., %	Съем твердой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	Съем жидкой фазы, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)
10	105	1,12	36,7	60,7	39,3	0,30	19,09
10	110	1,14	36,9	61,9	39,7	0,24	15,75
10	115	1,18	36,7	59,5	39,6	0,22	14,34
13	105	1,16	36,6	58,5	39,4	0,19	13,21
13	110	1,20	36,9	59,8	39,6	0,22	13,10
13	115	1,24	37,0	58,7	39,1	0,22	12,99
16	105	1,02	36,5	55,5	39,5	0,21	12,91
16	110	1,04	36,2	59,4	39,9	0,22	15,65
16	115	1,06	37,1	47,1	39,1	0,22	12,06
18	105	1,26	37,2	62,2	39,1	0,20	12,99
18	110	1,28	37,3	56,0	39,5	0,25	17,46
18	115	1,30	36,4	60,9	39,1	0,19	10,98

### Выводы

- при содержании 10 % KCl в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-$ -H<sub>2</sub>O концентрация MgO в жидкой фазе варьирует в пределах 1,05–1,65 г/л, при фиксированной концентрации NaCl растворимость MgO умеренно возрастает с повышением температуры, максимальная растворимость наблюдается при 13 % NaCl и 115 °C (1,65 г/л), содержание MgO в осадке стабильно и составляет 34,0–34,8 % во всем диапазоне условий, что свидетельствует о постоянстве химического состава твердой фазы, съем твердой фазы возрастает с температурой, причем максимальное значение достигнуто при 16 % NaCl и 115 °C и составляет 0,50 кг/(м<sup>2</sup>·ч);

- при содержании 15 % KCl в системе  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}/Cl^-$ -H<sub>2</sub>O в жидкой фазе концентрация MgO варьирует в пределах 0,96–1,28 г/л, наблюдается экстремальная зависимость, при этом минимальные концентрации достигаются в пределах 16–18 % NaCl, в твердой фазе содержание MgO остаётся

практически неизменным во всём диапазоне изученных параметров: 34,0–34,5 %, что свидетельствует о стабильности состава образующегося осадка, максимальные показатели по фильтрованию осадка достигаются при 13 % NaCl и 115 °С (0,38 кг/(м<sup>2</sup>·ч), что на 70–75 % выше минимальных значений; кристаллизационная влага (H<sub>2</sub>O<sub>кр</sub>) стабильна в пределах 37,1–37,8 %, что подтверждает постоянство фазового состава осадка;

- при содержании 12 % KCl, 0,7 % CaCl<sub>2</sub> в системе K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>/Cl<sup>-</sup>-H<sub>2</sub>O Содержание MgO и CaO в жидкой фазе незначительно возрастает с повышением температуры при фиксированной концентрации NaCl, при этом минимальная растворимость наблюдается при 16 % NaCl (1,02–1,06 г/л), а максимальная - при 18 % NaCl (1,26–1,30 г/л); суммарное содержание MgO и CaO в осадке стабильно и составляет 36,2–37,3 %, практически не завися от варьируемых параметров, съём твердой фазы находится в диапазоне 0,19–0,30 кг/(м<sup>2</sup>·ч), что указывает на низкую скорость фильтрования, характерную для высокодисперсных осадков, с учетом компромисса между полнотой осаждения и технологичностью фильтрования, наиболее рациональными представляются условия: 10–13 % NaCl, температура 105–110 °С.

### Список литературы

- 1 Печковский В. В. Технология калийных удобрений. Минск: Вышэйшая школа, 1978. – 301 с.
- 2 Кириш К. С., Власов П. П. Комплексная переработка забалансовых растворов калийных производств // ПРОМТЕХДИЗАЙН. Естественные и технические науки. Часть 4. Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – С.76–81.
- 3 Рухля, И.Е. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых: учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ, 2009. – 56 с.
- 4 Кашкаров О. Д., Соколов И. Д. Технология калийных удобрений. Л.: Химия, 1978. – 246 с
- 5 Кашкаров О. Д., Босияк Л. Е. Получение хлористого натрия при выпарке растворов, содержащих хлористый калий // Технология переработки калийных солей и природных рассолов: труды ВНИИГ. Л.:1973. Вып. 63. С. 71-76.
- 6 Позин М. Е. Технология минеральных солей. Ч.II. Л.: Химия, 1970. - 1558 с.
- 7 Власов П. П., Александрова Л. Ю. Термохимические методы восстановления регенерационных растворов хлорида натрия Na-катионитовых фильтров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1 Естественные и технические науки. Санкт-Петербург: ФГБОУВО СПбГУПТД, 2017 – №4 - С. 78 – 81.
- 8 Винник М. М., Ербанова Л. Н., Зайцев П. М. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. Москва: Химия, 1975. - 218 с.

### References

- 1 Pechkovsky V. V. Technology of potash fertilizers. Minsk: Higher School, 1978. – 301 p.
- 2 Kirish K. S., Vlasov P. P. Complex processing of off-balance solutions of potash plants // PROMTECHNESIGN. Natural and technical sciences. Part 4. St. Petersburg: FGBOU VO SPbGUPTD, 2025. – pp. 76–81.
- 3 Rukhlya, I.E. Technology of processing and enrichment of minerals: educational and methodological manual. Minsk: BNTU, 2009. – 56 p.
- 4 Kashkarov O. D., Sokolov I. D. Technology of potash fertilizers. L.: Chemistry, 1978. – 246 p. 5. Kashkarov O. D., Bosiyak L. E. Obtaining sodium chloride by evaporation of solutions containing potassium chloride // Technology of processing potassium salts and natural brines: Proceedings of the All-Union Research Institute of Salt Industry. Leningrad, 1973. Issue 63. pp. 71-76.
- 6 Pozin M. E. Technology of mineral salts. Part II. Leningrad: Khimiya, 1970. - 1558 p.
- 7 Vlasov P. P., Aleksandrova L. Yu. Thermochemical methods of regeneration solutions of sodium chloride Na-cation exchange filters recovery // Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1 Natural and Technical Sciences. Saint Petersburg: FGBOU VO SPbGUPTD, 2017 – No. 4 - pp. 78 – 81.
- 8 Vinnik M. M., Yerbanova L. N., Zaitsev P. M. Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphorus and complex fertilizers, fodder phosphates. Moscow: Chemistry, 1975. - 218 p.

УДК 343.3

**Бородин А.А., Блинова Ю.Б., Исаков В.Р., Кондрашова А.С., Родина П.И.**Саратовская государственная юридическая академия  
410033, г. Саратов, Молодёжный проезд, зд. 4А.**Обеспечение киберустойчивости критической информационной инфраструктуры от воздействия посредством искажения фактических данных***Проблема участившихся информационных атак на объекты, составляющие основу государственной безопасности, экономической, социальной и иных сфер общественной жизни, влечет за собой необходимость ее изучения с целью выявления наиболее эффективных средств технической и правовой защиты обозначенной инфраструктуры.***Ключевые слова:** критическая инфраструктура, цифровая среда, информационная безопасность, государственный суверенитет, угроза национальной безопасности.**Borodin A.A., Blinova Yu.B., Isakov V.R., Kondrashova A.S., Rodina P.I.**Saratov State Law Academy  
410033, Saratov, Molodezhny Proyezd, 4A.**Ensuring the cyber resilience of critical information infrastructure against attacks that distort actual data***The problem of increased information attacks on objects that form the basis of state security, economic, social, and other spheres of public life necessitates its study in order to identify the most effective means of technical and legal protection of the designated infrastructure.***Keywords:** critical infrastructure, digital environment, information security, state sovereignty, and national security threats.

Риск кибератак на российские стратегические отрасли с каждым годом растёт. Тенденция обусловлена геополитической обстановкой, цифровизацией и технологическим суверенитетом. Злоумышленники активно используют вредоносные программы и социальную инженерию как главный инструмент достижения своих целей. Руководитель управления исследования киберугроз в «Лаборатории Касперского» Александр Лискин отмечал, что именно уязвимости остаются самым популярным способом проникновения злоумышленников в корпоративные сети, за ними следует использование украденных учетных данных, из чего следует рост числа и программ для кражи паролей, и программ-шпионов. Если их действия вовремя не обнаружить, они могут парализовать работу критических служб, привести к утечке конфиденциальных данных и угрожать национальной безопасности<sup>1</sup>. В ходе пленарной сессии РИФ-2025 «Экономика доверия: Формула будущего для отечественной ИТ-отрасли. От транзакций к отношениям» С.В. Кириенко отметил, что количество атак на критическую инфраструктуру за последние годы увеличилось в десятки раз. Ежегодный рост кибератак составляет примерно 25-30%. Также сказано, что в первом полугодии 2025 года зафиксировано 63 тысячи атак на критическую инфраструктуру нашей страны<sup>2</sup>.

Ввиду развития указанной проблемы необходимо осуществление противодействия ей, в том числе с правовой точки зрения. В Указе Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» закрепляется, что в последнее время увеличивается количество компьютерных атак на российские информационные ресурсы.<sup>3</sup> Большая часть таких атак осуществляется с территорий иностранных государств. Инициативы Российской Федерации в области обеспечения международной информационной безопасности встречают противодействие со стороны иностранных государств, стремящихся доминировать в глобальном информационном пространстве. В целях

<sup>1</sup> См.: В «Лаборатории Касперского» рассказали о кибератаках на Windows в 2025 году [Электронный ресурс] // Информационный портал «РИА Новости». URL: <https://ria.ru/20251202/kasperskij-2059256319.html> (дата обращения: 13.04.2026).

<sup>2</sup> Кириенко рассказал о кибератаках на российскую критическую инфраструктуру [Электронный ресурс] // Информационный портал «РИА Новости». URL: <https://ria.ru/20250924/kiberataki-2044055283.html> (дата обращения: 13.04.2026).

<sup>3</sup> См.: Указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Информационный портал Президента России IPR.

дестабилизации общественно-политической ситуации в Российской Федерации распространяется недостоверная информация, в том числе заведомо ложные сообщения об угрозе совершения террористических актов. В информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» размещаются материалы террористических и экстремистских организаций, призывы к массовым беспорядкам, осуществлению экстремистской деятельности, участию в массовых (публичных) мероприятиях, проводимых с нарушением установленного порядка, совершению самоубийства, осуществляется пропаганда криминального образа жизни, потребления наркотических средств и психотропных веществ, размещается иная противоправная информация. Основным объектом такого деструктивного воздействия является молодежь. В свою очередь Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 05.12.2016 №646, подчеркивает, что состояние информационной безопасности в области государственной и общественной безопасности характеризуется постоянным повышением сложности, увеличением масштабов и ростом скоординированности компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры (далее – КИИ), усилением разведывательной деятельности иностранных государств в отношении Российской Федерации, а также нарастанием угроз применения информационных технологий в целях нанесения ущерба суверенитету, территориальной целостности, политической и социальной стабильности Российской Федерации<sup>4</sup>.

В соответствии со ст. 2 Федерального закона № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 (в ред. От 10.07.2023 № 312-ФЗ) критическая информационная инфраструктура определяется как совокупность объектов КИИ (информационных систем, информационно-телекоммуникационных сетей и автоматизированных систем управления) и сетей электросвязи, используемых для их взаимодействия, а также закрепляются ключевые понятия, включая компьютерный инцидент и состояние защищенности КИИ.

Принципы обеспечения безопасности КИИ закреплены в ст. 4 обозначенного нормативного акта и включают законность, непрерывность и комплексность защиты, а также приоритет предотвращения компьютерных атак. Полномочия органов государственной власти определены в ст. 5–6, где, в частности, закрепляется функционирование государственной системы обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак (ГосСОПКА) и распределение компетенций между уполномоченными органами. Статья 7 устанавливает обязанность субъектов КИИ по категорированию объектов с присвоением категории значимости, а ст. 8 закрепляет ведение уполномоченным органом реестра значимых объектов КИИ. В ст. 9 определяются права и обязанности субъектов КИИ, включая участие в обнаружении и ликвидации последствий компьютерных атак и порядок информирования уполномоченных органов о компьютерных инцидентах. Дополнительно в ст. 10–11 устанавливаются требования к созданию и функционированию систем безопасности значимых объектов КИИ, включая предотвращение неправомерного доступа, модификации, блокирования информации и обеспечение устойчивости функционирования таких объектов<sup>5</sup>. Нарушение требований законодательства о безопасности КИИ влечёт установленную законом юридическую ответственность, включая уголовную ответственность по ст. 274.1 УК РФ<sup>6</sup>.

В свою очередь, статья 274.1 УК РФ устанавливает уголовную ответственность за неправомерное воздействие на критическую информационную инфраструктуру Российской Федерации. Часть 1 предусматривает ответственность за создание, распространение или использование вредоносных программ либо иной компьютерной информации, предназначенной для неправомерного воздействия на КИИ, с санкцией в виде лишения свободы от 2 до 5 лет. Часть 2 устанавливает ответственность за неправомерный доступ к охраняемой компьютерной информации КИИ, повлекший причинение вреда, с наказанием до 6 лет лишения свободы. Часть 3 охватывает нарушение правил эксплуатации или доступа к объектам КИИ, повлекшее вред, с наказанием до 6 лет лишения свободы. Квалифицирующие признаки, предусмотренные ч. 4, включают совершение деяния группой лиц, организованной группой либо с использованием служебного положения (до 8 лет лишения свободы), а ч. 5 предусматривает ответственность за деяния, повлекшие тяжкие последствия, с наказанием до 10 лет лишения свободы.

Приговор Ленинского районного суда г. Владивостока по делу № 1-366/2020 является практикой применения ч. 2 ст. 274.1 УК РФ к неправомерному доступу к информации, содержащейся в объекте критической информационной инфраструктуры. Суд пришел к выводу, что действия подсудимого были направлены на незаконное получение доступа к учетным данным абонентов ПАО «Мегафон», а затем на

<sup>4</sup> См.: Указ Президента Российской Федерации от 05.12.2016 г. № 646 «Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс] // «Официальный интернет-портал правовой информации» URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41460> дата обращения: 13.04.2026).

<sup>5</sup> Федеральный закон № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 (в ред. От 10.07.2023 № 312-ФЗ) // Сборник законодательства Российской Федерации. – 2017. – № 31(1). – Ст. 4736.

<sup>6</sup> Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ // Сборник законодательства Российской Федерации.

изменение настроек их личных кабинетов, что повлекло за собой нарушение и изменение компьютерной информации в КИИ<sup>7</sup>.

Для правомерного обоснования квалификации важно учитывать, что КИИ включает информационные системы, сети и автоматизированные системы управления, функционирующие в ключевых сферах инфраструктуры, включая связь. В приговоре суд сослался на положения Конституции РФ, закона об информации и Федерального закона № 187-ФЗ, показывая, что доступ к информации допустим лишь при соблюдении установленных ограничений, а нарушение режима защиты может повлечь уголовную ответственность. Также система самообслуживания абонентов ПАО «Мегафон» была признана объектом КИИ третьей категории значимости, что и стало правовой основой для применения ст. 274.1 УК РФ.

Из приговора следует, что подсудимый действовал не разово, а последовательно и в течение длительного периода. В процессе незаконной деятельности он получал пароли от сотрудников или посредников, входил в «Личный кабинет» абонентов через интернет, после чего активировал переадресацию входящих вызовов на принадлежащий ему номер, а затем деактивировал ее. Следовательно, данная схема позволяла перехватывать звонки и получать доступ к связанным с номером аккаунтам в социальных сетях, то есть использовать чужие учетные данные в собственных интересах. Суд расценил это как правомерный доступ к охраняемой компьютерной информации и ее модификацию.

Таким образом, в деле № 1-366/2020 объектом преступления являются общественные отношения в сфере безопасности критической информационной инфраструктуры, предметом же выступает охраняемая компьютерная информация, которая находилась в системе ПАО «Мегафон» и была защищена специальным режимом доступа. Объективная сторона преступления выражена в несанкционированном входе в систему и последующем изменении настроек сервисов абонента, что суд квалифицировал как модификацию информации.

Суд квалифицировал дело именно по ч.2 ст. 274.1 Уголовного кодекса РФ в связи с тем, что норма отличается от «обычного» правомерного доступа к компьютерной информации специальным объектом посягательства, то есть информация должна находиться в КИИ. Кроме того, для части 2 требуется наступление вреда КИИ, так суд исходил из того, что изменение настроек переадресации вызовов, а также получение возможности перехвата входящих соединений уже образуют необходимый для квалификации вред.

В научной и практической литературе вопрос о том, что считать вредом КИИ, остается спорным, поскольку критерий сформулирован оценочно и допускает различные подходы. Однако в данном деле суд занял позицию, что нарушение нормального функционирования сервисов и несанкционированное изменение их параметров достаточно для уголовно-правовой оценки действий подсудимого.

Из анализа судебной практики становится ясно, что ст. 274.1 УК РФ применяется не только к сложным атакам на государственные или энергетические системы, но и к действиям, связанным с сервисами связи, если они формально признаны объектами КИИ. Для правоприменения и верной квалификации важно, что суд не ограничился констатацией «неправомерного доступа», а связал действия подсудимого с конкретным ущербом для защищенной инфраструктуры. Подобный подход усиливает защиту операторов связи и подтверждает, что злоупотребление доступом к пользовательским кабинетам может иметь уголовно-правовые последствия, если затронута критическая инфраструктура. Но в то же время дело демонстрирует и проблему, которая заключается в том, что границы между административным нарушением, злоупотреблением доступом и уголовно наказуемым воздействием на КИИ достаточно размыты, вследствие чего не всегда очевидны.

Постановление Правительства Российской Федерации от 08.02.2018 № 127 также регулирует рассматриваемый вопрос, утверждает Правила категорирования объектов критической информационной инфраструктуры и перечень показателей критериев их значимости, на основании которых осуществляется отнесение объектов КИИ к одной из трёх категорий значимости (I–III) в зависимости от возможных последствий компьютерных инцидентов (п. 1, 4, 7 Правил). Категорирование проводится субъектами КИИ в отношении принадлежащих им объектов с использованием системы показателей, характеризующих потенциальный социальный, экономический и иной ущерб (п. 2, 4). Срок проведения категорирования не должен превышать одного года со дня утверждения перечня объектов (п. 15), а пересмотр категории осуществляется не реже одного раза в пять лет либо при изменении значимых характеристик объекта (п. 21)<sup>8</sup>.

Приказом Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России от 18.02.2013 № 21 определен состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных

<sup>7</sup> См.: Приговор № 1-366/2020 от 6 октября 2020 г. по делу № 1-366/2020 [электронный ресурс] // Судебные и нормативные акты РФ. URL: <https://sudact.ru/regular/doc/2UTJssITJZH> (дата обращения: 13.04.2026).

<sup>8</sup> Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 № 127 «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их

(ИСПДн), устанавливая требования к защите информации от несанкционированного доступа, уничтожения, модификации, блокирования и иных неправомерных воздействий. Данные требования применяются к системам обработки персональных данных и не регулируют напрямую отношения в сфере безопасности критической информационной инфраструктуры, однако могут использоваться в составе комплексных мер защиты информации<sup>9</sup>.

В дальнейшем ФСТЭК России также был издан Приказ № 239, устанавливающий требования по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры, включая совокупность организационных и технических мер, реализуемых с учётом категории значимости объекта и направленных на предотвращение, выявление и нейтрализацию угроз безопасности информации. В числе таких мер предусмотрены идентификация и аутентификация, управление доступом, аудит и мониторинг событий безопасности, антивирусная защита, предотвращение вторжений, управление конфигурацией и обновлениями, реагирование на инциденты, обеспечение целостности и доступности информации, а также контроль (анализ) защищённости значимого объекта (п. 13, 22 Требований)<sup>10</sup>.

В публичных сообщениях, связанных с Заявлением Президента РФ о дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности страны от 2022 года, отмечалось, что в госструктурах должны появиться специалисты, отвечающие за предотвращение утечки данных и противодействие кибератакам, а также факт того, что госорганам будет запрещено использовать средства защиты информации из недружественных стран. По смыслу это связано с укреплением киберустойчивости критически важных систем и снижением рисков искажения, утраты или компрометации данных<sup>11</sup>.

Также Президент РФ Путин Владимир Владимирович неоднократно подчеркивал проблему информационной агрессии со стороны недружественных для нашей страны государств: «Против России развязана настоящая агрессия, война в информационном пространстве. Серьезные атаки были нанесены по официальным сайтам органов власти. Значительно чаще фиксируются и попытки незаконного проникновения в корпоративные сети ведущих российских компаний. Атаки наносятся из разных государств, и при этом они четко скоординированы. В большинстве случаев используется следующая тактика атак: доступ к российским интернет-ресурсам блокируется, информация становится недоступной или подменяется фейками, фальшивками. Мы были готовы к этой атаке, и это результат той системной работы, которая велась все последние годы. Наши специалисты серьезно занимались вопросами защиты информационной инфраструктуры, обеспечением устойчивой работы и безопасности сетей и каналов связи, и, повторю, многое удалось сделать, в том числе создать собственные уникальные технологии»<sup>12</sup>.

В своей научной работе Захарченко Р.И. и Королев И.Д. рассматривают следующие свойства, присущие процессам управления критически важными информационными объектами в цифровом пространстве с учетом применения кибероружия: адекватность, определяемая как преобразование информации состояния объекта в состояние, соответствующее сложившейся ситуации; устойчивость – выполнение системой своих функций в условиях резко меняющейся ввиду деструктивного воздействия; оптимальность – способность управления достигать цели при наименьшем потреблении имеющихся ресурсов; непрерывность – возможность управляющего органа постоянно влиять на объекты управления; скрытность – свойство процесса управления сохранять данные о преобразовании информации в тайне от противоборствующей стороны [1].

Действия злоумышленников могут включать как технические манипуляции с системами, так и психологические приёмы воздействия на пользователей. А.К. Назарян и И.Н. Карцан считают, что кибератаки можно классифицировать по различным признакам, но одним из самых важных является разделение по целям и методам реализации. По целям кибератаки могут преследовать различные намерения, включая кражу данных, нарушение доступности, модификацию данных, вымогательство, шпионаж и нарушение конфиденциальности. Методы кибератак также разнообразны. Одним из наиболее распространенных методов является социальная инженерия, где используются психологические манипуляции для получения доступа к конфиденциальной информации. Например, методом реализации которых злоумышленники маскируются под доверенные источники и пытаются узнать личные

<sup>9</sup> Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 года №21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» // Российская газета. – № 107.

<sup>10</sup> Приказ ФСТЭК России от 25 декабря 2017 года №239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // Официальный сайт ФСТЭК России. URL: [https://stec.ru/dokumenty/vse\\_dokumenty/prikazy\\_prikaz\\_fstek\\_rossii\\_ot\\_25\\_12\\_2017\\_g\\_-\\_n\\_239](https://stec.ru/dokumenty/vse_dokumenty/prikazy_prikaz_fstek_rossii_ot_25_12_2017_g_-_n_239) дата обращения: 13.04.2026).

<sup>11</sup> См.: Пленарное заседание Международного конгресса по кибербезопасности [Электронный ресурс] // Информационный портал Президента России. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57957> дата обращения: 13.04.2026).

<sup>12</sup> См.: Первый канал. Владимир Путин на заседании Совбеза говорил о развязанной против России информационной войне [Электронный ресурс] // Первый канал 2022 22 мая 11:11.

данные (фишинг). Атаки через цепочку поставок включают вмешательство в систему через уязвимости в стороннем ПО или поставках, что может привести к компрометации всей инфраструктуры организации. Для эффективного снижения рисков кибератак необходимо реализовать комплексный подход, сочетающий технические, организационные и образовательные меры. Следовательно, в рамках разработки стратегии и технологии для предотвращения, обнаружения и минимизации последствий кибератак основное внимание уделяется техническим, организационным и образовательным аспектам защиты. К техническим мерам защиты отнесем фаерволы и системы обнаружения вторжений, антивирусное и антишпионское программное обеспечение, шифрование данных, аутентификация и управление доступом, резервное копирование и восстановление. Для эффективного противостояния кибератакам важно не только применять технические решения, но и выстраивать комплексный подход на уровне информационной организаций, где четкий план оперативно восстановит работу после инцидента. Наличие опытных сотрудников также играет важнейшую роль в предотвращении атак. Таким образом, совокупность приведенных выше признаков может помочь в борьбе с кибератаками [2].

Как отмечал директор центра противодействия кибератакам Solar JSOC ГК «Солар» Владимир Дрюков, главная цель продвинутых хакеров – шпионаж, на который приходится более 60% инцидентов. Он подчеркнул, что общество движется к такой парадигме, когда любая организация по умолчанию должна считать себя взломанной<sup>13</sup>.

Обозначив проблему устойчивости КИИ, отметим мнение В.Л. Акапьева и С.Е. Савотченко по вопросу определения таких объектов. Исследователи утверждают, что для выявления критически важных для государства предприятий и организаций с дальнейшим принятием мер по поддержанию их безопасности необходимо категорирование таковых, создание системы обеспечения их безопасности, а также взаимодействие с Государственной системой обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак на информационные ресурсы Российской Федерации (ГосСОПКА) [3].

Баянова Ю.А. в своем научном труде, так же описывая проблему определения объема объектов КИИ, отметила, что в действительности значимыми элементами КИИ являются практически все системообразующие предприятия и организации страны в соответствии с Федеральным законом № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», вследствие чего необходимо совершенствование правового регулирования определяемых структур, а также модернизация действующих технических мер предотвращения атак в цифровой среде [4].

Ранее нами замечено, что ненадлежащий контроль ключевых объектов инфраструктуры государства, в частности финансовой, влечет за собой ущерб физическим лицам и иным клиентам финансовых организаций, что подчеркивает существенное значение рассматриваемой практики [5]. Кроме того, действующий уровень просвещения широкой общественности касательно обозреваемой темы, по нашему мнению, остается низким, из чего следует необходимость введения обязательных уроков информационной безопасности в образовательных организациях [6].

*Научный руководитель: ассистент кафедры прокурорского надзора и криминологии Саратовской государственной юридической академии Матушкина А.А.*

*Scientific Supervisor: Assistant of the Department of Prosecutorial Supervision and Criminology at the Saratov State Law Academy Matushkina A.A.*

#### **Список литературы:**

1. Захарченко Р.И., Королев И.Д. Методика оценки устойчивости функционирования объектов критической информационной инфраструктуры функционирующей в киберпространстве / Р.И. Захарченко, И.Д. Королев // Научные исследования в космических исследованиях Земли. – 2018. – №2. – С. 51-60.
2. Назарян А. К., Карцан, И. Н. Современные кибератаки: классификация и способы защиты / А.К. Назарян, И.Н. Карцан // Информатика. Экономика. Управление - Informatics. Economics. Management. – 2025. – № 4(1). – С. 1001–1007.
3. Акапьев В.Л., Савотченко С.Е. Публично-правовое регулирование обеспечения безопасности объектов критической информационной инфраструктуры / В.Л. Акапьев, С.Е. Савотченко // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». – 2024. – №3. – С. 494-50.3.
4. Баянова Ю. А. Критическая информационная инфраструктура как объект обеспечения безопасности / Ю.А. Баянова // Инновационная наука. – 2021. – №10-2. – С. 63-65.
5. Бородинов, А. А. Анализ корпоративной ответственности вследствие ненадлежащего контроля финансовой инфраструктуры / А. А. Бородинов, В. Р. Исаков, П. А. Непомнящий // Финансовая грамотность:

<sup>13</sup> См.: Владимир Дрюков: в 2025 году интенсивность кибератак увеличилась вдвое [Электронный ресурс] // Информационный портал «РИА Новости». URL : <https://ria.ru/20251222/kiberataka-2063011525.htm>

путь к успеху и благополучию : материалы I региональной научно-практической конференции, Воронеж, 10 февраля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2026. – С. 124-128.

6. Бородин А.А., Блинова Ю.Б., Исаков В.Р. [и др.] К вопросу о важности изучения дисциплины «информационная безопасность» в современной России / А. А. Бородин, Ю. Б. Блинова, В. Р. Исаков [и др.] // Вопросы педагогики. – 2026. – № 3-2. – С. 9-14.

УДК 661.842:661.631

**Д. Г. Бракк, П. П. Власов**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186 РФ, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ ФОСФОГИПСА КАРБОНАТОМ АММОНИЯ**

© Д. Г. Бракк, П. П. Власов, 2026

*В статье исследуется метод переработки фосфогипса карбонатом аммония при контролируемом нагреве. Подробно описаны этапы экспериментального процесса. Определено влияние температуры на степень конверсии фосфогипса карбонатом аммония и фильтрующие свойства карбоната кальция. Обосновано влияние концентрации раствора сульфата аммония и нормы карбоната аммония на степень конверсии гипса. По результатам исследования предложена двух-стадийная конверсия гипса в карбонат кальция.*

**Ключевые слова:** конверсия, фосфогипс, карбонат аммония, карбонат кальция

**D. Brakk, P. Vlasov**Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design  
191186, Russia, St Petersburg, Bolshaya Morskaya 18**A KINETIC STUDY OF THE CONVERSION OF PHOSPHOGYPSUM WITH AMMONIUM CARBONATE**

The article examines the method of processing phosphogypsum with ammonium carbonate under controlled heating. The stages of the experimental process are described in detail. The effect of temperature on the degree of phosphogypsum conversion by ammonium carbonate and the filtering properties of calcium carbonate has been determined. The influence of the concentration of ammonium sulfate solution and the norm of ammonium carbonate on the degree of gypsum conversion is substantiated. According to the results of the study, a two-stage conversion of gypsum to calcium carbonate was proposed.

**Keywords:** conversion, phosphogypsum, ammonium carbonate, calcium carbonate

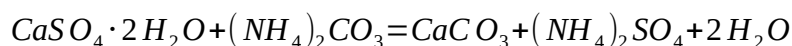
Фосфогипс – это отходы, возникающие при производстве экстракционной фосфорной кислоты из фосфатной руды в результате взаимодействия с серной кислотой [1]. По химическому составу фосфогипс в основном представлен дигидратом сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Существует техническая возможность и экологическая целесообразность утилизации фосфогипса по различным направлениям. Накопление огромных количеств фосфогипса в отвалах до 4 млн т в год вызывает существенную озабоченность, при этом природный гипс перерабатывается на строительные материалы (Патент № 2267891 С1 Российская Федерация, МПК А01В 79/00, А01В 13/14, А01В 49/02. Способ мелиорации солонцов и устройство для его осуществления, № 2004119567/12, заявл. 28.06.2004, опубл. 20.01.2006 / В. П. Зволинский, А. М. Салдаев, заявитель Государственное научное учреждение Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия Российской академии сельскохозяйственных наук. 11 с., ил.). Использование фосфогипса составляет всего 5 % от накапливаемого ежегодно. В основном фосфогипс используется в сельском хозяйстве для мелиорации солончаковых почв, в цементной промышленности как минерализатор при обжиге клинкера и в качестве добавки для регулирования схватывания цемента [2]. Полупромышленные испытания показали, что высушенный фосфогипс, перемешанный с глиной, песком, коксом и обработанный при температуре 1200-1400 °С, может быть переработан в серную кислоту с одновременным получением цемента (Патент № 2487083 С1 Российская Федерация, МПК С01F 11/46, С01F 17/00. Способ переработки фосфогипса, № 2012115129/05, заявл. 16.04.2012, опубл. 10.07.2013 / Э. П. Локшин, О. А. Тареева, В. Т. Калинин, заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук. 12с., ил.).

Преимуществами метода конверсии гипса карбонатом аммония является: снижение воздействия на окружающую среду за счет переработки отходов; производство ценных продуктов, например,

удобрения сульфата аммония; контроль процесса посредством регулирования температуры и концентрации реагентов [3].

*Цель работы:* изучить кинетику реакции фосфогипса с карбонатом аммония и определить, как температура (105-115 °С), концентрация продуктов реакции (сульфата аммония), избыток карбоната аммония и интенсивность перемешивания влияют на скорость взаимодействия.

Взаимодействие фосфогипса с карбонатом аммония проводилось в лабораторном стеклянном реакторе. Реактор был установлен в термостат для точного контроля температуры на протяжении всего эксперимента. В целях обеспечения однородности реакционной смеси и интенсификации массопередачи, использовалась верхнеприводная лопастная мешалка, работающая с постоянной скоростью 500 об/мин. Исходное массовое соотношение Ж:Т составляло 4:1. Карбонат аммония брали из расчета 10 % избытка от стехиометрического количества, которое рассчитывалось, исходя из уравнения химической реакции [4]:



Для проведения эксперимента смешивали кристаллические гипс и карбонат аммония для получения однородной смеси и затем вводили в воду, нагретую до температуры 90°С. После завершения конверсии гипса карбонатом аммония полученную суспензию фильтровали при разрежении 53 кПа на фильтре Шотта (пористость 100). Последующая промывка осадка горячей водой (10:1) и спиртом была необходима для удаления сульфатов из жидкой фазы лепешки. Для оценки эффективности фильтрации регистрировали время процесса и рассчитывали выход сухой твердой фазы. Для количественного определения сульфатов в твердой фазе использовали весовой метод. Относительная погрешность этого метода составляет 0,8% [5].

Для изучения влияния времени взаимодействия гипса с карбонатом аммония на степень конверсии были проведены параллельные эксперименты. Время конверсии гипса в карбонат кальция в параллельных опытах было 1, 2, 4 и 8 минут. Норма карбоната аммония составляла 110 % от стехиометрии по уравнению реакции. Результаты исследований приведены на рисунке 2.

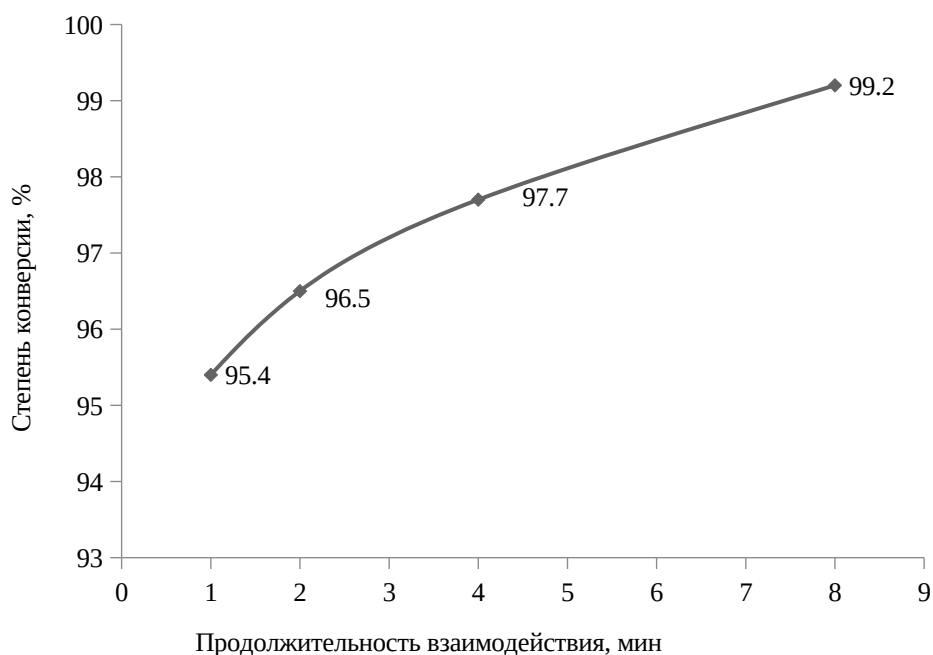


Рис 1. Зависимость степени конверсии гипса от продолжительности взаимодействия с карбонатом аммония в параллельных опытах

Как видно из рисунка 1, наблюдается положительная зависимость: с увеличением времени взаимодействия, степень конверсии неуклонно возрастает. Характер кривой указывает на то, что процесс идет наиболее интенсивно в начале, а затем скорость конверсии постепенно снижается, кривая становится более полой и стремится к предельному значению. Так, при проведении опыта в течение 1 минуты степень конверсии составляет 95,4%. Далее увеличение продолжительности опытов до 2, 4 и 8 минут степень конверсии гипса в карбонат кальция составляет 96,6 %; 97,7 %; и 99,2 % соответственно.

Таким образом, было установлено, что процесс конверсии гипса в карбонат кальция проходит на 99 % в течение 8 минут, поэтому продолжительность последующих опытов была ограничена указанным временным интервалом.

Для изучения влияния температуры на степень конверсии была проведена серия экспериментов при 25 °С, 50 °С, 75 °С и 90 °С. В каждом опыте количество гипса и карбоната аммония брали в стехиометрическом соотношении, а исходное соотношение Ж:Т составляло 4:1. Результаты опытов приведены на рисунке 2.

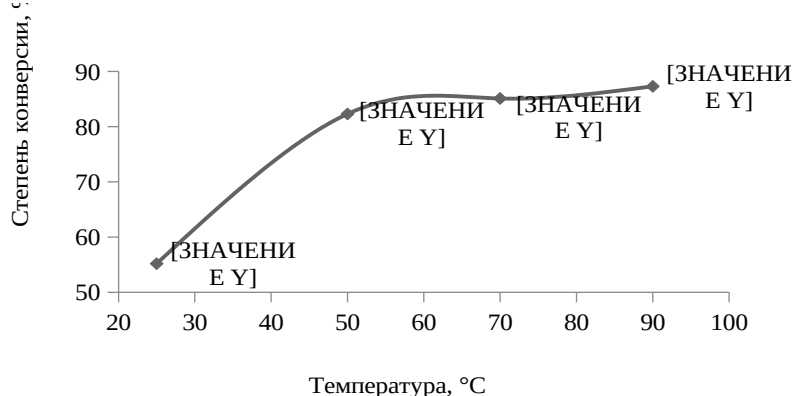


Рис. 2. Зависимость степени конверсии гипса от температуры

На рисунке 2 наблюдается прямая зависимость: с повышением температуры степень конверсии увеличивается. Значительный рост степени конверсии наблюдается в интервале от 25 °С до 50 °С. Это указывает на высокую чувствительность процесса к температуре в этом диапазоне, при этом конверсия гипса в карбонат кальция значительно возрастает от 55,2 % до 82,3 %. При температуре выше 50 °С происходит выравнивание кривой и выход на «плато». В диапазоне от 50 °С до 90 °С рост степени конверсии существенно замедляется. Так, при температурах 70 °С и 90 °С степень конверсии достигает значений 85,1 % и 87,3 % соответственно.

Как показано на рисунке 3, повышение температуры приводило к улучшению фильтрующих свойств осадка карбоната кальция.

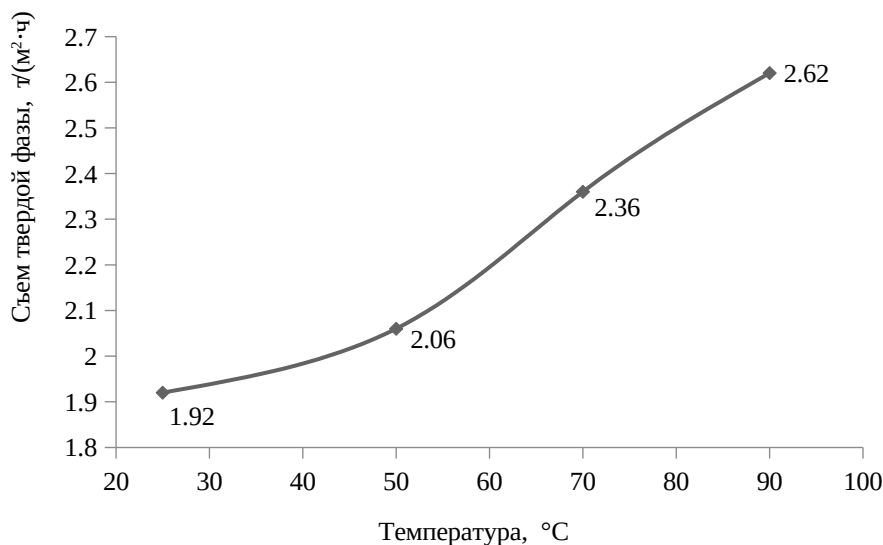


Рис. 3. Зависимость фильтрующих свойств суспензии карбоната кальция от температуры

Наблюдается прямая зависимость производительности фильтрования от температуры, чем выше температура конверсии гипса в карбонат кальция, тем больше скорость фильтрации. Это означает, что осадок, образующийся при более высоких температурах, обладает лучшей проницаемостью за счет укрупнения кристаллов карбоната кальция, кроме этого, уменьшения вязкости жидкой фазы, что облегчает процесс фильтрации. При температурах 25 °С; 50 °С; 70 °С и 90 °С съем твердой фазы составляет 1,92 т/(м²·ч); 2,06 т/(м²·ч); 2,36 т/(м²·ч) и 2,62 т/(м²·ч) соответственно. Этот результат послужил основой для проведения последующих экспериментов при температуре 90 °С. несмотря на повышение парциального давления аммиака над раствором.

В рамках исследования изучалось влияние различных норм карбоната аммония на конверсию гипса, а именно: 100 %, 110 %, 120 % и 130 % от стехиометрии. Зависимость эффективности конверсии гипса от количества добавленного карбоната аммония показана на рисунке 4.



Рис. 4. Влияния нормы карбоната аммония на степень конверсии гипса

Анализ рисунка 4 показывает, что наблюдается обратная зависимость между увеличением концентрации карбоната аммония и степенью конверсии гипса в карбонат кальция. Этот эффект обусловлен полидисперсной природой гипса, поскольку при высоких концентрациях карбоната аммония на поверхности крупных кристаллов гипса быстро образуется слой шлама из карбоната кальция, препятствующий реакции трансформации гипса в карбонат кальция. Поэтому оптимальная концентрация карбоната аммония для достижения максимальной степени конверсии составляет 110% от стехиометрии.

В целях производства кристаллического удобрения, использовалась рециркуляция образующегося раствора сульфата аммония. Для этого изучалась конверсия гипса карбонатом аммония при различных исходных концентрациях сульфата аммония. Содержание сульфата аммония составляло 15%, 25%, 35% и 45%. Были выбраны следующие параметры проведения конверсии гипса в карбонат кальция:

- норма карбоната аммония 110 % от стехиометрии;
- температура 90 °С;
- исходное массовое соотношение Ж:Т = 4:1;
- скорость вращения мешалки 500 об/мин;
- время взаимодействия 8 минут.

Данные, представленные на рисунке 5, демонстрируют обратную зависимость между концентрацией сульфата аммония и степенью конверсии гипса. В частности, при увеличении концентрации сульфата аммония в растворе с 15% до 45% наблюдалось снижение степени конверсии гипса на 5,4%, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

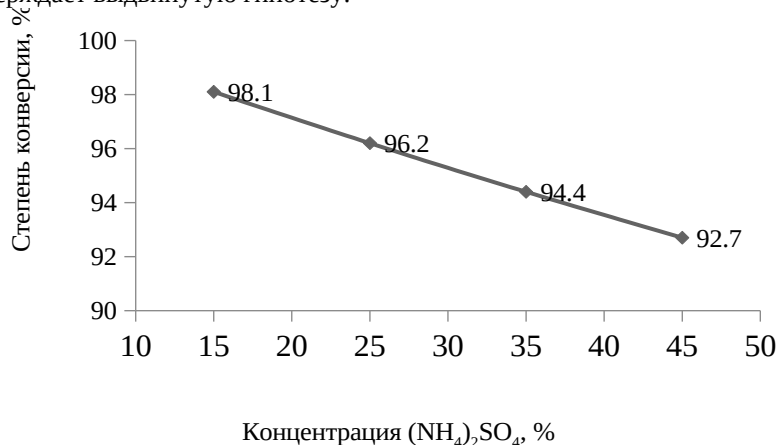


Рис. 5. Зависимость степени конверсии гипса в карбонат кальция от исходной концентрации сульфата аммония

Для того чтобы производить рециклинг раствора необходимо восстановить его первоначальные свойства или удалить накопившиеся примеси [6]. В контексте проводимого исследования рециклинг раствора сульфата аммония предусматривает следующие этапы:

- удаление накопившихся продуктов реакции, например, гипса или других нежелательных солей,
- корректировку концентрации сульфата аммония,
- восполнение сульфата аммония, если часть его была израсходована или потеряна в процессе,
- удаление других примесей, которые могли попасть в раствор или образоваться в процессе и негативно повлиять на его эффективность.

Для достижения оптимальной степени зрелости мела, а именно, полной конверсии гипса, предлагается двухстадийный процесс. На первой стадии гипс реагирует с раствором карбоната аммония (первым фильтратом), после фильтрования суспензии карбоната кальция со второй стадии обработки осадка, содержащего остаточное количество гипса и куда вводится все количество карбоната аммония из расчета 110 % нормы от стехиометрии по уравнению реакции. На второй стадии как бы формируется сверх избыточная норма карбоната аммония. Полученный на второй стадии мел содержит следы сульфата кальция, что позволяет его использовать в производстве цемента.

Результаты двух-стадийной обработки гипса приведены в таблице 1. Процесс проводился в термостатированных условиях со следующими параметрами:

- температура 90°C,
- количество карбоната аммония 110% от стехиометрии по реакции;
- скорость перемешивания 500 об/мин;
- время реакции на первой стадии 8 минут, на второй стадии 40 минут;
- массовое соотношение на второй стадии Ж:Т =4:1.

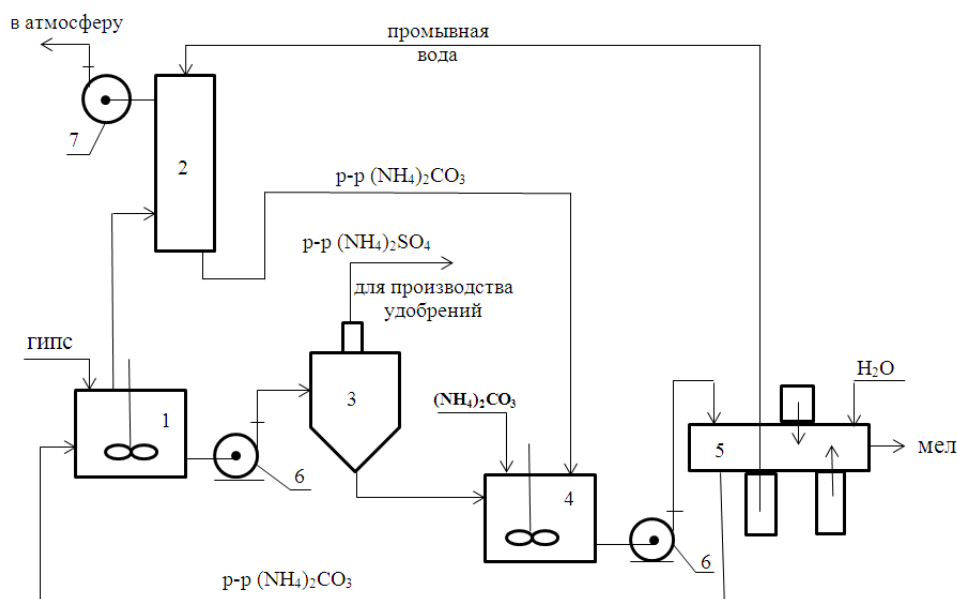
В таблице 1 представлены данные, полученные в ходе двух-стадийного процесса конверсии гипса карбонатом аммония.

Таблица 1. Двухстадийная конверсия гипса карбонатом аммония

Стадии конверсии	Содержание в осадке, %		Степень конверсии, %
	H <sub>2</sub> O <sub>кр</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Первая	0,95	2,06	97,7
Вторая	0,64	1,72	99,4

Экспериментальные данные, представленные в таблице 1, показывают, что введение второй стадии процесса приводит к увеличению степени конверсии на 1,7%. Дополнительным преимуществом является производство гипса с приемлемым содержанием сульфатов для цементной промышленности.

В целях эффективной реализации данного процесса предлагается базовая технологическая схема преобразования гипса в мел (рисунок 6).



1 – реактор-смеситель; 2 – абсорбер; 3 – гидроциклон; 4 – дозреватель; 5 – вакуум-фильтр; 6 – центробежный насос; 7 – вентилятор

Рис. 6. Базовая технологическая схема преобразования гипса в мел

На рисунке 6 процесс конверсии начинается в реакторе-смесителе (1), где исходный гипс смешивается с раствором карбоната аммония, температура поддерживается на уровне 90 °С, а количество карбоната аммония превышает 110% от стехиометрического соотношения. Избыток не полностью прореагировавшего карбоната аммония улавливается в абсорбере (2). Полученная суспензия мела и сульфата аммония подается центробежным насосом (6) в гидроциклон (3), где твердые частицы отделяются от раствора сульфата аммония. Отделенный в гидроциклоне мел, содержащий небольшое количество сульфата кальция, направляется в резервуар для дозревания (4), где происходит вторая стадия

конверсии. Затем суспензия из резервуара дозревания подается центробежным насосом на вакуумный фильтр (5) для промывки водой. В результате получается мел удовлетворительного качества, пригодный для использования в цементной промышленности, а промывочная вода направляется в абсорбер для поддержания цикла конверсии.

### Выводы

- установлено, что процесс конверсии протекает наиболее интенсивно в начальный период реакции: степень превращения достигает 95,4% уже за 1 минуту и 99,2% за 8 минут, что свидетельствует о быстром протекании химического взаимодействия на поверхности кристаллов гипса;
- выявлена выраженная чувствительность процесса к температуре в диапазоне 25–50 °С (рост конверсии с 55,2% до 82,3%), при дальнейшем повышении температуры наблюдается эффект «плато», что указывает на переход процесса в диффузионную область;
- определена оптимальная норма карбоната аммония — 110% от стехиометрии; превышение данной концентрации снижает эффективность конверсии вследствие образования пассивирующего слоя карбоната кальция на поверхности гипса;
- подтверждено отрицательное влияние накопления сульфата аммония в жидкой фазе на степень конверсии, что требует разработки схемы регенерации или корректировки состава циркулирующего раствора;
- предложенная двух-стадийная схема конверсии гипса позволяет достичь степени превращения 99,4% и получить карбонат кальция с остаточным содержанием сульфатов, приемлемым для использования в цементной промышленности.

### Список литературы

1. Лукьянова Н. И., Никольский В. М. Технология переработки фосфогипса на производстве минеральных удобрений // Системы обеспечения техносферной безопасности. Материалы V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием). Таганрог: 2018. С. 79-81.
2. Мещеряков Ю. Г., Колев Н. А., Федеров С. В., Сучков В. П. Производство гранулированного фосфогипса для цементной промышленности и строительных изделий // Строительные материалы. 2009. № 5. С. 104 - 109.
3. Бракк Д. Г., Кириш К. С., Конверсия гипса в сульфат аммония и карбонат кальция // Инновации молодежной науки: Тезисы докладов всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Санкт-Петербург: 2023. С. 136-137.
4. Карапетян К. Г., Лобачева О. Л., Кужаева А. А. Общая химия: Сборник задач. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – 112 с.
5. Винник М. М., Ербанова Л. Н., Зайцев П. М. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. Москва: Химия, 1975. 218 с.
6. Лещенко, Ю. Г. Бракк Д. Г. Анализ расходов на охрану окружающей среды и инновации, направленные на обеспечение экологической безопасности России // Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций: материалы Международной научно-практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов. Нижний Новгород: 2024. С. 101-108.

### References

1. Lukyanova N. I., Nikolsky V. M. Technology of phosphogypsum processing in the production of mineral fertilizers // Technosphere safety systems. Proceedings of the V All-Russian Conference and School for Young Scientists (with international participation). Taganrog: 2018. pp. 79-81. (in Rus.).
2. Meshcheryakov Yu. G., Kolev N. A., Federov S. V., Suchkov V. P. Production of granular phosphogypsum for the cement industry and construction products. 2009. No. 5. pp. 104 - 109. (in Rus.).
3. Brakk D. G., Kirish K. S., Conversion of gypsum to ammonium sulfate and calcium carbonate // Innovations in youth science: Abstracts of the All-Russian scientific conference of young scientists with international participation. Saint Petersburg: 2023. pp. 136-137. (in Rus.).
4. Karapetyan K. G., Lobacheva O. L., Kuzhaeva A. A. General chemistry: A collection of problems. Saint Petersburg: Saint Petersburg Mining University, 2022. 112 p. (in Rus.).
5. Vinnik M. M., Yerbanova L. N., Zaitsev P. M. Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphorous and complex fertilizers, feed phosphates. Moscow: Khimiya Publ., 1975. 218 p. (in Rus.).
6. Leshchenko, Yu. G. Brakk D. G. Analysis of environmental protection costs and innovations aimed at ensuring environmental safety in Russia // Actual issues of economics, management and innovation: proceedings of the International Scientific and Practical Conference of scientists, specialists, university teachers, graduate students, students. Nizhny Novgorod: 2024. pp. 101-108. (in Rus.).

УДК

**П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ УФ/ВИД СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ РАВНОВЕСИЙ**

© П.Д. Захматова, С.С. Лысова, Ю.Э. Зевацкий, 2026

*Метод концентрационной спектрофотометрии ранее успешно применялся для исследования кислотно-основных равновесий и определения термодинамических констант диссоциации соединений различного строения. В настоящей работе исследована возможность использования данного подхода для анализа равновесий комплексообразования и определения констант устойчивости комплексных соединений. Показано, что зависимость оптической плотности от концентрации может быть использована для исследования многокомпонентных равновесных систем без получения индивидуальных спектров поглощения отдельных форм. Полученные результаты свидетельствуют о расширении области применения метода концентрационной спектрофотометрии при изучении комплексных равновесий.*

**Ключевые слова:** концентрационная спектрофотометрия, комплексообразование, закон Бугера-Ламберта-Бера, константы устойчивости, ДТПА, хелатная терапия.

**P.D. Zakhmatova, S.S. Lysova, Y.E. Zevatskii**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**APPLICATION OF THE CONCENTRATION UV/VIS SPECTROPHOTOMETRIC METHOD IN THE STUDY OF COMPLEX EQUILIBRIUMS**

*The method of concentration spectrophotometry has previously been successfully applied to the study of acid–base equilibria and to the determination of thermodynamic dissociation constants of compounds with different structures. In the present work, the possibility of using this approach for the analysis of complex formation equilibria and the determination of stability constants of coordination compounds has been investigated. It is shown that the dependence of optical density on concentration can be used to study multicomponent equilibrium systems without obtaining individual absorption spectra of the separate species. The results obtained indicate an expansion of the applicability of the concentration spectrophotometry method for the investigation in the study of complex equilibria.*

**Keywords:** concentration spectrophotometry, complex formation, Beer-Lambert law, stability constants, DTPA, chelation therapy.

Метод концентрационной UV/Vis спектрофотометрии ранее был успешно применен для определения значений констант диссоциации  $pK_a$  различных органических кислот, оснований, амфолитов и соединений более сложного строения в водных и неводных средах [1]-[3]. По сравнению с классическим спектрофотометрическим методом, данный подход не требует получения спектров индивидуальных компонентов смеси. Вследствие этого отпадает необходимость использования буферных растворов, фоновых электролитов, концентрированных кислот и щелочей, а также учета значений pH среды при обработке экспериментальных данных.

Для систем, в которых поглощают частицы одного типа и не протекает побочных химических реакций, зависимость оптической плотности от концентрации  $A = f(C)$ , описанная законом Бугера-Ламберта-Бера (БЛБ), линейна. В растворах, где протекают кислотно-основные равновесия, реакции комплексообразования, ассоциации или диссоциации, наблюдаются отклонения от линейной зависимости. В таких системах исследуемое соединение существует одновременно в нескольких равновесных формах, каждая из которых обладает собственным электронным спектром поглощения и индивидуальным молярным коэффициентом поглощения. Закон БЛБ не соблюдается для смеси таких частиц, но выполняется для каждой формы отдельно. Экспериментально определяемый, наблюдаемый молярный коэффициент поглощения  $\epsilon_\lambda \neq const$  и изменяется в зависимости от концентрации исследуемого соединения. Зная значения оптических плотностей исследуемого соединения для растворов с различной

концентрацией, соответствующих оптимальной длине волны  $\lambda_{\text{опт}}$ , можно определить константы равновесия [4]. Пересмотр классической интерпретации закона Бугера-Ламберта-Бера позволяет рассматривать отклонения от линейности не как ограничение спектрофотометрического метода, а как инструмент для исследования равновесных систем, в которых получение индивидуальных спектров отдельных частиц является затруднительным или вовсе экспериментально невозможным.

Целью данного исследования является проверка возможности применить метод концентрационной спектрофотометрии для получения констант устойчивости в случае сложных комплексных равновесий. Комплексные соединения, благодаря своей способности образовывать устойчивые структуры и избирательно связывать ионы и молекулы, нашли широкое применение в различных областях. Особый интерес представляет хелатная терапия – процесс выведения из организма ионов токсичных металлов ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  и др.), а также радиоактивных изотопов и продуктов их распада с помощью комплексонов [5]. В качестве примера соединения, используемого с целью профилактики и лечения поражений радиоактивными веществами, можно привести кальций тринатриевую соль диэтилентриаминпентауксусной кислоты (пентацин), его структурная формула представлена на рисунке 1. Эффективность хелатной терапии определяется устойчивостью образующихся комплексов, высокие значения логарифма константы устойчивости характеризуют получаемые комплексы как термодинамически стабильные, что обеспечивает предотвращение повторного попадания токсичного металла в ткани организма [6]. Следовательно, совершенствование методов определения констант устойчивости для сложных комплексных равновесий является актуальной задачей.

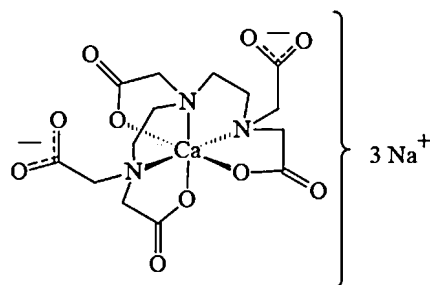


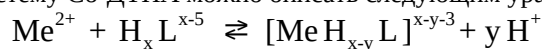
Рис. 1. Структурная формула кальций тринатривой соли диэтилентриаминпентауксусной кислоты

В данном исследовании в качестве модельной смеси была выбрана сложная система равновесий образования комплексов кобальта с диэтилентриаминпентауксусной кислотой, сокращенно ДТПА. Как было сказано ранее, она представляет интерес с точки зрения применения в фармакологии. ДТПА является восьмидентатным пятиосновным лигандом и образует устойчивые водорастворимые комплексы со многими металлами, в том числе с кобальтом. Кроме того, ДТПА является пятиосновной кислотой и ее реакционная способность зависит от кислотности среды. В таблице 1 указаны константы равновесий для каждой ступени диссоциации [7].

Таблица 1. Константы равновесий для ступенчатой диссоциации ДТПА

Уравнение равновесия	pKa
$\text{H}_5\text{L} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{L}^- + \text{H}^+$	1,82
$\text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons \text{H}_3\text{L}^{2-} + \text{H}^+$	2,65
$\text{H}_3\text{L}^{2-} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{L}^{3-} + \text{H}^+$	4,28
$\text{H}_2\text{L}^{3-} \rightleftharpoons \text{HL}^{4-} + \text{H}^+$	8,53
$\text{HL}^{4-} \rightleftharpoons \text{L}^{5-} + \text{H}^+$	10,45

Для проведения эксперимента была приготовлена смесь, содержащая катионы кобальта и ДТПА мольного состава 1:1. В качестве растворителя использована дистиллированная вода. Полученная среда оказалась сильноокислой. В этой среде ДТПА может существовать в двух формах: нейтральной  $\text{H}_5\text{L}$  и анионной  $\text{H}_4\text{L}^-$ . В общем виде систему Co-ДТПА можно описать следующим уравнением:



Согласно этому равновесию, в сильноокислой среде при взаимодействии ионов кобальта с присутствующими формами ДТПА образуются комплексные частицы  $[\text{CoH}_4\text{L}]^+$  и  $[\text{CoH}_3\text{L}]^0$ . В таблице 2 представлены уравнения комплексообразования и соответствующие константы равновесия.

Таблица 2. Образование комплексных частиц при взаимодействии ДТПА с кобальтом в сильнокислой среде

$\text{Co}^{2+} + \text{H}_5\text{L} \rightleftharpoons [\text{CoH}_4\text{L}]^+ + \text{H}^+$	$K_1 = \frac{[\text{CoH}_4\text{L}]^+ \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_5\text{L}]}$
$\text{Co}^{2+} + \text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons [\text{CoH}_3\text{L}]^0 + \text{H}^+$	$K_0 = \frac{[\text{CoH}_3\text{L}]^0 \cdot [\text{H}^+]}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{L}^-]}$
$\text{Co}^{2+} + \text{H}_4\text{L}^- \rightleftharpoons [\text{CoH}_4\text{L}]^+$	$K_2 = \frac{[\text{CoH}_4\text{L}]^+}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{L}^-]}$

Для определения констант устойчивости классическим спектрофотометрическим методом, приведенным в литературных источниках, необходимо иметь индивидуальные спектры комплексных частиц [8], в данном случае нейтральной комплексной частицы и комплексной частицы с зарядом плюс один. Методика концентрационной УФ/Вид спектрофотометрии не требует получения таких спектров.

Согласно методике концентрационной спектрофотометрии, необходимо приготовить смеси Со-ДТПА мольного состава (1:1) с различными концентрациями  $C_i$ . Для каждого  $i$ -го раствора были сняты электронные спектры поглощения и на выбранной оптимальной длине волны  $\lambda_{\text{опт}}$  рассчитаны молярные коэффициенты поглощения  $\epsilon_i$ , используя закон БЛБ. В таблице 3 представлены значения  $\epsilon_i$  в зависимости от концентрации приготовленных растворов на  $\lambda_{\text{опт}} = 537$  нм. На рисунке 2 представлены полученные спектры поглощения смеси при различных концентрациях. Для снятия спектров поглощения применялись кварцевые кюветы с толщиной поглощающего слоя 10 см, спектры поглощения регистрировали в диапазоне от 200 до 900 нм.

Таблица 3. Растворы смеси Со(II)-ДТПА при различных молярных концентрациях

№ смеси	C (Со <sup>2+</sup> :ДТПА) (1:1), М	pH	A <sub>i</sub> , 537 нм	ε <sub>i</sub> , 537 нм	Предполагаемые формы ДТПА
1	8,75·10 <sup>-3</sup>	1,78	1,043	11,92	H <sub>5</sub> L H <sub>4</sub> L <sup>-</sup>
2	8,31·10 <sup>-3</sup>	-	0,998	12,01	
3	7,87·10 <sup>-3</sup>	-	0,978	12,42	
4	7,0·10 <sup>-3</sup>	-	0,874	12,49	
5	6,12·10 <sup>-3</sup>	-	0,771	12,59	
6	5,25·10 <sup>-3</sup>	1,88	0,667	12,70	

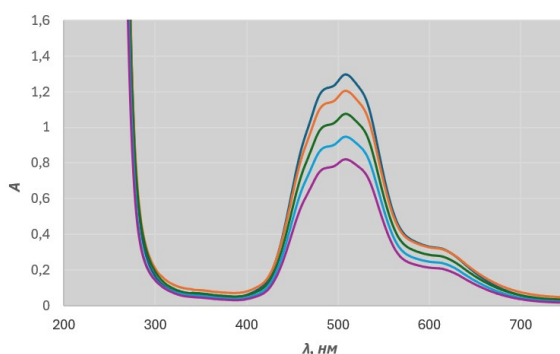


Рис. 2. Электронные спектры поглощения смеси Со(II):ДТПА мольного состава (1:1) при различных концентрациях

Известно, что от выбранной длины волны, при которой проводятся измерения, зависит погрешность спектрофотометрического метода. Поэтому оптимальную длину волны выбирали согласно методике, разработанной специально для метода концентрационной спектрофотометрии [9]. Для определения  $\lambda_{\text{опт}}$  использовали данные электронных спектров поглощения смеси, зарегистрированных при двух различных концентрациях обоих компонентов – начальной максимальной ( $C_{\text{max}}$ ) и конечной минимальной ( $C_{\text{min}}$ ). В качестве таких растворов рассматривали смеси Со-ДТПА мольного состава (1:1) с концентрациями компонентов 8,75·10<sup>-3</sup> М и 5,25·10<sup>-3</sup> М, соответствующими границам исследуемого

диапазона концентраций. Полученные спектры использовались для дальнейшей обработки, которая заключается в следующем: строят график зависимости различия молярных коэффициентов поглощения от длины волны и выбирают оптимальную длину волны  $\lambda_{\text{опт}}$ , на которой различие достигает максимума. Разность молярных коэффициентов светопоглощения двух спектров на каждой длине волны находят по формуле (1):

$$|\Delta\varepsilon| = \left| \frac{A_{\text{max}}(\lambda)}{C_{\text{max}} \times l} - \frac{A_{\text{min}}(\lambda)}{C_{\text{min}} \times l} \right| = \dot{\varepsilon} |\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}}| \quad (1)$$

где  $|\Delta\varepsilon|$  – разность молярных коэффициентов светопоглощения при определенной длине волны;  
 $A_{\text{max}}(\lambda)$  – оптическая плотность раствора при максимальной концентрации исследуемого вещества на определенной длине волны;

$C_{\text{max}}$  – максимальная концентрация исследуемого вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

$l$  – толщина поглощающего слоя, см;

$A_{\text{min}}(\lambda)$  – оптическая плотность раствора при минимальной концентрации исследуемого вещества на определенной длине волны;

$C_{\text{min}}$  – минимальная концентрация исследуемого вещества, моль/дм<sup>3</sup>;

$\varepsilon_{\text{max}}$  – экспериментально определяемый молярный коэффициент поглощения при  $A_{\text{max}}$  и  $C_{\text{max}}$ , дм<sup>3</sup>·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>;

$\varepsilon_{\text{min}}$  – экспериментально определяемый молярный коэффициент поглощения при  $A_{\text{min}}$  и  $C_{\text{min}}$ , дм<sup>3</sup>·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.

На рисунке 3(а) представлены полученные спектры смеси при максимальной и минимальной концентрации компонентов, на рисунке 3(б) – результаты обработки. В данном случае максимальное различие молярных коэффициентов поглощения наблюдается на длине волны 537 нм.

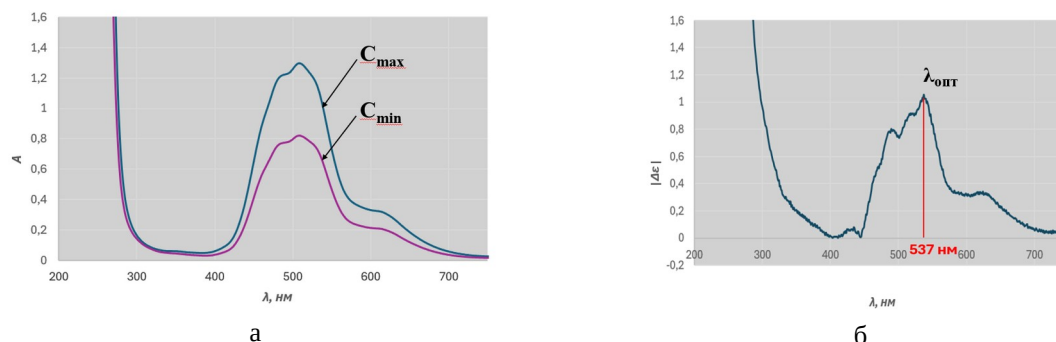


Рис. 3. Выбор длины волны  $\lambda_{\text{опт}}$  по разности молярных коэффициентов поглощения  $|\Delta\varepsilon|$  системы Co(II)-ДТПА в водном растворе при концентрациях: 1 –  $C_{\text{max}} = 8,75 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> и 2 –  $C_{\text{min}} = 5,25 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>

По полученным экспериментальным данным  $A_i = f(C_i)$  при  $\lambda_{\text{опт}}$  (таблица 3) с применением программы Mathcad были рассчитаны константы равновесия  $K_1$ ,  $K_0$ ,  $K_2$  (таблица 2) для системы Co-ДТПА мольного состава (1:1) в кислой среде и определены десятичные логарифмы констант устойчивости  $\lg\beta$ . Полученные результаты для комплексного иона  $[\text{CoH}_4\text{L}]^+$  хорошо согласуются с литературными данными. Стоит отметить, что литературное значение  $\lg\beta = 30,18$  было получено при ионной силе  $I = 0,1$  М, а в настоящей работе  $I \rightarrow 0$ , так как метод концентрационной спектрофотометрии не требует добавления фоновых электролитов. Кроме того, впервые было определено значение  $\lg\beta$  для нейтральной комплексной частицы  $[\text{CoH}_3\text{L}]^0$ , для которой в литературе отсутствуют экспериментальные данные (таблица 4).

Таблица 4. Константы устойчивости комплексов в системе Co - ДТПА при 25 °С, определенные методом концентрационной УФ/Вид спектрофотометрии.

Комплекс	$\lg\beta$	$\lg\beta$ (литература) [10]
$[\text{CoH}_4\text{L}]^+$	28,74	30,18
$[\text{CoH}_3\text{L}]^0$	26,73	–

Полученные результаты подтверждают применимость концентрационной спектрофотометрии для изучения не только кислотно-основных, но и комплексных равновесий. Метод не требует, как информации

об индивидуальном спектре какой-либо из прототропных форм в случае изучения кислотно-основных равновесий, так и информации об индивидуальном спектре какой-либо из комплексных форм в случае изучения комплексных равновесий, что позволяет получать значения молярных коэффициентов поглощения равновесных частиц без использования концентрированных растворов кислот или щелочей, что делает его особенно полезным для исследования сложных равновесий.

### Список литературы

1. Мельникова Ю. В., Скрипникова Т. А., Лысова С. С. [и др.]. Константы протолитических равновесий 1-замещенных тетразол-5-тиолов в водных растворах // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2017. № 41 (67). С. 67–70.
2. Лысова С. С., Скрипникова Т. А., Зевацкий Ю. Э. Алгоритм расчета констант диссоциации амфолитов в небуферных системах // Журнал физической химии. 2018. №5 (92). С. 755–759.
3. Лысова С. С., Скрипникова Т. А., Зевацкий Ю. Э. Алгоритм расчета констант протолитических равновесий в изопропиловом спирте // Журнал физической химии. 2021. №9 (95) С. 1370–1374.
4. Зевацкий Ю. Э. [и др.]. Закон Бугера–Ламберта–Бера. Спектрофотометрия в растворах электролитов // Журнал физической химии. 2024. №2 (98). С. 84–91.
5. Ахмадалиева Н. Д. Роль комплексных соединений и применение в медицине // Экономика и социум. 2023. № 12 (115). С. 1351–1354.
6. Ковтун В. Ю., Гладких В. Д., Давидович Ю. А. [и др.] К вопросу об использовании лекарственных форм пентацина и цинкацина // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2015. № 1 (60). С. 45–53.
7. Чистякова Г. В., Кокиаров С. А. Взаимодействие диэтилентриаминпентауксусной кислоты с конго красным и метиловым оранжевым в водном растворе // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2006. № 11 (49). С. 18–20.
8. Segoviano-Garfias J. J. N. Spectrophotometric determination of formation constants of Iron (III) complexes with several ligands // Chemistry. 2022. № 3 (4). С. 701-716.
9. Скрипникова Т. А. [и др.] Проблема выбора аналитической длины волны при спектрофотометрическом исследовании равновесий в растворах // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2024. №68 (94). С. 3–9.
10. Файди А. Г. [и др.] Моделирование равновесий комплексообразования кобальта (II) с диэтилентриаминпентауксусной кислотой в водных растворах // Химическая физика и мезоскопия. 2014. № 3 (16). С. 461–465.

### References

1. Mel'nikova Ju. V., Skripnikova T. A., Lysova S. S. [i dr.]. Konstanty protoliticheskikh ravnovesij 1-zameshhennyh tetrazol-5-tiolov v vodnyh rastvorah [Constants of protolytic equilibria of 1-substituted tetrazole-5-thioles in aqueous solutions] // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehničeskogo universiteta)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)]. 2017. № 41 (67). S. 67–70.
2. Lysova S. S., Skripnikova T. A., Zevackij Ju. Je. Algoritm rascheta konstant dissociacii amfolitov v nebufernyh sistemah [Algorithm for Calculating the Dissociation Constants of Ampholytes in Nonbuffer Systems]// *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2018. №5 (92). S. 755–759.
3. Lysova S. S., Skripnikova T. A., Zevackij Ju. Je. Algoritm rascheta konstant protoliticheskikh ravnovesij v izopropilovom spirte [Algorithm for Calculating the Protolytic Equilibrium Constants of Organic Acids in Isopropyl Alcohol] // *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2021. №9 (95) S. 1370–1374.
4. Zevackij Ju. Je. [i dr.]. Zakon Bugera–Lamberta–Bera. Spektrofotometrija v rastvorah jelektrolitov [Bouguer–Lambert–Beer Law of Absorption: Spectrophotometry in Electrolyte Solutions] // *Zhurnal fizicheskoj himii* [Russian Journal of Physical Chemistry]. 2024. №2 (98). S. 84–91.
5. Ahmadaliev N. D. Rol' kompleksnyh soedinenij i primenenie v medicine [The role of complex compounds and their application in medicine] // *Jekonomika i socium* [Economy and society]. 2023. № 12 (115). S. 1351–1354.
6. Kovtun V. Ju., Gladkih V. D., Davidovich Ju. A. [i dr.] K voprosu ob ispol'zovanii lekarstvennyh form pentacina i cinkacina [On the issue of using medicinal forms of pentacin and zincacin]

- and zincacin] // *Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost'* [Medical Radiology and Radiation Safety]. 2015. № 1 (60). S. 45–53.
7. Chistjakova G. V., Koksharov S. A. Vzaimodejstvie dijetilentriaminpentauksusnoj kisloty s kongo krasnym i metilovym oranzhevym v vodnom rastvore [Interaction of diethylenetriaminepentaacetic acid with Congo red and methyl orange in aqueous solution] // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Himija i himicheskaja tehnologija* [News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology]. 2006. № 11 (49). S. 18–20.
8. Segoviano-Garfias J. J. N. Spectrophotometric determination of formation constants of Iron (III) complexes with several ligands // *Chemistry*. 2022. № 3 (4). С. 701-716.
9. Skripnikova T. A. [i dr.] Problema vybora analiticheskoj dliny volny pri spektrofotometricheskom issledovanii ravnovesij v rastvorah [Problem of analytical wavelengths choice in the spectrophotometric investigation of equilibria in solutions] // *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehničeskogo universiteta)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)]. 2024. №68 (94). S. 3–9.
10. Fajdi A. G. [i dr.] Modelirovanie ravnovesij kompleksoobrazovanija kobal'ta (II) s dijetilentriaminpentauksusnoj kislotoj v vodnyh rastvorah [Modeling of equilibria of cobalt(II) complexation with diethylenetriaminepentaacetic acid in aqueous solutions] // *Himicheskaja fizika i mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy]. 2014. № 3 (16). S. 461–465.

УДК 004.921

**А. И. Киселев**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **СРАВНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ И УЛУЧШЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИГРОВЫХ 3D-РЕСУРСОВ**

© А. И. Киселев, 2026

*Стремительное развитие искусственного интеллекта и нейронных сетей открыло широкие возможности для оптимизации процессов создания 3D-объектов. Однако интеграция технологий, основанных на ИИ, в устоявшиеся рабочие процессы разработки игр сопряжена как с техническими, так и с организационными трудностями. Основная цель этой статьи - провести систематический обзор современной литературы о гибридных конвейерах, которые объединяют традиционные методы 3D-производства с инструментами, улучшенными искусственным интеллектом. Используя методологию PRISMA 2020, мы проанализировали рецензируемые публикации, полученные из Scopus и организованные через Zotero, чтобы определить ключевые модели интеграции, преимущества и ограничения внедрения искусственного интеллекта на разных этапах разработки. Наши результаты показывают, что подходы, основанные на искусственном интеллекте, демонстрируют особую эффективность на определенных этапах, таких как создание первоначальной концепции и синтез текстур, сохраняя при этом важную роль художественного руководства человеком на протяжении всего процесса. Кроме того, мы предлагаем сравнительную схему, которая описывает традиционные, полугибридные и полностью интегрированные конвейеры с использованием искусственного интеллекта. Результаты этого систематического обзора являются практическим руководством для студий, рассматривающих возможность внедрения искусственного интеллекта, и указывают на будущие направления исследований, необходимые для улучшения взаимодействия ИИ и человека при создании 3D-объектов.*

**Ключевые слова:** конвейер трехмерных ресурсов, искусственный интеллект, нейронные сети, разработка игр, систематический обзор, гибридные рабочие процессы.

**A. I. Kiselev**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **COMPARING TRADITIONAL AND AI-ENHANCED PIPELINES FOR GAME-READY 3D ASSETS**

*The rapid advancement of artificial intelligence and neural networks has introduced significant opportunities for optimising 3D asset production pipelines. However, integrating AI-driven techniques into established game development workflows presents both technical and organisational challenges. The primary objective of this paper is to conduct a systematic review of the contemporary literature on hybrid pipelines that integrate traditional 3D production methods with AI-enhanced tools. Employing PRISMA 2020 methodology, we analyzed peer-reviewed publications sourced from Scopus and organized through Zotero to identify key integration patterns, advantages, and limitations of AI implementation at different pipeline stages. Our findings indicate that AI-enhanced approaches demonstrate particular effectiveness in specific phases, such as initial concept generation and texture synthesis, while maintaining the critical role of human artistic direction throughout the process. Additionally, we propose a comparative framework that delineates traditional, semi-hybrid, and fully integrated AI-enhanced pipelines. The results of this systematic review provide practical guidance for studios considering AI adoption and highlight future research directions necessary for improving AI-human collaboration in 3D asset creation.*

**Keywords:** 3D asset pipeline, artificial intelligence, neural networks, game development, systematic review, hybrid workflows.

### **Problem Context and Motivation**

Recent developments in neural networks and artificial intelligence technologies are increasingly focused on optimisation and improving creative pipelines. One of the most difficult and time-consuming processes of creating digital content is creating 3D assets for games. 3D pipeline includes high-poly modeling, retopology, UV

unwrapping, texturing, rigging, importing the model in the game engine, and rendering, all of which demand specialised knowledge and a significant amount of manpower. Lei et al. (2025) characterized this process as a "cornerstone of modern game development," long characterized by labor-intensive and specialized workflows. [1]

Despite considerable advancements in traditional content production methodologies, automating repetitive tasks and reducing production time while maintaining image quality and artistic intent are arguably critical goals. The problem is exacerbated by the growing need for volumetric content in games, virtual reality, digital marketing, and even metaverse-related applications. Begemann and Hutson (2024) noted that "generative AI tools hold significant promise for transforming game development, "yet there is a need to "successfully overcome technical challenges and gain widespread acceptance in the game development community." This problem has therefore led to considerable efforts in finding hybrid solutions that incorporate these tools to support, rather than replace, human creativity. [2]

### **Rise of AI-Enhanced Workflows**

In recent years, a variety of AI and neural network-based technologies has been developed to address the limitations in the traditional pipelines. This includes, but is not limited to, text-to-3D generation models such as ProlificDreamer (Wang et al., 2023) and Text2NeRF (Zhang et al., 2024). Image-to-3D models such as Direct3D (Wu et al., 2024) and SV3D (Voleti et al., 2024). Neural style transfer models for generating materials and textures, including PBR-related models such as TexGaussian (Xiong et al., 2025), DreamMat (Zhang et al., 2024), and Paint-it (Youwang et al., 2024). Automated retopology generation systems, as studied in Lei et al. (2024) in their survey on intelligent mesh generation. Intelligent rigging models, as surveyed by Mouroto et al. (2022). Finally, neural rendering models for real-time rendering, such as BakedAvatar (Duan et al., 2023).

The efficacy of these AI models, i.e., their usefulness, their areas of use, and the conditions under which these models would be effective while maintaining the quality of the output at a professional level, remains a topic that has not yet been fully explored. Ternar et al. (2025) state that "GenAI primarily supports early-stage ideation and human-in-the-loop refinement rather than autonomous creation, with benefits highly contingent on pipeline fit, governance, and provenance." Moreover, the optimal way to use these models in the traditional pipelines remains a topic that has not yet been fully explored in the peer-reviewed literature. [4]

### **Research Gap and Purpose**

The main purpose of this study was to systematically map and compare traditional models with AI-based models in terms of their efficacy, usefulness, and applicability. While there have been studies that have examined the efficacy of AI models for specific uses, such as the use of generative AI models for creating game characters, as studied by Wu et al. (2025), there remains a gap in terms of a comprehensive model that studies how these models work in conjunction with traditional models for creating multiple assets in a 3D environment. Gallotta et al. (2024) examined the connection between extensive language models and games. However, a deficiency persists regarding the application of these models in generating multiple assets within a conventional pipeline. This study was undertaken for the subsequent reasons:

1. To do a systematic review of published research on AI integration in 3D asset production (using PRISMA 2020 standards) to find out what is known about each stage of the pipeline and the technologies used.
2. To create a framework comparison traditional and AI-enhanced methods on different levels, including speed, quality, controllability, and time needs.
3. To combine the results into useful suggestions for studios and researchers about when and how to use AI tools in production workflows.

Our goal is to look into the following questions:

RQ1: What parts of the 3D asset production pipeline are most often said to be improved or augmented by AI and neural network techniques in recent research?

RQ2: What are the efficiency advantages of using an AI pipeline over a traditional one, especially in artistic control?

RQ3: What patterns of integration and best practices can be found in the literature for combining traditional 3D tools and AI models while still getting professional quality results?

### **Structure of the Paper**

With PRISMA 2020 guidelines, the search strategy, inclusion and exclusion criteria, and data extraction techniques in accordance are all described in the Methods section of the systematic review protocol. The results of the literature review are presented in the Results section, along with comparative metrics from existing studies and a descriptive analysis of pipeline stages and AI technologies used. These findings, discussing their limitations, and offering implications for future research practice, are covered in the Discussion section. The Conclusion concludes by summarising the most important findings and suggestions.

### **Overall Study Design**

This study has a systematic review of academic literature on AI-enhanced pipelines for 3D asset development. This strategy strikes a balance between methodological accuracy and adaptability, which is crucial in a diverse field like emerging technologies. This study is similar to a recent systematic review by Ternar et al. (2025), who used meta-ethnography and the PRISMA-S protocol to guide their qualitative synthesis on the use of generative AI in game development. They found nine main themes regarding this use. [5]

### **Literature Search Strategy**

A structured search was performed across the Scopus database using combinations of core search terms: "3D asset" OR "3D model" OR "3D pipeline" OR "asset production" AND ("AI" OR "artificial intelligence" OR "neural network" OR "deep learning" OR "machine learning" OR "generative") AND ("game" OR "real-time" OR "game engine" OR "interactive").

The research included publications from 2015 to 2025 (most of them are relevant ones starting from 2019 to capture the “AI boom”). Results were exported to Zotero for management and screening. This approach aligns with established bibliometric practices for systematic reviews, where citation databases are queried and results are organised into structured formats for analysis. [6]

### **Inclusion and Exclusion Criteria**

To attain our aim, we established explicit inclusion criteria.

Works were included if they:

- Addressed the creation, processing, optimization, or evaluation of 3D models or assets intended for games or real-time environments.
- Described either a complete production pipeline or a clearly delineated pipeline stage (modeling, texturing, retopology, rigging, LOD generation, rendering).
- Reported on the application of AI, machine learning, neural networks, or deep learning techniques to one or more pipeline steps.
- Were published as peer-reviewed journal articles, peer-reviewed conference proceedings, or systematic reviews in English.

Studies were excluded if they:

- Focused exclusively on offline VFX, film production, or scientific visualization without demonstrated applicability to game-ready assets.
- Presented only theoretical algorithms without demonstrable implementation or case studies.
- Lacked sufficient methodological detail or quantitative/qualitative evidence regarding the proposed approach.
- Were duplicates or earlier versions of more comprehensive publications.

### **Study Selection and Data Extraction**

For the systematic review there was study selection. For instance, titles and abstracts were assessed for inclusion criteria. A PRISMA 2020 flow chart diagram is provided to describe the study selection. The PRISMA flow chart shows the number of studies identified, screened, and included for the final review. Moreover, it shows why certain studies were excluded at various stages of the selection process [7], [8], [9].

We extracted the following information from each included study: basic bibliographic details, the 3D pipeline stage(s) examined, the AI methods used, any reported comparative results, technical output characteristics (such as polygon counts, texture resolutions, and real-time performance), as well as the authors stated strengths, limitations, and our own quality appraisal notes.

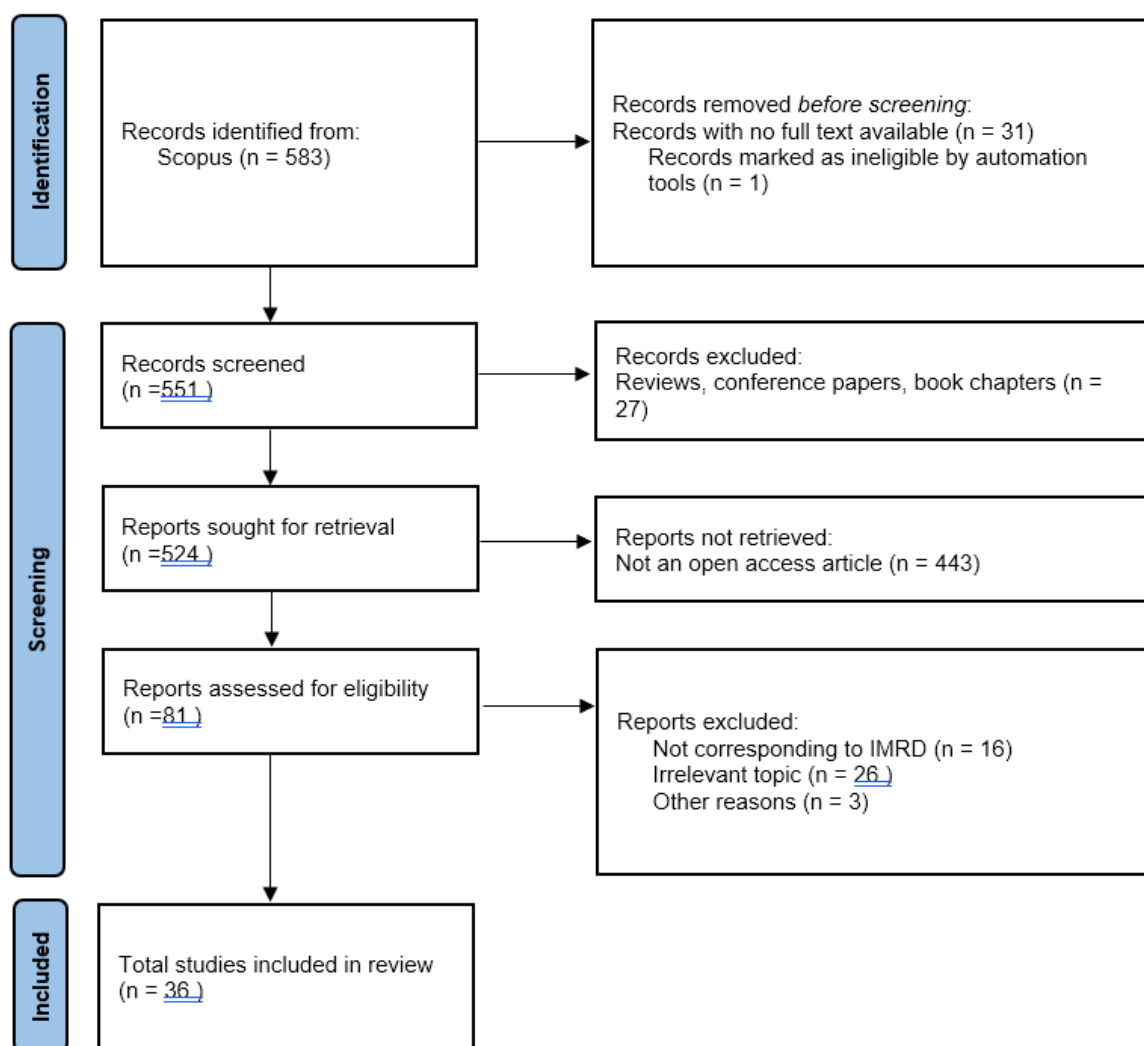
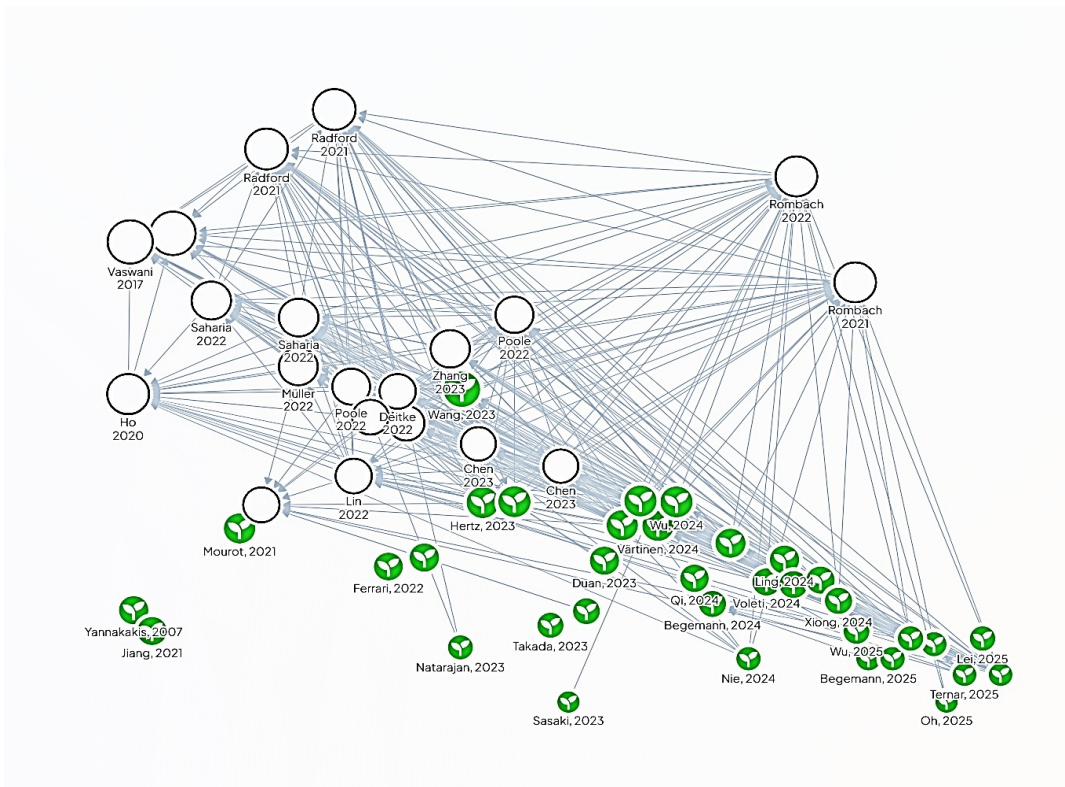


Figure 1. PRISMA 2020 flow diagram illustrating the study selection process.

### Analysis of Citation Networks

Some of the final studies for the systematic review underwent a citation network analysis in addition to the systematic review procedure. Relationships between included studies based on citations were examined using the Litmaps visualization tool to find connections between authors and their publications for a more thorough comprehension of the topic. [10]



**Figure 2.** Citation network of included studies, generated using Litmaps.

Green-colored nodes are for seed papers, which are represented by the research articles included in the review, while white-colored, hollow nodes are for suggested papers, which are established through citation relationships. The thickness of each line indicates a direct relationship between research articles, while the size of each node is related to the number of citations received, and proximity is related to similarities between research topics. A dense cluster of foundational papers on diffusion-based generation, including Rombach (2021-2022), Radford (2021), Vaswani (2017), and Ho (2020), and a cluster of methodological papers on 3D generation and texture synthesis, including Zhang (2023), Wang (2023), Chen (2023), Poole (2022), and Lin (2022), are shown in the visualization. A smaller cluster on game development and PBR material research, published between 2024 and 2025, is also visible, including Wu (2024), Ling (2024), Begemann (2024), Xiong (2024), Lei (2025), and Oh (2025). This is a clear sign of a shift in AI enhanced research on 3D game assets, from foundational model development to application-oriented pipeline development for game production. [10]

Furthermore, this graph indicates a clear temporal progression, whereby foundational papers published earlier, represented by white-colored, hollow nodes at the top of the graph, such as Vaswani et al. (2017), who developed the Transformer model, Ho et al. (2020), who developed denoising diffusion probabilistic models, and Rombach et al. (2021, 2022), who developed latent diffusion, are well-connected to newer, applied research papers, while more recent research, such as Lei et al. (2025), on Hunyuan3D Studio, and Begemann and Hutson (2025), on copyright for AI-enhanced game design, cite a wide range of foundational and applied research, indicating a maturation of this interdisciplinary research area [3], [1].

### Search Results and Study Characteristics

Search results are 35 publications from 2007 to 2025 was found through a systematic search, the majority (more than 75%) were published between 2023 and 2025, indicating the sharp increase in research activity in AI-enhanced 3D asset creation. The included studies include arXiv that discuss cutting controversial techniques in mesh optimization, texture synthesis, and 3D generation, as well as journal articles from publications like IEEE Transactions on Games, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, ACM Transactions on Graphics, Electronics, and Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence [3].

### Traditional Pipelines for Game-Ready 3D Assets

Traditionally, a proven sequential pipeline is used to create 3D assets. According to Begemann and Hutson (2024), the standard procedure starts with concept art, then moves on to high-polygon sculpting using ZBrush, UV unwrapping, retopology to produce optimized low-polygon meshes, manual texture painting, rigging, and skinning, and finally integrating the assets into a real-time game engine like Unreal Engine 5.

Depending on the complexity of the assets, each of these processes, which call for domain-specific skills, may take days or even weeks [2], [11].

**AI-Enhanced Stages of the Pipeline**

Analysis of the included studies shows that AI have been applied across several stages of the 3D asset pipeline, though with varying effectiveness.

AI tools have shown that the strongest impact is in the earliest stages of asset creation. Alharthi (2025) found through a mixed-method study (n=42 survey, n=9 interviews) that "generative AI accelerates idea, enhances prototyping, and automates repetitive tasks, " while also raising "concerns about originality, creative dependency, and undermining of human-authored content". Ling et al. (2024) developed Sketchar, a GenAI tool that allows game designers to prototype characters, demonstrating that "reference images generated in co-creating with Sketchar fostered refinement of design details and can be incorporated into real-world workflows". Similarly, Liu et al. (2025) explored cross-modal AIGC integration within Unity3D, achieving an inception score of 8.95 and an FID of 20.1, indicating high diversity and image quality for generated game art [3].

**Comparison**

Based on the analysis, the following framework in Table 1 categorizes the spectrum of pipeline approaches.

Table 1 Comparative framework

Dimension	Traditional Pipeline	Semi-Hybrid Pipeline	Fully AI-Enhanced Pipeline
Concept Art	Manual sketching and painting	AI-generated references refined by artists (Ling et al., 2024) [3]	Text-to-image with minimal editing (Alharthi, 2025) [3]
3D Modeling	Manual sculpting (ZBrush, Blender)	AI draft + manual retopology (Begemann & Hutson, 2024) [2]	End-to-end generation (Lei et al., 2025) [1]
Texturing/Materials	Manual painting (Substance Painter)	AI PBR generation + artist refinement (Zhang et al., 2024) [3]	Automated PBR synthesis (Xiong et al., 2025) [3]
Animation	Keyframe animation, mocap cleanup	Deep learning motion synthesis + manual editing (Mourot et al., 2022) [3]	Neural avatar synthesis (Duan et al., 2023) [3]
Quality Control	Full manual QA	Hybrid Human-AI evaluation	Requires significant human oversight [4]
Production Speed	Baseline (days-weeks per asset)	30-60% time reduction on select stages [2]	Minutes for initial generation. Hours with refinement [1]
Artistic Control	Full control	High control with AI acceleration	Limited initial control.

**Discussion**

The literature shows that AI tools have the highest level of influence during the terminal stages of game asset creation concept ideation during the initial stage and texture creation during the final stage while the human factor still plays a vital role during the intermediate stages of asset creation retopology, rigging, and optimization of game engines. This can also be inferred from Ternar et al.'s (2025) study on the influence of GenAI tools on game development. The authors found that GenAI tools are “primarily an early-stage ideation scaffold, not autonomous authorship.” Moreover, the development stage of the game asset also determines the level of influence of AI tools on the game development process. The development of tools such as Hunyuan3D Studio (Lei et al., 2025) indicates the potential for AI tools to play a more vital role in the future. However, currently, AI tools are still dependent on human expertise to create game assets. Begemann and Hutson (2024) also found that AI tools are highly effective during the initial stage of game development – concept ideation – yet creating optimized high-quality game assets such as 3D models for game development – particularly concerning mesh topology, UV layout, and optimization for real time engines – remains a challenge for AI tools.

Ferrari and McKelvey (2023) provide a more general theoretical perspective on the issue, defining the rise of generative models as “hyperproduction,” a social process in which the sheer volume of AI-created content changes the dynamics of creative production. This has obvious implications for game development studios, in which filtering AI created content may be just as costly as creating it in the first place [3].

**Copyright and Legal Considerations**

Moreover, copyright considerations are growing significantly. Begemann and Hutson (2025) examined a number of numerous cases, like Andersen v. Stability AI and Zarya of the Dawn, which brought attention to the

conflict between AI outputs and copyright eligibility. The authors proposed that better metadata standards and Human AI creation models could aid in bridging the gap between copyright regulations and AI-driven innovations [3].

### Limitations

The current review has a number of problems. The main thing is that the scope is limited to English-language publications that are indexed in Scopus. This could mean that grey literature, journals that aren't indexed, and works that aren't in English are left out. Also, the quality and methodological rigour of the studies included varies a lot. This is a problem that Ternar et al. (2025) also noted when they looked at GenAI game development research and found that "more than half of the studies exhibit moderate to severe meta-methodological flaws." Quantitative synthesis is additionally constrained by the heterogeneity of reported metrics. Limited number of studies utilize standardized benchmarks, thereby complicating direct performance comparisons among various AI methodologies. Because the field is changing so quickly, some results may not be relevant for long. This is because new tools and models are coming out faster and faster [4].

### Conclusion

The challenge of producing high-quality 3D assets for games quickly while still keeping artistic control and professional standards is still a big one in the creative industries. This systematic review offers evidence-based recommendations regarding the optimal areas for AI integration: concept generation, PBR material synthesis, and initial 3D shape generation demonstrate the most advanced and promising AI-enhanced methodologies. For fine-grained topology control, game-engine-specific optimization, and nuanced artistic direction, traditional methods are still better.

### References

- 1) Alharthi, S. A. (2025). Generative AI in game design: Enhancing creativity or constraining innovation? // *Journal of Intelligence*, 13(6), 60. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13060060>.
- 2) Begemann, A., & Hutson, J. (2024). *Empirical insights into AI-assisted game development: A case study on the integration of generative AI tools in creative pipelines*. *Metaverse*, 5(2), 2568. <https://doi.org/10.54517/m.v5i2.2568>.
- 3) Begemann, A., & Hutson, J. (2025). Navigating copyright in AI-enhanced game design: Legal challenges in multimodal and dynamic content creation // *Journal of Information Economics*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.58567/jie03010001>.
- 4) Buongiorno, S., Klinkert, L., Zhuang, Z., Chawla, T., & Clark, C. (2024). PANGeA: Procedural artificial narrative using generative AI for turn-based, role-playing video games // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 20(1), 156–166. <https://doi.org/10.1609/aiide.v20i1.31876>.
- 5) Chen, Z., Wang, Y., Sun, W., Wang, F., Chen, Y., & Liu, H. (2025). *MeshGen: Generating PBR textured mesh with render-enhanced auto-encoder and generative data augmentation*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.04656>.
- 6) Duan, H., Wang, M., Shi, J., Chen, X., & Cao, Y. (2023). BakedAvatar: Baking neural fields for real-time head avatar synthesis. *ACM Transactions on Graphics*, 42(6), 1–17. <https://doi.org/10.1145/3618399>.
- 7) Farrokhi Maleki, M., & Zhao, R. (2024). Procedural content generation in games: A survey with insights on emerging LLM integration // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 20(1), 167–178. <https://doi.org/10.1609/aiide.v20i1.31877>.
- 8) Ferrari, F., & McKelvey, F. (2023). Hyperproduction: A social theory of deep generative models // *Distinktion: Journal of Social Theory*, 24(2), 338–360. <https://doi.org/10.1080/1600910X.2022.2137546>.
- 9) Gallotta, R., Todd, G., Zammit, M., Earle, S., Liapis, A., Togelius, J., & Yannakakis, G. N. (2024). Large language models and games: A survey and roadmap // *IEEE Transactions on Games*, 1–18. <https://doi.org/10.1109/TG.2024.3461510>.
- 10) Hertz, A., Aberman, K., & Cohen-Or, D. (2023). *Delta denoising score*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07090>.
- 11) Lei, B., Li, Y., Liu, X., Yang, S., Xu, L., Huang, J., Tang, R., Weng, H., Liu, J., Xu, J., Zhou, Z., Zhu, Y., Xing, J., Xu, J., Ma, C., Yan, X., Yang, Y., Wang, C., Xu, D., Ma, X., Chen, Y., Li, J., Yang, M., Zhang, S., Feng, Y., Huang, X., Luo, D., He, Z., Jiang, P., Hu, C., Qin, Z., Miao, S., Liu, H., Zhao, Y., Lai, Z., Lin, Q., Zhao, Z., Li, K., Yang, X., Shi, H., Yang, X., Wang, Y., Yao, Z., Lian, Y., Liu, S., Han, X., Qin, W., Ouyang, C., Liu, J., Yuan, T., Jiang, S., Duan, H., Niu, Y., Lin, W., Sun, Y., Huang, S., Niu, L., Gong, G., Xiao, G., Zheng, B., Yuan, X., Chen, Q., Xiao, J., Zheng, D., Yang, X., Liu, K., Zhu, J., Wang, L., Lu, Q., Liu, J., Dong, L., Jiang, F., Chen, R., Wang, L., Zhang, C., Lin, J., Zhang, H., Ye, Z., He, P., Wu, R., Wu, Y., Du, J., Chen, J., Mao, X., Guo, D., Tang, Y., Tsai, Y., Tan, Y., Yu, J., Yu, J., Zhang, K., Li, Y., Chen, P., Liu, T., Wang, D., Liu, Y., Linus, Jiang,

J., Chen, Z., & Guo, C. (2025). *Hunyuan3D Studio: End-to-end AI pipeline for game-ready 3D asset generation*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2509.12815>.

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of Information and Control Systems, Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences A. A. Zhikhareva*  
*Научный руководитель: доцент кафедры информационных и управляющих систем, доцент, кандидат физико-математических наук А. А. Жихарева*

УДК 004.92

**Р. А. Беспалов**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОЛИГОНАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ**

© Р. А. Беспалов, 2026

*Данная статья исследует сознательное использование низкополигональных 3D-моделей в современных компьютерных играх, выходя за рамки простого объяснения технической необходимостью. Проведен комплексный анализ трех ключевых аспектов: формирование уникальной эстетики и художественного высказывания, влияние на производительность и оптимизацию, а также особенности целевой аудитории, привлекаемой данным стилем.*

**Ключевые слова:** низкополигональное моделирование, 3D-моделирование, стилизованная графика, игровая эстетика, оптимизация производительности, инди-игры, игровая разработка, игровые ассеты.

**R. A. Bespalov**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **THE USE OF LOW-POLY 3D MODELS IN CONTEMPORARY VIDEO GAMES**

*This article examines the deliberate use of low-poly 3D models in contemporary video games, moving beyond explanations based solely on technical necessity. A comprehensive analysis of three key aspects is conducted: the formation of a distinctive aesthetic and artistic expression, the impact on performance and optimization, and the characteristics of the target audience attracted by this visual style.*

**Keywords:** low-poly, 3D modeling, stylized graphics, game aesthetics, performance optimization, indie games, game development, game assets.

Low-polygon modeling first emerged as a response to the hardware constraints of the late 20th and early 21st centuries. Yet as graphics hardware grew powerful enough to render models with tens of millions of polygons and near-photographic realism, the low-poly approach did not fade away. Instead, it took on a new life as a conscious artistic choice, finding a stable niche in the modern game industry – most prominently in the indie sector. Beyond the question of technical constraints and visual style, the decision to use low-poly models (Figure 1) is also shaped by the realities of production: in many projects, reducing polygon counts frees developers to concentrate on gameplay, mechanics, and atmosphere rather than geometry [1].

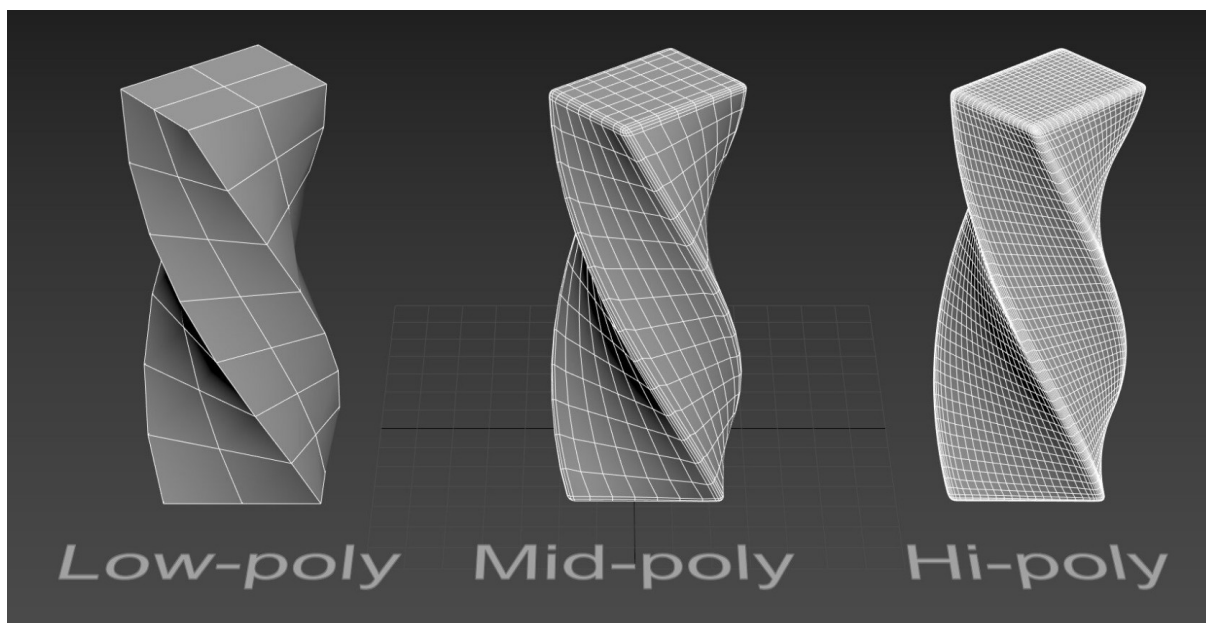


Figure 1: The difference between Low-poly, Mid-poly, and High-poly models. (Source: [dzen.ru](https://dzen.ru))

Two early titles stand out as particularly influential examples of low-poly aesthetics used with clear artistic intent: *Minecraft*, whose block-based world made geometric simplicity a core feature rather than a compromise, and *Totally Accurate Battle Simulator* (Figure 2), which showed that limited polygon counts could serve genuinely expressive purposes. Both games demonstrated that visual minimalism is not a drawback – it can be the defining quality of a project. Working within tight polygon budgets pushed designers toward clarity of form and considered use of color, producing worlds that were visually coherent and instantly recognizable. This set a precedent that later developers could draw on and build upon.



Figure 2: Screenshot from the *Totally Accurate Battle Simulator* game. (Source: [pinterest.com](https://pinterest.com))

Against this backdrop, examining the low-poly approach has clear value for anyone seeking to understand where the game industry is heading. This article sets out to describe how low-poly 3D models are used in practice and to assess how they affect both the development process and the way players respond to games that rely on this type of graphics.

Low-poly 3D modeling produces three-dimensional objects using a comparatively small number of polygons. The goal is to capture the shape and character of an object through its silhouette and proportions, without

resorting to dense geometry. What began as an engineering necessity has since become a deliberate creative and production tool. In contemporary games, low-poly serves as the foundation for a coherent visual identity. Its aesthetic strengths are straightforward: forms read clearly, the look is immediately recognizable, and the project can develop a style that belongs distinctly to it. Keeping geometry simple makes it easier to maintain a consistent visual language and to prevent scenes from becoming cluttered – an important consideration when you want players’ attention on what actually matters for navigation and gameplay. This kind of stylization can generate a strong atmosphere, whether that means the warmth of nostalgia or a spare, unsettling minimalism. Abstract shapes invite players to fill in the gaps with their own imagination. In a crowded market, that distinctive look can become the mark of a studio, setting a project apart from everything else on the shelf.

One of the most recognizable features of the low-poly visual language is the deliberate use of flat shading and simplified lighting. Where photorealistic rendering depends on detailed normal maps and physically based rendering (PBR) pipelines to simulate surface texture, low-poly work tends toward flat-shaded polygons or cel-shading (Figure 3). The resulting faceted look – with individual polygon faces clearly visible – has become a hallmark of the style. Because there is less geometry to carry expressive weight, color and composition must do more of the work, and low-poly artists typically approach their palettes with particular care. Whether the choice runs toward vibrant, saturated tones or restrained, muted ones, color can communicate mood and narrative setting efficiently, making up for the absence of fine surface detail through contrast and chromatic relationships.



Figure 3: Different lighting and shading methods. (Source: [pinterest.com](https://www.pinterest.com))

On the technical side, lower polygon counts translate directly into better performance. Fewer polygons mean less work for the CPU and GPU, so optimized meshes can be deployed across dense scenes without the risk of frame rate collapse. Loading times drop, more objects can be on screen at once, and the overall experience runs more smoothly. These gains matter for cross-platform reach as well. Games built on low-poly graphics tend to have modest system requirements, which makes them a natural fit for mobile devices, browser-based platforms, portable consoles, and older hardware – all of which represent substantial potential audiences.

The benefits go further at the rendering pipeline level too. Low-poly meshes usually need fewer texture atlases and simpler materials, which makes batching draw calls easier and cuts down memory bandwidth usage. This is especially important in open-world games or procedurally generated environments, where a lot of objects have to be rendered at once. Simpler meshes also take up less VRAM, and that matters when you are targeting mid-range or low-end hardware. All of these things together let developers keep frame rates stable on weaker platforms without having to rely too heavily on culling or complicated asset streaming.

Low-poly assets are also considerably faster to produce than high-detail ones, and that difference shows up in both development time and budget. Because the underlying geometry is simpler, every downstream task – UV unwrapping, texturing, rigging, animation, engine integration – moves more quickly and with fewer technical complications. Teams can iterate faster, test new mechanics sooner, and pivot when something is not working. For these reasons, low-poly modeling has become the standard approach for rapid prototyping, for educational projects, and for small studios where every hour counts.

Smaller file sizes bring practical advantages in version control as well. Low-poly assets move through Git or Perforce pipelines faster, diffs are easier to read, and build times come down – all of which reduces the overhead of continuous integration workflows. The relative simplicity of the assets also makes them easier to review and maintain as a project matures. When a design direction changes, reworking a low-poly model costs far less than resculpting a high-resolution mesh built from tens of thousands of polygons or revising a photogrammetric scan.

The style is also easier to get into for artists who are just starting out in 3D, and it can help a new team settle on a shared visual direction without too much back and forth. In education it works particularly well as a starting point – students can go through the whole pipeline, from sketch to a finished game-ready asset, in a reasonable amount of time, and they can focus on learning the basics rather than getting stuck on technical problems [2].

The accessibility of low-poly is also supported by the tools available for it. Blender is open-source and comes with everything you need – polygon reduction, modifier-based simplification, UV editing – at no cost. Platforms like Sketchfab, itch.io, and the Unity Asset Store have large collections of ready-made low-poly assets that developers can pull from instead of building everything themselves. This shared infrastructure has encouraged a collaborative culture around the style and made it easier for new creators to get started.

When low-poly graphics are executed well, they have a genuinely positive effect on how players experience a game. Clean, readable forms make it easy to orient oneself in the game space, and players can process visual information quickly without much effort. The absence of unnecessary detail lightens cognitive load, letting players stay focused on what is happening – particularly useful in games with fast-moving action or involved rule sets. Stable performance and consistent frame rates also make a difference to how the game feels overall. Because of all this, low-poly visuals are more and more seen not as a sign of limited budget, but as an intentional artistic choice that gives a project its own identity. It tends to appeal to specific kinds of players: people who like references to older games, indie fans who respond to a personal creative voice, and casual players who value something clean and easy to read.

Part of the emotional appeal of low-poly aesthetics has to do with how the style comes across culturally. There is something about visible geometry and deliberate simplification that feels handmade and considered, in a way that photorealistic graphics usually do not convey. Players often get the sense that a low-poly game reflects a genuine artistic vision, and that can build a stronger connection to the work. This association is reinforced by how prevalent the style is in independent game development, where personal expression tends to be valued. Low-poly games often accumulate enthusiastic word-of-mouth and retain dedicated audiences, which in turn supports their commercial performance through organic growth rather than paid promotion.

Major game engines, Unity and Unreal Engine among them, are well-suited to this kind of work. Their built-in optimization systems, level-of-detail (LOD) management tools, lightweight material support, and shader-based stylization options mean that low-poly assets can be integrated cleanly and their artistic qualities fully realized [3]. The technical infrastructure is there; the question is simply how a team chooses to use it.

Low-poly modeling also pairs naturally with procedural generation (Figure 4). Because low-poly geometry tends to be modular and rule-based, components – terrain tiles, architectural pieces, vegetation – can be assembled algorithmically to create varied, expansive environments without an artist having to hand-craft every element [4]. That compatibility multiplies the effective output of a small team. Emerging AI-assisted tools for mesh simplification and automatic LOD generation are also being developed with low-poly pipelines in mind, which suggests the style will retain its technical and practical advantages as the industry continues to change [5].

That said, low-poly is not the right fit for every project. Some genres – realistic military shooters, sports simulations, story-driven games that rely on facial expression and nuanced character animation – depend on visual detail that low-poly geometry simply cannot provide. There is also a risk of the style feeling generic: as more games adopt it, poorly executed low-poly work can come across as lazy rather than deliberate. Getting it right still takes real skill, particularly in areas like lighting and color where the lack of surface detail makes every choice more exposed. And while simplified assets reduce production time on the art side, they do not automatically make a game easier to design or develop – weak level design or poor gameplay are just as visible in a low-poly project as in any other.



Figure 4: An example of a low-poly, procedurally generated terrain.  
(Source: [https://arxiv.org/pdf/2505.09350\\_3592396](https://arxiv.org/pdf/2505.09350_3592396))

Looking ahead, the position of low-poly in game development looks reasonably stable. Growing AI tooling for mesh simplification and automatic LOD generation will likely make it faster to reach production-ready assets, which benefits small teams the most. At the same time, the spread of VR and AR platforms opens up new questions about how low-poly geometry holds up in immersive contexts where the viewer can get much closer to objects than in a traditional screen-based game. How the style adapts to those conditions will probably determine how broadly it gets used in that space. For now, low-poly remains a practical and creatively flexible option, and there is little reason to expect that to change soon.

The use of low-poly 3D models in contemporary game development is, at its best, a fusion of artistic intent, technical good sense, and practical efficiency. The style shows that a compelling game experience does not depend solely on photographic realism; it can just as well emerge from a thoughtful visual language, consistent performance, and a clear sense of who the game is for. Low-poly modeling remains a fully realized and relevant tool – one that continues to shape both the creative range of the medium and the commercial strategies of the studios that work within it.

## References

1. Pirhonen, L. (2024). *Creating an optimized 3D-mesh for a stylized low-poly video game character* (Bachelor's thesis, Metropolia University of Applied Sciences). URL: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024120934124> (Retrieved December 09, 2025).
2. Fonseca, A. C. (2018). *3D modeling pipeline for games: Work methods for low poly models with hand painted textures* (Bachelor's thesis, Tampere University of Applied Sciences). 49 pp. URL: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/156811/Gomes\\_Sarmento\\_Da\\_Fonseca\\_Ana.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/156811/Gomes_Sarmento_Da_Fonseca_Ana.pdf?sequence=1) (Retrieved December 09, 2025)
3. Epic Games, Inc. (n.d.). *Unreal Engine 5 documentation*. URL: <https://docs.unrealengine.com/5.3/en-US/> (Retrieved December 11, 2025).
4. Tivolt, R. (2025). *Procedural low-poly terrain generation: Landscape generation with terracing for low-poly computer games* (Master's thesis, University of Southern Denmark, Faculty of Engineering). URL: <https://arxiv.org/pdf/2505.09350> (Retrieved December 11, 2025).
5. Chen, Z., Pan, Z., Wu, K., Vouga, E., & Gao, X. (2023). *Robust low-poly meshing for general 3D models*. ACM Transactions on Graphics, 42(4), Article 119. <https://doi.org/10.1145/3592396> (Retrieved December 10, 2025).

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*  
*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 7.012:004.774:316.7

**Е. М. Бортник, Н. А. Дедюхина**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ФЕНОМЕН "ЖИДКОЙ АРХИТЕКТУРЫ" В СОВРЕМЕННОМ ВЕБ-ДИЗАЙНЕ: ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ И КИНЕСТЕТИЧЕСКАЯ ЭМПАТИЯ**

*В статье исследуется феномен «жидкой архитектуры» в веб-дизайне как проявление метамодернистской чувствительности. Авторы показывают, что отказ от жёстких модульных сеток в пользу текучих, анимированных интерфейсов отвечает двойному запросу современности: на бесшовность взаимодействия и на эмоциональную вовлечённость. Опираясь на теории регионализации Э. Гидденса и феноменологию восприятия М. Мерло-Понти, статья демонстрирует, как размытие традиционных регионов интерфейса (шапка, тело, подвал) и интеграция навигации в контент создают эффект кинестетической эмпатии. Анализ актуальных практик (продукты iOS 26, Material Design 3, студии “Active Theory”) подтверждает, что феномен жидкой архитектуры, как практика современного веб-дизайна, вырабатывает собственные механизмы преодоления «кризиса чувств» в аутентичном, эмоционально насыщенном взаимодействии с цифровой средой.*

**Ключевые слова:** жидкая архитектура, метамодерн, регионализация, феноменология, кинестетическая эмпатия, новая искренность, UI/UX, бесшовный интерфейс, генеративный дизайн, структура чувствования, визуальная культура, эмоциональная вовлечённость.

**E. M. Bortnik, N. A. Dedyukhina**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**THE PHENOMENON OF LIQUID ARCHITECTURE IN CONTEMPORARY WEB DESIGN: DYNAMIC REGIONALIZATION AND KINESTHETIC EMPATHY**

*The paper examines the phenomenon of liquid architecture in web design as an expression of metamodern sensibility. The authors demonstrate that the shift away from rigid modular grids toward fluid, animated interfaces addresses a dual contemporary demand: the need for seamless interaction and for emotional engagement. Drawing on Anthony Giddens' theory of regionalization and Maurice Merleau-Ponty's phenomenology of perception, the paper illustrates how the blurring of traditional interface regions and the integration of navigation into content generate an effect of kinesthetic empathy. An analysis of current practices, including recent iOS versions, Material Design 3, and projects by Active Theory, confirms that liquid architecture, as a contemporary web design practice, develops distinct mechanisms for overcoming the "crisis of feeling" through authentic, emotionally resonant interaction with the digital environment.*

**Keywords:** liquid architecture, metamodernism, regionalization, phenomenology, kinesthetic empathy, New Sincerity, UI/UX, seamless interface, generative design, perception structure, visual culture, emotional engagement.

The contemporary visual culture of digital space is undergoing a fundamental transformation that transcends purely technical or aesthetic analysis of user interfaces. This transformation is driven by the need to shift from a strictly functional description of design patterns to a broader understanding of the digital environment as a complex human and cultural phenomenon. The transition from the early Web 1.0, characterized by static document retrieval, to the highly interactive but often chaotic Web 2.0, has led to a profound sense of digital fatigue. Users are constantly bombarded with fragmented information, intrusive notifications, and manipulative "dark patterns." This hyper-commercialized environment has generated a distinct form of psychological alienation, where the interface is frequently perceived as an adversarial barrier rather than a helpful tool. Consequently, the demand for a new design paradigm is not merely an aesthetic whim, but a vital psychological necessity to restore user trust and cognitive comfort. Design today serves as a direct extension of social processes [1], emerging as a convergence point between technological progress and new modes of subjectivity. In an era of high mediatization of the everyday, the interface ceases to be merely a tool for information access and a mechanism for one-way interaction with machine databases; it evolves into a specific habitat that structures our social experience. To

conceptualize these changes, it becomes imperative to employ sociological frameworks, specifically Anthony Giddens' structuration theory and his concept of regionalization [2].

The application of sociology to web design analysis is justified by the fact that digital space is a domain where routine social practices are performed. Much like the architecture of physical buildings, the spatial organization of the digital environment largely dictates behavioral scenarios and communication patterns. In his study of modern social dynamics, Giddens introduced the term "regionalization" to describe how time and space are partitioned and zoned according to the nature of the interactions occurring within them. According to this sociological model, social interaction is structured through a system of invisible yet established boundaries. Giddens distinguishes between the "front region," designed for socially approved performance, and the "back region," which functions as a hidden zone for technical or private preparation. Furthermore, Giddens emphasizes the concept of "routinization" – the habitual, taken-for-granted character of most daily activities, which is vital for maintaining psychological security. If an environment is poorly structured, these routines break down, causing stress and disorientation. In this context, the web interface can be viewed as a system of spatio-temporal regions, each possessing its own functional status and level of legitimacy that either supports or disrupts these daily digital routines.

During the formative years of web technologies (the 1990s and early 2000s), site architecture relied on principles of strictly determined spatial organization. This period was dominated by grid structures that inherited the logic of the early industrial order: information was strictly localized within fixed cells. In conditions of high cognitive uncertainty, which was typical when people were just learning to navigate hypertext, there was a strong need for permanent and clear visual navigation markers. Later, with the development of Cascading Style Sheets (CSS) standards, a classical model of interface regionalization emerged based on a clear division of zones. The upper region (the header) functioned as a navigational dominant, communicating the resource's hierarchy; the central region (the body) was intended for content consumption; and the lower region (the footer) aggregated auxiliary and technical information, which closely corresponds to Giddens's "back region," keeping background system processes away from the user's primary focus. This structure provided what Giddens termed "ontological security" — a state of confidence in the reliability and predictability of one's environment. Interacting with the interface, the user relied on stable spatial constants, where key control elements remained in exactly the same coordinates, which minimized cognitive load and created a sense of control over digital chaos. At that time, ontological security was completely tied to physical fixity: the menu was always at the top, and the links were always underlined in blue. Any deviation from this strict spatial grammar caused immediate user frustration.

However, the current stage of the digital environment's evolution demonstrates a gradual blurring of these boundaries. Traditional rigid regionalization is yielding to more complex, hybrid forms of interaction. We are witnessing a process of interface de-hierarchization: control elements are no longer external to the content but are integrated directly into the perception process. Navigation menus emerge contextually, and the boundaries between functional zones become permeable. This shift can be characterized as a transition toward dynamic regionalization. In this context, a fundamental shift occurs: the user's ontological security is no longer supported by the physical stillness of objects on the screen, but by the predictability of the system's behavior. In such a system, the user's ontological security is no longer ensured by the stasis of elements, but by their intellectual responsiveness. It is not the location of a button that becomes predictable, but the logic of the interface's reaction to the subject's request. The interface transforms into a proactive participant in communication. Its algorithms can anticipate the user's micro-intentions based on a continuous analysis of the surrounding interaction context.

This trend toward transcending rigid structures allows for the introduction of the concept of "liquid architecture," which is rooted in the 1960s Japanese Metabolism [3]. The founders of this movement, such as Kiyonori Kikutake and Kisho Kurokawa, proposed viewing architectural objects not as completed, static monuments, but as living organisms capable of growth, mutation, and the renewal of their elements. In the physical macro-world, the practical realization of the Metabolism concept was significantly limited by the heavy nature of building materials and the laws of gravity. However, the digital environment, free from such material constraints, allowed this model to be fully realized in software code. The theoretical lineage of this fluidity can also be directly linked to the early cyberspace theories of visionary architect Marcos Novak. In the 1990s, Novak coined the specific term "liquid architecture" to describe virtual spaces that respond to the user, changing form and structure in real-time. While Novak's vision was largely speculative and confined to experimental computer graphics of his time, today's advanced web infrastructure makes it a daily reality. The contemporary interface no longer needs to pretend to be a solid physical object. Instead of mimicking wood, leather, or metallic textures – as seen in the early 2010s era of skeuomorphism – the interface now embraces its true digital nature. It is made of pixels, light, and mathematical algorithms, allowing it to behave like a highly responsive fluid rather than a rigid solid. Contemporary web design, in its most progressive forms, has become the digital heir to this philosophy. Liquid architecture in the web does not imply a rejection of structural logic or modular grids per se, but rather their evolution toward adaptivity and generativity. It represents an interface devoid of metaphorical "load-bearing walls"; it does not merely scale to fit a screen size but organically rearranges and mutates based on the content and the user's context while maintaining structural integrity. Within this model, the hardware and server architecture

(the back-end) serve as the unchanging foundation – similar to the megastructures of the Metabolists – while the user interface (the front-end) acts as a system of interchangeable, fluid modules that adapt to momentary demands.

The practical implementation of liquid architecture principles is evident in the evolution of system interfaces, where fixed zones are increasingly replaced by adaptive structures. A prime example of this transformation is the "Dynamic Island" feature in iOS [4]. In traditional interfaces, the upper portion of the screen – the status bar – was permanently occupied by static icons. Under this new concept, this region dynamically alters its dimensions and functions based on user activity: expanding to display a media player, collapsing into a notification indicator, or partitioning into multiple active zones. This converts the upper navigation region into a dynamic object that adjusts to the current process without requiring a transition to separate pages. It realizes the principle of situational regionalization, where the interface structure is not predefined but emerges in response to the user's specific task in real time (in situ). This concept is taken even further in the paradigm of spatial computing introduced in iOS 16, where the addition of a Z-axis allows elements to be positioned in a virtual three-dimensional space, showing realistic shadows and simulating their own physical mass.

Furthermore, the pervasive use of layering and transparency, often referred to as "glassmorphism," facilitates deeper immersion. The application of adaptive background blur allows the interface to maintain a visual connection with the background context when navigation layers or system notifications are activated. Through the semi-transparency of control elements, users retain their orientation within the application's information space, ensuring continuous immersion and reducing the cognitive load associated with switching between sections. From a psychological standpoint, this method optimizes the way visual attention is distributed. The user's peripheral vision continues to register the patterns of the background layer even when looking at pop-up windows in the foreground, effectively preventing a sense of disorientation. This technique also solves the temporal problem of digital regionalization. In the early web, moving between sections required a "loading screen," a temporal gap that constantly reminded users of the artificial, machine-driven nature of their environment. By utilizing layering and asynchronous data loading, liquid architecture creates a continuous flow of time, mirroring the natural continuity of real-world experiences without temporal breaks. This transparency eliminates harsh visual boundaries, creating a unified digital environment where navigation does not distract from the primary information flow but is organically overlaid upon it. This approach is further supported by interruptible animation technology, which allows users to halt or reverse any interface motion during its execution. This enhances responsiveness, as the system reacts instantly to micro-gestures without waiting for pre-programmed animation cycles to complete, imbuing the interface with the qualities of a flexible and controllable substance. To achieve this, designers implement complex mathematical models, known as spring physics, ensuring that visual changes follow algorithms that closely imitate the movement of real elastic objects.

This profound functional parallel is explicitly illustrated in Figure 1, which establishes a conceptual and structural "rhyme" between Kisho Kurokawa's Nakagin Capsule Tower (1972) and the iOS Dynamic Island. Beyond superficial visual similarities, this comparison highlights a shared underlying philosophy of extreme modularity and situational adaptability. In Kurokawa's Metabolist masterpiece, autonomous capsules were designed to attach to a central infrastructural core, functioning as interchangeable units that could be repurposed or replaced according to the evolving demands of the inhabitants. Similarly, the Dynamic Island operates as a highly mutable digital "capsule" anchored to a fixed hardware foundation (the device's sensor array). Rather than acting as a static display zone, it functions as a polymorphic container that organically expands, contracts, and morphs to accommodate drastically different utilities – seamlessly transitioning from a media player to an active call interface, a timer, or an AirDrop transfer monitor. Both examples embody the principle of a singular, multifunctional element capable of instantaneous adaptation to any contextual requirement. Thus, the Metabolist dream of a living, adaptable structure finds its ultimate, unhindered realization in the digital realm: where the rigid, prohibitive constraints of physical concrete and steel are replaced by the limitless plasticity of code, enabling a single interface component to serve as a universal, context-aware functional module.

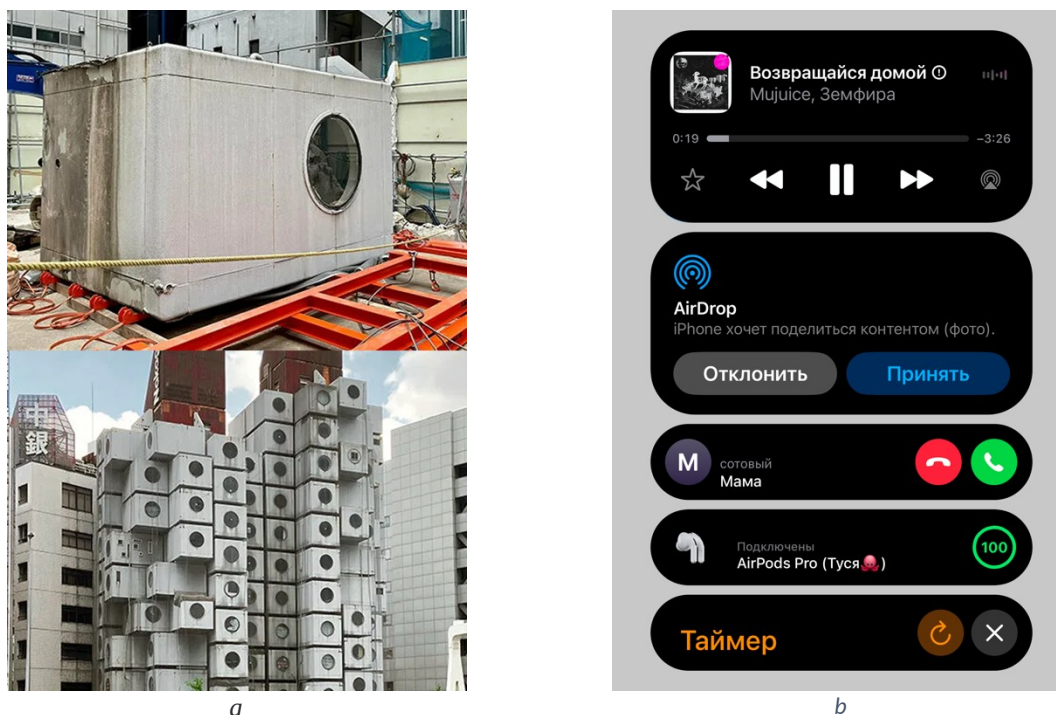


Fig. 1. Visual parallel:

a — Kisho Kurokawa, Nakagin Capsule Tower, (1972); b — IOS Dynamic Island

Another significant case is Google's Material Design 3 [5], which employs the Monet algorithmic engine to implement generative graphics. Here, the interface ceases to be a static product finalized by a designer. Through color extraction algorithms, the system analyzes the user's personal visual environment—such as the desktop wallpaper – and automatically generates a cohesive color palette for all UI elements. This results in a visual diffusion where color flows from the user's private space into the system's regional zones, blurring the line between a rigid system environment and individual experience to create a sense of continuity and belonging. This kind of algorithmic co-creation removes the traditional conflict between a standardized operating system and a deeply personal user experience. According to the concept of a frictionless world [6], this adaptability breaks down the strict corporate look of the design, turning the interface into a personalized communicative partner. The psychological impact of this personalization cannot be overstated. When the system reflects the user's aesthetic choices back to them, the digital space begins to feel like a deeply personal territory. It transforms the cold, generic software environment into a comforting, digital "home," reinforcing the feeling of safety and belonging. Additionally, the system utilizes variable fonts and dynamic shape adjustments. Functional components, such as buttons, cards, and navigation bars, can alter their corner radii, surface area, and density depending on the usage context and screen dimensions. Interacting with these elements – via clicks or swipes – triggers a fluid morphological transformation, ensuring visual continuity between different interface states. The use of dynamic grids and adaptive layouts allows the entire page structure to reconfigure without visual breaks, maintaining logical integrity during device orientation changes or data input. Thus, the interface functions as a holistic graphical canvas where the form and color of controls are synchronized with individual preferences, providing a high degree of visual coherence and personalization.

The further evolution of liquid architecture is demonstrated in the immersive web environments created by studios such as Active Theory [6]. Their projects represent a definitive departure from the metaphor of the "page" as a flat sheet. The shift from a standard coordinate system with simple X and Y axes to programmable environments based on WebGL and particle systems represents a major leap in how we design network spaces. Instead of discrete transitions between sections, the user is immersed in a unified three-dimensional environment where movement is fluid, devoid of jarring jumps or reloads. Text and imagery in these interfaces acquire quasi-physical properties: they may deform, float in space, or react to cursor movements like elastic objects. In this context, animation is not merely a decorative addition but the primary substrate that forms the very fabric of the digital space. The screen finally loses its status as a simple two-dimensional display, becoming a window into a simulated physical world with its own software-driven gravity and aerodynamic resistance. In these WebGL environments, auditory feedback is often perfectly synchronized with visual deformations. When an element bends

or stretches, it generates a corresponding dynamic soundscape. This audio-visual synchronicity creates an unprecedented level of sensory immersion, tricking the brain into perceiving digital constructs as physical matter.

This profound spatial and functional reconceptualization is further illustrated in Figure 2, which establishes a direct topological parallel between Kisho Kurokawa's visionary Helix City (1961) and the spatial navigation model of the Active Theory website. While the visual rhyme of the DNA double helix is immediately apparent, the deeper resonance lies in their shared philosophy of movement, interconnectivity, and the rejection of planar navigation. In Helix City, Kurokawa sought to dismantle the flat, Cartesian grid of traditional urban planning. By adopting a spiral structure, he envisioned a dynamic, three-dimensional urban space characterized by stratified traffic and multi-directional transit. Rather than descending to a traditional, flat street level to travel between destinations, inhabitants could move diagonally across the urban fabric, transitioning seamlessly from the core of one skyscraper directly into another via elevated, interconnected networks. The immersive architecture of the Active Theory platform translates this Metabolist urbanism directly into digital topology. Instead of utilizing a conventional, two-dimensional navigation menu – which functions much like a traditional, linear street directory – the interface forces the user to navigate through a three-dimensional spiral infrastructure. The individual case studies act as autonomous digital buildings attached to this central helix. Crucially, the functional logic of transitioning to a specific case study bypasses the digital equivalent of "returning to the street" (such as using a search engine or navigating back through a hierarchical hub). Instead, the user makes a direct spatial leap from the central spiral straight into the external digital environment (the finished website) created by the studio. This approach transforms the portfolio from a mere repository of hyperlinks into an interconnected digital megastructure. It actualizes Kurokawa's ideas of seamless, multi-layered transit, where navigation relies on direct, spatial leaps between distinct informational nodes.

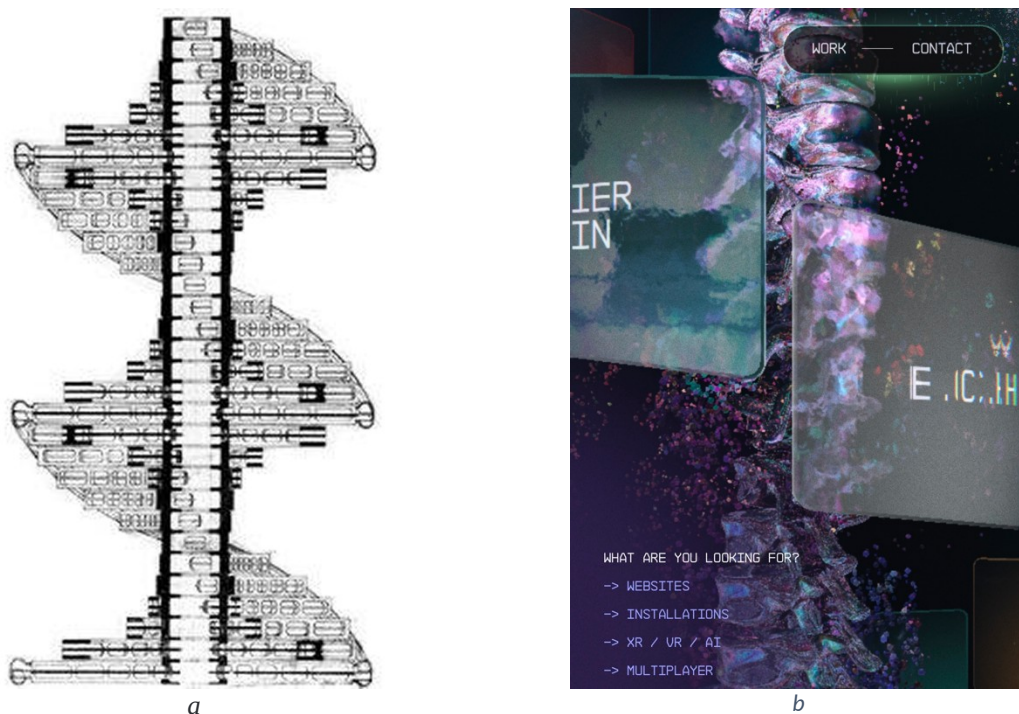


Fig. 2. Visual parallel:

a – Kisho Kurokawa, Helix City, (1961); b – Active Theory Web site

The described shift toward fluidity and organic form requires a profound philosophical grounding, which can be found in Maurice Merleau-Ponty's phenomenology of perception [7]. The central concept of his philosophy – the "living body" (*corps vécu*) – asserts that perceiving the world is not a purely intellectual act; rather, it is always an embodied and motor-driven process. According to this view, people interact with the world by connecting their motor skills, perception, and intentions. Tools used by a person – like the blind man's walking stick in Merleau-Ponty's classic example – eventually become part of the "body schema." They stop being seen as external objects and turn into sensory extensions. In today's digital life, the touchscreen and its fluid software act as a similar technological extension, expanding the user's physical boundaries.

This embodied interaction marks a radical shift from the era of the computer mouse. The traditional mouse required a form of "indirect manipulation," where hand movements on a horizontal physical desk had to be mentally translated into cursor movements on a vertical digital screen. This cognitive leap always kept the user psychologically separated from the digital object. Touchscreens, and subsequently liquid interfaces, introduce "direct manipulation." When a user physically pinches the screen to zoom in, or swipes forcefully to dismiss a floating card, the physical hand gesture and the digital visual response are perfectly unified in space and time. This absolute unity reinforces the body schema, allowing the user's nervous system to integrate the digital interface as a natural extension of their own hand.

In the context of liquid architecture, this manifests through micro-interactions that simulate the physical laws of the macro-world. Prime examples include inertial scrolling and the "rubber-banding" effect encountered when reaching the boundary of a page. When scrolling does not cease abruptly but smoothly decelerates or "bounces" off the screen's edge, the interface communicates its virtual "weight" and "resistance" to the user.

This principle is especially clear in how we interact with functional buttons. In liquid architecture, a button is no longer a simple "on/off" switch. Instead, it offers a continuous range of states: a slight visual deformation when hovered over, a realistic pressing effect when tapped, and immediate physical confirmation through haptic vibration. These dynamic changes, driven by mathematical algorithms, shape how we perceive the interface before we even think about it. The user understands the system's status not by analyzing graphical icons, but by feeling a bodily reaction to the artificial physical resistance of the screen.

These micro-movements appeal to proprioception – our internal sense of the position and movement of our body in space. According to Merleau-Ponty, the body "incorporates" the tools of interaction into its own schema. By simulating the physical properties of matter – such as fluidity, elasticity, and inertia – the liquid architecture of web design speaks directly to the subject's bodily experience. Simulating physicality effectively shifts the process of understanding an interface from conscious analytical thinking to instinctive, bodily knowledge.

When an interface smoothly deforms or "springs back" under a user's touch, it gives rise to the phenomenon of kinesthetic empathy. We empathize with the movement of the digital object at a somatic level even before a rational assessment of the action takes place. Haptic feedback and visual plasticity transform the screen from a flat image into a tactile field, where every micro-movement of a cursor or gesture receives a physiologically intelligible response. The interface resonates with our physiological motor skills, essentially becoming a technological extension of the human sensory system. By doing so, liquid architecture breaks down the old Cartesian separation between the digital mind and the physical body, creating a mixed experience where virtual objects feel completely tangible.

In conclusion, the phenomenon of liquid architecture in web design serves as a significant marker of shifts in the "structure of feeling" of contemporary individuals. Within the discourse on metamodernism [8] – viewed as a state of oscillation between modernist order and postmodern chaos – fluid interfaces can be interpreted as a tool for "New Sincerity," aimed at overcoming digital alienation and the "crisis of feeling." In cultural theory, metamodernism is often described through this idea of continuous oscillation. Liquid architecture perfectly reflects this in digital design: it combines the strict, orderly logic of hidden databases with a fluid, flexible, and highly adaptable user experience [1]. The modern user has developed robust defense mechanisms, such as banner blindness, which render traditional static interfaces increasingly ineffective. Liquid architecture addresses this problem by evolving along two complementary paths.

The first path involves minimizing the visual presence of control elements, rendering navigation as transparent and inconspicuous as possible. Through the use of layering, the elimination of rigid borders, and seamless transitions, the interface ceases to be perceived as an external barrier. This allows the subject to focus entirely on the informational substance, facilitating deep immersion in the content. Conversely, the second path involves transforming navigation into an active component of communication, where control elements become vivid tools for conveying a core message. In this case, the interface does not merely provide access to information but becomes an integral part of the narrative, emotionally engaging the user through dynamic transformations and expressive movements.

This duality enables design to transcend the emotional barrier between humans and technology. Through tactile resonance and the system's intellectual responsiveness, liquid architecture offers an experience of authentic interaction where every user action meets a "living" and predictable response. In a world where social connections are increasingly digital, the desire for genuine feelings and New Sincerity is met by replacing aggressive design tricks with a focus on emotional connection. The interface becomes a space of true presence, where technology naturally extends human senses.

Moreover, this shift possesses a profound ethical dimension. In the postmodern era of the web, irony, fragmentation, and user exploitation often dominated, leading to an environment where interfaces were designed to trick or trap the user's attention (such as confusing unsubscribe buttons or hidden fees). Metamodern New Sincerity in design fundamentally rejects these adversarial tactics. By prioritizing kinesthetic empathy, seamlessness, and emotional resonance, liquid architecture advocates for Digital Care and ethical design. It respects the user's

cognitive limits, deliberately reduces mental friction, and fosters an environment of transparency and trust. The interface ceases to be a battleground for attention and transforms into a cooperative sanctuary.

Thus, liquid architecture is not merely a technological innovation, but an anthropologically grounded strategy for humanizing digital space. It transforms the interface from a cold set of tools into an empathic environment capable of sustaining attention and eliciting an emotional response in an age of information saturation. The study of this phenomenon confirms that theoretical concepts from sociology and phenomenology find direct realization in contemporary design practices, creating the conditions for a deeper and more qualitative interaction between humanity and the digital world.

### Список литературы

1. *Edmond Lau. A Brave New (Frictionless) World. Findings by MW.S., Mouthwash studio, 2025. URL: [https://findings.mouthwash.studio/p/a-brave-new-frictionless-world?r=39e71x&utm\\_medium=ios&shareImageVariant=overlay&triedRedirect=true](https://findings.mouthwash.studio/p/a-brave-new-frictionless-world?r=39e71x&utm_medium=ios&shareImageVariant=overlay&triedRedirect=true) (дата обращения: 04.03.2026)*
2. *Гидденс Энтони. Устроение общества. Очерк теории структуризации. М.: Академический проект, 2015. 528 с.*
3. *Rem Koolhaas, Hans Ulrich Obrist. Project Japan. Metabolism Talks. Cologne.: Tashen, 2011. 719 pp.*
4. *Apple. iOS 26. URL: <https://www.apple.com/os/ios/> (дата обращения: 04.03.2026)*
5. *Material Design. M3 Expressive: Design with emotion. URL: <https://m3.material.io/> (дата обращения: 04.03.2026)*
6. *Active Theory. Creative Digital Experiences. URL: <https://activetheory.net/> (дата обращения: 04.03.2026)*
7. *Мерло-Понти Морис. Феноменология восприятия (сборник). М.: Наука, 1999. 608 с.*
8. *Бортник Е.М., Дедюхина Н.А., Метамоде́рнизм и его влияние на современный дизайн // Инновации молодёжной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых учёных с международным участием. Часть 1 / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. С. 262-264.*

### References

1. *Edmond Lau. A Brave New (Frictionless) World. Findings by MW.S, Mouthwash studio, 2025. URL: [https://findings.mouthwash.studio/p/a-brave-new-frictionless-world?r=39e71x&utm\\_medium=ios&shareImageVariant=overlay&triedRedirect=true](https://findings.mouthwash.studio/p/a-brave-new-frictionless-world?r=39e71x&utm_medium=ios&shareImageVariant=overlay&triedRedirect=true) (Accessed: 04.03.2026)*
2. *Anthony Giddens. Ustroenie obshchestva. Ocherk teorii strukturizatsii [The Constitution of Society. Outline of the Theory of Structuration (Polity)]. Moscow. Akademicheskii proekt, 2015. 528 pp. (in Rus.).*
3. *Rem Koolhaas, Hans Ulrich Obrist. Project Japan. Metabolism Talks. Cologne. Tashen, 2011. 719 pp.*
4. *Apple. iOS 26. URL: <https://www.apple.com/os/ios/> (accessed: 04.03.2026)*
5. *Material Design. M3 Expressive: Design with emotion. URL: <https://m3.material.io/> (accessed: 04.03.2026)*
6. *Active Theory. Creative Digital Experiences. URL: <https://activetheory.net/> (accessed: 04.03.2026)*
7. *Maurice Merleau-Ponty. Fenomenologiya vospriyatiya [The Primacy of Perception.] Moskow. Nauka, 1999. 608 pp. (in Rus.).*
8. *Bortnik E. M., Dedyukhina N. A. Metamodernism i ego vliyaniye na sovremenniy disayn [Metamodernism and its influence on modern design] // Innovatsii molodezhnoy nauki [Innovations of youth science. Abstracts of reports of the All-Russian Scientific Conference of Young Scientists with International Participation]. St. Petersburg: FSBEI SPbGUPTD, 2025. Part 1. Pp. 262-264. (in Rus.).*

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*  
*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 655.3.022.1

**А. Брызгалов**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **СРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФЛЕКСОГРАФИИ И ГЛУБОКОЙ ПЕЧАТИ НА РЫНКЕ ГИБКОЙ УПАКОВКИ В РОССИИ В ПЕРИОД 2010-2025 ГГ.**

*В исследовании анализируется трансформация российского рынка печати на гибкой упаковке в период с 2010 по 2025 год, при этом особое внимание уделено изменению баланса между флексографией и глубокой печатью. В ходе анализа учитывается влияние макроэкономических факторов, технологических инноваций и геополитических изменений на конкурентное позиционирование каждого метода печати. Полученные результаты свидетельствуют о четком структурном сдвиге, произошедшем за пятнадцатилетний период в области флексографии и глубокой печати, причем наблюдаемые расхождения в траекториях объясняются фундаментальными структурными асимметриями между этими двумя технологиями.*

**Ключевые слова:** гибкая упаковка, флексография, ротогравюра, российский рынок печати, импортозамещение, влияние санкций, динамика технологий печати.

@ А. Брызгалов, 2026

**A. Bryzgalov**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **DYNAMICS OF FLEXOGRAPHY VS. GRAVURE PRINTING TECHNOLOGIES IN THE RUSSIAN FLEXIBLE PACKAGING MARKET OVER THE PERIOD OF 2010–2025**

*The study analyzes the transformation of the Russian flexible packaging printing market between 2010 and 2025, with a particular focus on the shifting balance between flexography and gravure printing. The analysis considers the impact of macroeconomic factors, technological innovation, and geopolitical developments on the competitive positioning of each printing method. The findings reveal a pronounced structural shift over the fifteen-year period for flexography and gravure printing, with observed divergent trajectories being attributed to fundamental structural asymmetries between the two technologies.*

**Keywords:** flexible packaging, flexography, rotogravure, Russian printing market, import substitution, sanctions impact, printing technology dynamics.

The Russian flexible packaging market represents one of the largest and most resilient segments of the country's printing industry. According to GlobalData (2022), flexible packaging accounted for more than 50% of the food industry packaging in 2020, confirming its status as the most consumed pack material in Russia [3]. Unlike the global market, where flexography has long been the undisputed leader, the Russian market historically maintained a significant presence of rotogravure printing due to the legacy of large-scale Soviet-era printing combines. However, since 2010, the technological landscape has undergone substantial transformation.

This paper aims to analyze the shifting balance between flexography and gravure printing in the Russian flexible packaging sector, with a focus on five-year intervals (2010, 2015, 2020, and 2025).

#### **Methodology**

This study is based on a synthesis of industry expertise, market intelligence from sector-specific publications, and analytical reports from industry associations. Given the absence of official statistical data with a disaggregated breakdown by printing technology within the flexible packaging segment, the analysis relies on expert estimates and consolidated industry analytics covering the period from 2010 to 2025. The methodological framework for forecasting printing technology adoption is informed by 6Wresearch (2024), which provides segmentation by printing technology (flexographic, rotogravure, offset, digital) and ink types (water-based, solvent-based, UV-curable) [2].

### Market Share Dynamics by Period

Table 1 presents the estimated market share distribution between flexography and gravure printing in the Russian flexible packaging market across five-year intervals. Shares are expressed in physical terms (tonnage or square meters of output). Market segmentation by printing technology (flexography, gravure, offset lithography, others) and product type (flexible packaging, cartons) is confirmed by 6Wresearch (2024) [2], while Infinium Global Research (2024) similarly segments the Russian packaging printing market by technology and material [4].

The data presented in Table 1 illustrate a clear and sustained shift in the technological structure of the Russian flexible packaging market over the fifteen-year period. Flexography expanded its market share from a narrow majority of 50–55% in 2010 to a commanding 70–75% by 2025, representing a net gain of approximately 20 percentage points. Conversely, gravure printing experienced a parallel contraction, declining from nearly half of the market (40–45%) to a niche position of one-quarter or less. This trend is supported by overall market data from Aarkstore Enterprise (2021), which confirms that flexible packaging was the largest pack material segment in Russia, driven by the food industry [1]. Furthermore, GlobalData (2022) provides quantitative market data confirming flexible packaging as the most consumed pack material in Russia, with detailed end-use industry segmentation [3].

Table 1. Estimated Market Share Dynamics of Printing Technologies in the Russian Flexible Packaging Market (2010–2025)

Period	Flexography, %	Gravure Printing, %	Key Drivers of Change
2010	50–55%	40–45%	Baseline period. Gravure maintained strong positions due to Soviet-era infrastructure (large combines) and dominance in tobacco and premium packaging. Flexography was gaining momentum as a more flexible and accessible alternative. [1]
2015	60–65%	30–35%	Active import substitution following the 2014 currency crisis. Mass deployment of medium- and wide-web flexographic lines (European-made). Currency fluctuations increased costs for gravure consumables, giving flexography a competitive edge.
2020	65–70%	25–30%	The "Digital Flexo" era. Adoption of laser engraving technologies (e.g., FLEXCEL NX) enabled flexographic quality approaching that of gravure. Gravure retained niches in ultra-long runs (cigarettes, major FMCG brands). This technology represents a key inflection point in the 2020 period analysis [5].
2025	70–75%	20–25%	Sanctions pressure following 2022 and exit of European equipment manufacturers. Flexography adapted faster through Chinese suppliers and localization of consumables. Gravure faced challenges in servicing engraving equipment and sourcing specialized inks.

### Period Analysis

In 2010, flexography held a modest majority of 50%, while gravure commanded a substantial 40%. By 2025, flexography has surged to 70%, and gravure has collapsed to just 20%. Let's take a deeper look at each five-year period.

#### 2010: The Bifurcation Point

At the beginning of the 2010s, the Russian market exhibited a dualistic technological structure. Gravure printing held approximately 40–45% of the market, significantly higher than the global average of 25–30% at the time. This anomaly stemmed from the successful repurposing of capacities from Soviet-era printing combines, which were adapted to produce flexible packaging. Flexography, commanding about 50–55%, was actively expanding in the food, household chemicals, and stretch film segments. Aarkstore Enterprise (2021) confirms that the food industry was the primary driver of flexible packaging demand during this period [1]. The coexistence of two mature technologies at near-parity created a competitive environment that would soon be disrupted by external forces and technological innovation. Visualization of market share is presented in Figure 1.

#### 2015: Currency Shock and Import Substitution

The devaluation of the Russian ruble in 2014 triggered a significant redistribution of market shares. Imported inks and engraved cylinders for gravure became substantially more expensive, eroding the economic viability of gravure for medium-length runs. Conversely, flexography gained momentum. The peak of European equipment purchases (W&H, Comexi, Fischer & Krecke) occurred during this period. By 2015, the market share

ratio had shifted to 60–65% for flexography versus 30–35% for gravure. Notably, this period also saw the emergence of domestic manufacturers of flexographic consumables, which further reduced operational costs and shortened supply chains. The gravure segment, by contrast, remained heavily dependent on imported cylinders and specialized inks, exposing it to currency volatility.

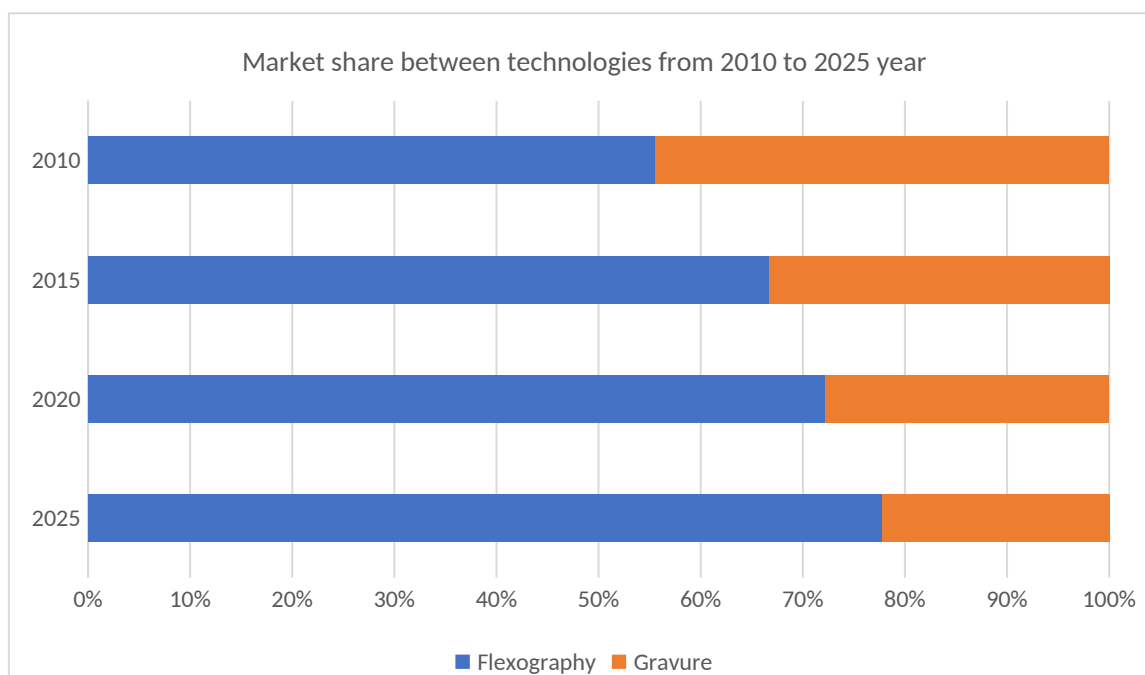


Figure 1 Visualization of the printing market share for two types of printing technologies over 15 years

The data presented in Image 1 provide a striking visual confirmation of the structural transformation described in the analysis. Over the 15-year period from 2010 to 2025, the market shares of flexography and gravure printing have effectively reversed. The trend continues linearly and consistently through 2020 and into 2025.

#### *2020: Technological Parity in Quality*

By 2020, flexography overcame its historical disadvantage – inferior print quality. The widespread implementation of laser-engraved printing plates, particularly FLEXCEL NX technology from Esko, allowed flexographic output to achieve parity with gravure in terms of gradients, color saturation, and run stability [5]. This technological leap fundamentally altered buyer preferences: brand owners who had previously insisted on gravure for premium products began approving flexographic alternatives. Gravure maintained its 25–30% share by concentrating on ultra-long runs (exceeding 150,000–200,000 m<sup>2</sup>) and high-security applications, such as tobacco and alcoholic beverage packaging. However, the erosion of its quality advantage marked a turning point from which gravure would not recover.

#### *2025: Sanctions-Driven Adaptation*

Following 2022, the Russian market entered a phase of structural reorganization. The withdrawal of European heavy equipment manufacturers halted numerous investment projects. However, flexography demonstrated high adaptability, with the market pivoting toward Chinese suppliers (e.g., Weifeng) and the localization of consumables (plates, water-based inks). Several Russian enterprises launched domestic production of photopolymer plates and solvent-based inks, partially compensating for the loss of European supplies. Gravure faced more severe constraints: European-made engraving systems lost service support, and the localization of specialized ink concentrates progressed slowly. Moreover, the production of gravure cylinders – a process requiring precision electroplating and engraving – depends on imported copper, chromium, and diamond styluses, all of which became subject to complex parallel import schemes. Consequently, gravure's market share declined to an estimated 20–25%, concentrated primarily among vertically integrated holdings that maintain in-house cylinder manufacturing and long-term contracts with major brand owners. This structural shift is reflected in forecasts from 6Wresearch (2024), which project continued growth for flexography and digital printing in the Russian market through 2031 [2]. Infinium Global Research (2024) similarly confirms the continued presence of gravure as a distinct technology segment, albeit with a diminishing share [4].

#### **Future trends in gravure printing**

Despite the steady advance of flexography across most flexible packaging segments, gravure printing remains the indispensable technological leader in cigarette packaging production. This sector is characterized by

exceptionally high-volume requirements that play directly to gravure's core strengths: unparalleled color consistency, superior print stability over million-plus runs, and the ability to incorporate sophisticated anti-counterfeiting features directly into the engraved cylinder. The scale of this niche is substantial. According to Rosstat data cited in industry reports, cigarette production in Russia reached 209 billion units in 2025, representing a year-on-year increase of 7.5%. Furthermore, January–August 2025 data showed cigarette output at 140 billion units, a 3.6% increase over the same period in 2024. These volumes—hundreds of billions of units annually—make gravure printing economically indispensable for tobacco packaging, as flexography cannot yet match gravure's cost-per-unit efficiency at such extreme scales. Thus, while flexography has successfully captured the broader flexible packaging market, gravure maintains an unassailable stronghold in the cigarette segment, where massive, stable production runs continue to justify its higher upfront costs and specialized infrastructure requirements [6].

### Conclusion

This transformation was driven by a confluence of macroeconomic, technological, and geopolitical factors. The 2014 currency crisis served as an initial catalyst, stimulating import substitution and conferring a competitive advantage to flexography, which benefited from a broader base of domestic consumable suppliers. Subsequently, the widespread adoption of laser-engraved plate technologies, particularly FLEXCEL NX, enabled flexography by 2020 to achieve print quality comparable to that of gravure, thereby eroding the latter's longstanding qualitative advantage.

The structural shift was further accelerated by the sanctions imposed following 2022. Flexography demonstrated considerable adaptive capacity, successfully reorienting its supply chains toward Chinese manufacturers and accelerating the localization of consumables. Gravure printing, by contrast, encountered significant constraints, including the loss of service support for European-made engraving systems and persistent difficulties in sourcing specialized inks and cylinder materials.

These divergent trajectories can be attributed to fundamental structural asymmetries between the two technologies. Flexography's lower capital intensity and greater supply chain resilience have afforded it sustained competitive advantages, whereas gravure requires substantial upfront investment in cylinder engraving infrastructure and remains dependent on specialized imported inputs. Looking forward, flexography is expected to further consolidate its dominant position, potentially reaching 75–80% by 2030, while gravure printing is likely to persist only within a narrow niche comprising ultra-long runs and applications with stringent anti-counterfeiting requirements.

The observed dynamics indicate a consistent erosion of gravure's position in the Russian flexible packaging market, with flexography consolidating its leadership. Several structural factors explain this trend:

1. **Economic Efficiency:** Flexography offers a lower total cost of ownership for small to medium runs (from 5,000–10,000 m<sup>2</sup>), which constitute the majority of market demand.
2. **Technological Convergence:** The advent of digital flexoplate technologies, such as FLEXCEL NX, has effectively closed the quality gap that historically favored gravure [5].
3. **Supply Chain Resilience:** Flexography benefits from a broader base of consumable suppliers and, in the post-2022 context, faster adaptation to localized and alternative supply chains.
4. **Capital Intensity:** Gravure requires higher initial investment in cylinder engraving infrastructure, limiting new market entry and making it viable only for players with stable, ultra-long-run volume.

The findings reveal a pronounced structural shift: over the fifteen-year period, flexography expanded its market share from 50–55% to 70–75%, while gravure printing contracted from 40–45% to 20–25%.

The analysis indicates that flexography will continue to strengthen its dominant position in the Russian flexible packaging market, potentially reaching 75–80% by 2030. Gravure printing is expected to persist only within a niche segment occupied by large vertically integrated holdings – primarily in the tobacco and premium food sectors – where dedicated cylinder engraving infrastructure exists, anti-counterfeiting requirements are stringent, and ultra-long-run volumes remain stable. Infinium Global Research (2024) confirms the continued presence of gravure as a distinct technology segment within the Russian packaging printing market [4].

A complementary trend affecting both technologies will be the gradual growth of digital printing, which is expected to capture an increasing share of short- and medium-run orders (up to 10,000–15,000 sq. m). While digital printing currently accounts for less than 5% of the Russian market, its expansion may further modify the competitive landscape over the long term. 6Wresearch (2024) confirms digital printing growth trends and sustainability drivers as key factors shaping the Russian printed packaging market [2].

### Список литературы

1. *Russia Packaging Industry – Market Assessment, Key Trends and Opportunities to 2025 (2021)*. Aarkstore.com. URL: <https://www.aarkstore.com/consumer-goods/1866236/russia-packaging-industry-market-assessment-key-trends-and-opportunities-to-2025> (Дата обращения 26.03.2026).

2. 6Wresearch (2024). *Russia Printed Packaging Market (2025-2031)*. URL: <https://www.6wresearch.com/industry-report/russia-printed-packaging-market> (Дата обращения 28.03.2026).
3. *Russia Packaging Industry – Market Assessment, Key Trends and Opportunities to 2025*. GlobalData (2022). URL: <https://www.globaldata.com/store/report/russia-packaging-market-analysis/> (Дата обращения 27.03.2026).
4. *Infinium Global Research Russia Packaging Printing Market: Prospects, Trends Analysis, Market Size and Forecasts up to 2032* (2024). MarketResearch.com. URL: <https://www.marketresearch.com/Infinium-Global-Research-v4127/Russia-Packaging-Printing-Prospects-Trends-36904170/> (Дата обращения 28.03.2026).
5. *Esko FLEXCEL NX Technology: The Digital Flexo Revolution* (2020). Esko Corporate Literature. URL: <https://www.esko.com> (Дата обращения 28.03.2026).
6. *Gravure printing volume in cigarette packaging*. URL: [https://tadviser.com/index.php/Article:Smoking\\_and\\_Cigarette\\_Market\\_in\\_Russia](https://tadviser.com/index.php/Article:Smoking_and_Cigarette_Market_in_Russia) (Дата обращения 28.03.2026).

### References

1. *Russia Packaging Industry – Market Assessment, Key Trends and Opportunities to 2025* (2021). Aarkstore.com. URL: <https://www.aarkstore.com/consumer-goods/1866236/russia-packaging-industry-market-assessment-key-trends-and-opportunities-to-2025> [Accessed 26 Mar. 2026].
2. *Russia Printed Packaging Market (2025-2031)*. 6Wresearch (2024). URL: <https://www.6wresearch.com/industry-report/russia-printed-packaging-market> [Accessed 28 Mar. 2026].
3. *Russia Packaging Industry – Market Assessment, Key Trends and Opportunities to 2025* (2022). GlobalData. URL: <https://www.globaldata.com/store/report/russia-packaging-market-analysis/> [Accessed 27 Mar. 2026].
4. *Russia Packaging Printing Market: Prospects, Trends Analysis, Market Size and Forecasts up to 2032*. Infinium Global Research (2024). MarketResearch.com. URL: <https://www.marketresearch.com/Infinium-Global-Research-v4127/Russia-Packaging-Printing-Prospects-Trends-36904170/> [Accessed 28 Mar. 2026].
5. *FLEXCEL NX Technology: The Digital Flexo Revolution* (2020). Esko Corporate Literature. URL: <https://www.esko.com> [Accessed 28 Mar. 2026].
6. *Gravure printing volume in cigarette packaging* URL: [https://tadviser.com/index.php/Article:Smoking\\_and\\_Cigarette\\_Market\\_in\\_Russia](https://tadviser.com/index.php/Article:Smoking_and_Cigarette_Market_in_Russia) [Accessed 28 Mar. 2026].

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*  
*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 339.138:67.03

**А. С. Донгак, Е. С. Коваленко**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191180, Санкт-Петербург, пер. Дзамбула, 13

### **АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА КАРТРИДЖЕЙ И ТОНЕРОВ**

*В этой статье был произведен анализ российского рынка картриджей и тонеров за 2024 год. В работе выявлены ключевые позиции, с которыми сталкиваются участники рынка: структура рынка, ценовая динамика, основные поставщики расходных материалов. Сделан вывод о формировании новой структуры рынка с усилением позиций локальных и азиатских поставщиков.*

**Ключевые слова:** тонеры, картриджи, чернила, расходные материалы, рынок, импорт.

**A. S. Dongak, E. S. Kovalenko**

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design Higher  
191180, St. Petersburg, Dzhambul Lane 13

### **ANALYSIS OF THE RUSSIAN MARKET FOR PRINTER CARTRIDGES AND TONERS**

*The article analyzes the Russian cartridge and toner market for 2024. The key positions faced by market participants are identified, e.g., market structure, price dynamics, and the main suppliers of consumables. It was also concluded that a new market structure was being formed with the strengthening of the positions of domestic and Asian suppliers.*

**Keywords:** toners, cartridges, inks, consumables, market, import.

The work presents the results of an analysis of the Russian market for cartridges and toners an important segment of the printing industry. The relevance of this topic is highlighted by the significance of consumables for the uninterrupted operation of organizations of all sizes, from small businesses to large corporations. In light of changes in supply chains, the increasing share of domestic producers, and shifts in consumer demand, it is particularly important to understand current market trends and constraints. The goal of our presentation is to objectively assess the state of the cartridge and toner market in Russia, identify its characteristics, evaluate development dynamics, and outline promising directions [1].

Consumable materials for multifunction devices are components necessary to maintain their uninterrupted operation and ensure high-quality printing, scanning, and copying. The main consumable materials include: toner or ink cartridges, photoreceptor drums (photo drums), fusers (heat films and pressure rollers), paper feed rollers, as well as cleaning and maintenance kits. However, this work will provide only an overview of toners, cartridges, and inks.

In printing industry, the main consumable materials include inks, in particular, toners, cartridges, and specialized printing inks (Figure 1). Toner is a powder used in laser printers and multifunction devices to create images on paper. It consists of fine polymer particles that are attracted to the charged surface of the photoconductor drum and transfer the image onto the paper. The paper then passes through a fuser, where the toner is melted and firmly bonded to the page. Ink is a colored liquid made from dye with special properties, used in inkjet printing devices. A cartridge is a container that holds toner and other components necessary for the printing process. Toner and cartridge are two different components of a laser printing system, although these terms are sometimes used interchangeably [1].



Figure 1 Example of toners and cartridges.  
(Source: <https://cartridge-msk.com/blog/tonery-dlya-printera/>)

The modern market for printing consumables plays an important role in ensuring the uninterrupted operation of office and industrial equipment in Russia. A stable supply of cartridges, toners, and inks is critically important for businesses, government agencies, and individual users. However, the current structure of this market is characterized by a significant dependence on external factors.

The Russian market for printing consumables (cartridges, toners, inks) is heavily reliant on imports: over 90% of supplies come from foreign products, primarily from China. From 2019 to 2024, the market demonstrated mixed dynamics: in physical terms, the volume decreased by almost 18%, reaching 25.4 million units in 2024, while the monetary volume increased to 24.2 billion rubles. The slight growth in monetary terms is primarily due to rising prices rather than an expansion in demand (Figure 2) [2].

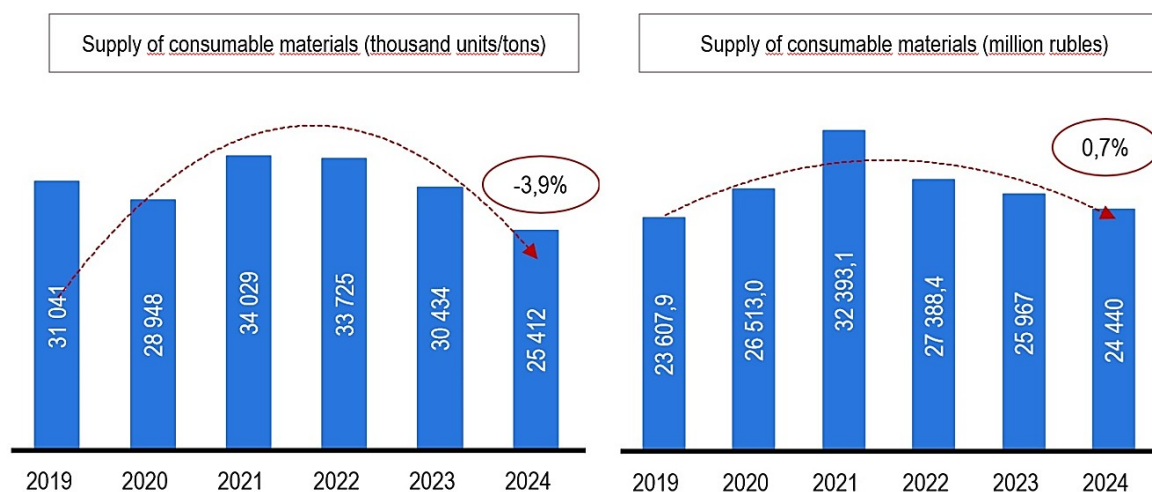


Figure 2 Volume and dynamics of consumable materials supplies.  
(Source: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/>)

In 2024, there was a significant increase in average shipment prices for consumables in rubles, showing a rise of 12.7% compared to 2023. The average cost per unit reached 962 rubles. Considering the overall trend of rising prices since 2019, the total increase in the cost of consumables during this period was 26.5%. The average annual growth rate showed stable dynamics at 4.8% (Figure 3).

The price increase was especially noticeable in the toner and ink segments, where the rise exceeded 50%. Thus, price inflation became a key factor in maintaining the market's monetary indicators amid declining physical volumes [2].

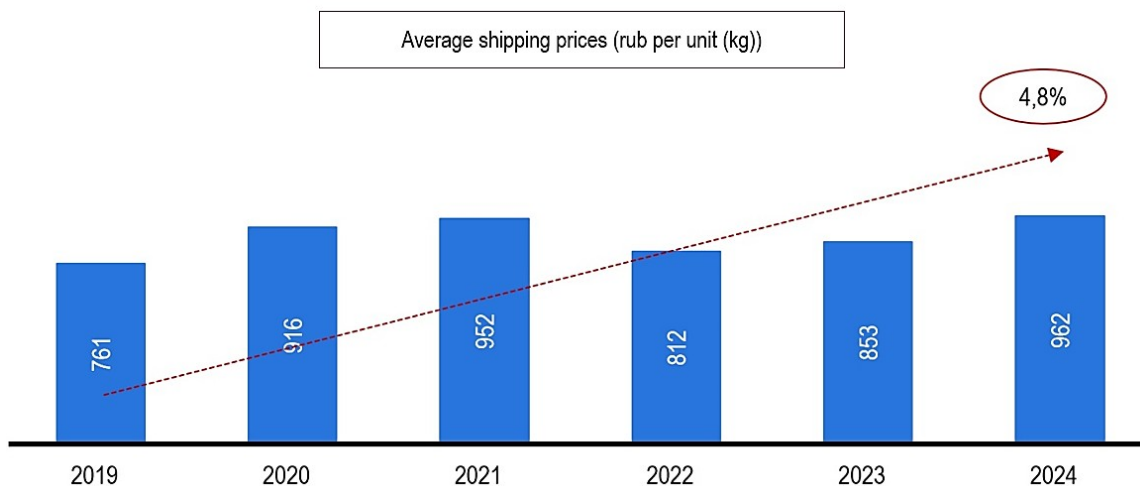


Figure 3 Average shipment prices for consumable supplies.  
(Source: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/>)

The structure of the Russian printing consumables market is characterised by the clear dominance of certain product categories. When analysing value and volume indicators, a distinct imbalance between segments becomes evident: some demonstrate stability and growth, while others experience a noticeable decline in demand.

The Russian market for consumables is primarily shaped by import supplies. Domestic producers account for only 6.8% of the total number of consumables available in the market, although there has been growth in the production of domestic products in recent years.

Domestic production of consumables showed significant growth: from 731,000 units in 2019 to 1.7 million units in 2024 (more than doubling). However, the share of Russian manufacturers in the market remains low — only 6.8%. At the same time, exports have virtually ceased, reflecting a focus on domestic demand [2].

Imports continue to be the dominant source of supply, but their volumes decreased by 22.8% during the same period. In 2024, there were disruptions due to restrictions on financial transactions with China, which increased the risk of shortages in the market (Figure 4).

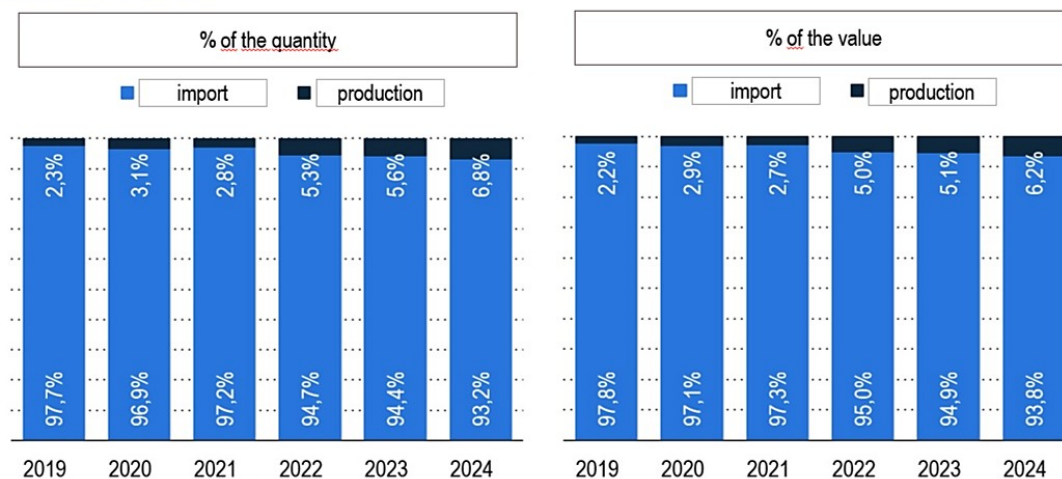


Figure 4 Consumables market structure: imports vs. production.  
(Source: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/>)

The market is largely oriented towards cartridges, which account for about 84% of the value volume. The laser cartridge segment maintains a stable position, while inkjet cartridges show a decline in demand – their volumes have fallen by more than 60% over five years. Toners and inks account for a smaller share, but it is in these categories that price growth is most pronounced (Figure 5).

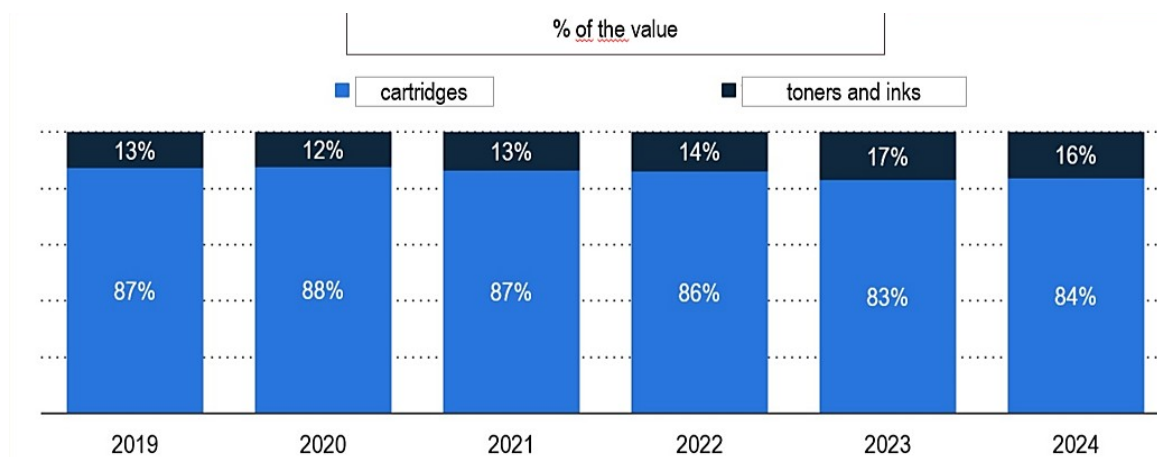


Figure 5 Supplies of consumables by type.  
(Source: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/>)

The imported segment is characterized by high competition among Chinese suppliers [3]. The leaders in cartridge imports are the brands Cactus, Galaprint, Pantum and EasyPrint, while in the toner market, significant positions are held by the Chinese company Handan and Japanese manufacturers Tomoegawa and Imex (Figure 6) [4].

Among domestic companies, the Hi-Black group (also producing NetProduct and Content) retains leadership, accounting for about 42% of Russian production [5]. The second and third places are held by Colortek and Bulat, as well as a number of niche manufacturers, including Graviton, Katyusha and Fplus. The financial performance of several Russian players indicates growing turnover, reflecting a gradual expansion of their market positions [6].

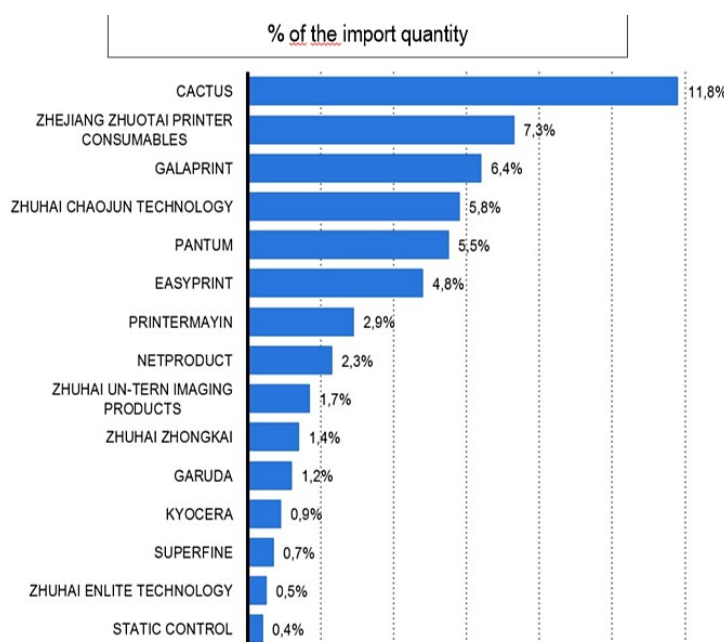


Figure 6 The top-ranking leaders among manufacturers of imported cartridges in the first half of 2024.  
(Source: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/>)

The Russian consumable materials market demonstrates a strong dependence on imports: foreign supplies account for over 90% of the total volume, while the share of domestic production is extremely small.

From 2019 to 2024, the total volume of the Russian consumable materials market decreased by nearly 20%, indicating stagnation due to import issues. At the same time, there is a moderate growth in value volume driven by rising average prices. Imports decreased by nearly 23%, due to both logistical constraints and financial barriers in foreign trade relations [1].

At once, domestic production is growing, especially in the cartridge segment. However, even with this growth, Russian manufacturers are not yet able to significantly impact the supply structure.

Average prices for products are rising, especially for toners and inks. Chinese suppliers dominate the market, with high competition in imports, unlike the domestic manufacturer segment, where there is a clear leadership of the Hi-Black brand [2].

Overall, the market is characterized by high supply instability, moderate domestic growth, and ongoing price inflation.

### Список литературы

1. Рынок картриджей и тонеров. URL: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/> (дата обращения: 30.03.2026)
2. Анализ рынка картриджей и тонеров. URL: <https://research-center.ru/analiz-rynka-kartridzhej-i-tonerov/> (дата обращения: 30.03.2026)
3. Производство. URL: <https://cactus-russia.ru/about/manufacture/> (дата обращения: 31.03.2026)
4. Company profile. URL: [Company profile\\_About us\\_\\_Zhejiang Zhuotai Printer Consumables Co.,LTD](https://cactus-russia.ru/about/manufacture/) (дата обращения: 31.03.2026)
5. О бренде. URL: <https://gala-print.ru/about/> (дата обращения: 31.03.2026)
6. Hi-Black: современные расходные материалы для печатающей техники. URL: <https://hi-black.ru/torgovaya-marka-hi-black/> (дата обращения: 31.03.2026)

### References

1. *Rynok kartridzhei i tonerov*. [The Cartridge and Toner Market]. URL: <https://research-center.ru/rynok-kartridzhej-i-tonerov/> (Accessed: 30.03.2026)
2. **Analiz rynka kartridzhei i tonerov**. [Analysis of the Cartridge and Toner Market]. URL: <https://research-center.ru/analiz-rynka-kartridzhej-i-tonerov/> (Accessed: 30.03.2026)
3. *Proizvodstvo*. [Production]. URL: <https://cactus-russia.ru/about/manufacture/> (Accessed: 31.03.2026)
4. *Company Profile*. URL: [Company profile\\_About us\\_\\_Zhejiang Zhuotai Printer Consumables Co.,LTD](https://cactus-russia.ru/about/manufacture/) (Accessed: 31.03.2026)
5. *O brende*. [About the Brand]. URL: <https://gala-print.ru/about/> (Accessed: 31.03.2026)
6. *Hi-Black: sovremennye raskhodnye materialy dlya pechatayushchei tekhniki*. [Hi-Black: Modern Consumables for Printing Equipment]. URL: <https://hi-black.ru/torgovaya-marka-hi-black/> (Accessed: 31.03.2026)

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*

*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 655.022

**С. Ю. Ледовских**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

© С. Ю. Ледовских, 2026

*В настоящее время концепции Industry 4.0 и интеллектуального производства применяются в различных отраслях промышленности. Однако в области полиграфии мало исследований и внедрений таких инструментов. В работе проведён обзор научных публикаций, посвящённых технологиям Industry 4.0 и возможностям их использования на полиграфическом производстве. Рассматриваются концепции интеллектуального производства, цифровой интеграции и использования производственных данных, а также обсуждаются потенциальные области их применения на различных этапах полиграфического процесса.*

**Ключевые слова:** полиграфическое производство, четвёртая промышленная революция, умное производство, цифровая трансформация.

**S. Yu. Ledovskikh**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **NEXT-GENERATION PRINTING MANUFACTURING: A SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL REVIEW**

*Currently, the concepts of Industry 4.0 and intelligent production are being applied in various industries. However, there is a lack of research and implementation of such tools in the field of printing. This paper provides a review of scientific publications on Industry 4.0 technologies and their potential applications in the printing industry. It explores the concepts of intelligent production, digital integration, and the use of production data, and discusses the potential applications of these concepts at different stages of the printing process.*

**Keywords:** printing manufacturing, Industry 4.0, smart manufacturing, digital transformation.

In recent decades, the printing industry has achieved a high level of technical product quality. Modern printing technologies, materials and post-printing methods provide a level of performance that in many cases is already close to the practical limit and fully satisfies the basic requirements for packaging and printing products. In order to remain competitive, a company must not only produce high-quality products but also effectively manage production processes, fulfill orders quickly, and as a result offer more favorable product prices. Therefore, modern industrial technologies and digital tools are becoming important to optimize work processes and create new models of production organization.

This review was prepared in order to summarize the scientific and technical literature on the production of new-generation printing manufacturing and related technologies in Industry 4.0. To select the sources of literature, we used the following electronic databases: Scopus, ScienceDirect (Elsevier), IEEE Xplore, Google Scholar, Semantic Scholar. The search for sources was conducted on December 10-16, 2025. The primary temporal focus was publications from 2020 to 2025 to capture developments since the advent of Industry 4.0. Earlier seminal works were included when relevant.

Search strings combined printing-specific terms and Industry 4.0, smart manufacturing terms. Example combined search string: (“printing” OR “printing industry”) AND (“Industry 4.0” OR “smart manufacturing” OR “digital twin” OR “cyber-physical systems” OR “IoT” OR “artificial intelligence” OR “automation”).

Included: peer-reviewed journal articles, conference papers, review articles, patents and industry reports in English that discuss technologies, architectures, implementations, or case studies related to modern printing manufacturing or closely related manufacturing domains (CPS, digital twin, IoT) applicable to printing. Excluded: purely marketing materials without technical detail and publications not relevant to manufacturing or printing processes.

Titles and abstracts were screened by the author. Full texts were retrieved for potentially relevant records. Reference lists of key papers were examined for additional sources (snowballing). Records were deduplicated and managed using Zotero.

From each included source we extracted: bibliographic details, technology/topic addressed, methods, application domain (desktop/industrial/print press/post-press), and main findings. Because this is a narrative review, results were synthesized qualitatively to identify major themes, technology readiness, and gaps.

To support the literature review process, AI-assisted tools were employed in a supplementary role. ChatGPT was used for research planning, including the formulation of the article structure, recommendations on relevant keywords, and identification of appropriate academic databases and search platforms for literature retrieval. NotebookLM was used to improve navigation through selected literature and to help organize and structure the reviewed sources. In particular, it was used to group publications and compile an abbreviated literature review, serving as a mental map to identify key topics and relationships between selected studies. Artificial intelligence tools were used exclusively for organizational and analytical support, while all interpretation and conclusions from the reviewed literature were carried out by the author.

Based on the sources reviewed, Table 1 presents the key definitions of industry 4.0 technologies related to next-generation manufacturing and summarizes the main definitions used in the literature. Therefore, the definitions presented here provide a common conceptual basis for the subsequent discussion of technology applications in printing manufacturing.

Table 1. Categorization of selected sources

Technology	Definition
<b>Basic definitions</b>	
Industry 4.0	Often described as the “fourth industrial revolution”, Industry 4.0 is the current trend in automation and data exchange within manufacturing technologies [1; 2]. This means using digital technologies in production. For example, the Internet of Things (IoT), cyber-physical systems (CPS) and big data analysis. These technologies help to constantly collect information and make decisions based on this data [1; 3]. This is an idea of what a production job might look like in the future. Customers will be able to manage their own production, order the machines and materials they need without the help of other people [4].
Smart Manufacturing (SM)	This is defined as the “foundation of industry 4.0” which serves as a manifestation of achievements that ensure increased autonomy and flexibility of the production process [5]. This system is based on decision-making mechanisms using AI, IoT, and big data analytics technologies [1]. It enables the optimization of production processes, enhances safety measures, and minimizes waste in real-time operation. While sometimes used synonymously with Industry 4.0, smart manufacturing refers to physical manufacturing with the integration of intelligent digital technologies to create a holistic corporate environment with well-established relationships [3].
Intelligent Production Systems	These represent a “next-generation” evolution of manufacturing. These systems not only perform simple automation tasks, but can also learn and “understand” information [6]. They help turn raw data into useful knowledge for decision-making. Humans and machines work together using technologies like Generative Pre-trained Transformers GPT to parse complex data structures and generate autonomous process plans [1; 5].
<b>Core Technical Enablers</b>	
Cyber-Physical Systems (CPS)	These are described as a new generation of integrations between physical processes and networking processes, where computer-embedded systems bridge the gap between information technology (IT) and operational technology (OT) [1; 3]. In a CPS, physical objects are given “intelligence” to communicate, learn, and cooperate via global digital networks [3].
Digital Twin (DT)	A Digital Twin is a virtual replica of a tangible item that utilizes sensors, AI, data analytics, and context awareness to mirror its physical counterpart. It represents physical objects or real-world processes in a digital way to provide data that helps manage other processes, keep records, make decisions, and more [3].
Internet of Things (IoT)	This refers to a network of billions of physical devices connected via the internet to enable collaboration and interaction in data collection and exchange [1]. In manufacturing, equipment is assigned an IP address, allowing it to self-monitor and share valuable operational data [3].
<b>Advanced AI and Data Concepts</b>	

Technology	Definition
Generative Modeling	This method uses AI to create new, real-world examples based on existing data. In smart manufacturing, this model helps automate design, predict breakdowns, and improve data [1].
Knowledge Graph (KG)	A KG is a structured semantic knowledge base with a directed graph structure, composed of entities, relationships, and semantic descriptions. It provides a solid foundation for acquiring and leveraging operational data, supporting cognitive decision-making [6].
Machine Vision	A branch of AI where the goal is to make a system capable of detecting and understanding a scene using cameras and computer vision algorithms to conclusions or decisions. It is widely used in printing for defect detection, positioning, and verification [7; 8].
<b>Conceptual Frameworks of Organization and Evolution</b>	
Industry 5.0	It expands the principles of Industry 4.0 focusing on human wellbeing, social and environmental responsibilities, and sustainability. Integration of data analytics and cloud technology improves forecasting, optimizing resources, and increasing security [1].
Digital Transformation	This is a comprehensive transformation of a company's business model, structure, processes, and culture, driven by digital technologies and changing value creation, decision-making, and interaction across the product chain. Unlike digitalization, which enhances existing processes through digital technologies, digital transformation reconfigures how value is created, how decisions are made, and how the enterprise operates within its competitive environment [2].
Predictive Maintenance Management (PMM)	This is a proactive management strategy that uses monitoring analysis models to record routine inspections and remind staff of necessary replacements before a failure occurs. It aims to prolong equipment lifecycles and reduce maintenance costs by forecasting future outcomes based on historical data [2; 9].
Job Definition Format (JDF)	This is an XML-based language that enables communication between disparate machines and software. It acts as a "digital job ticket" carrying all settings and instructions throughout the production workflow, facilitating decentralized coordination in a Smart Factory [4; 10].

Table 1 helps to organize the basic concepts to make them easier to understand and analyze. There are many different explanations in the reviewed literature on this topic, so it is important to define exactly how we understand these concepts in this work. It will help to better divide research into groups and understand how Industry 4.0 technologies are used in the printing industry. By establishing clear definitions, we avoid confusion and can explore the entire topic consistently.



Fig. 1. The concept of Industry 4.0 as an integrated production system.

(This visualization was performed using ChatGPT 4.0.)

In the next step, based on the scope of the application, the literature reviewed (21 sources) was grouped into three main categories: studies explicitly focusing on the application of industry 4.0 technology in printing manufacturing, general industry 4.0 studies that did not target a specific industry sector, and the implementation of advanced manufacturing technology in other industries, which provided transferable concepts and solutions for printing manufacturing. The categorization is summarized in Table 2.

Table 2. Categorization of selected sources

Category name	Main Research Focus	Commonly Discussed Technologies	Level of Specificity to Printing Manufacturing
1. Industry 4.0 in Printing Manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enhancing color accuracy;</li> <li>– automating quality inspection,</li> <li>– optimizing pre-press and press operations;</li> <li>– transitioning from product-sales to Product-Service Systems (PSS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Artificial Intelligence (AI): Deep Learning for detecting newspaper defects like smudging and misregistration;</li> <li>– Cloud Computing: Platforms for Predictive Maintenance Management (PMM) of printing press equipment;</li> <li>– Metadata Standards: JDF and XJDF for decentralized coordination of printing jobs.</li> <li>– Data Analytics: Using Big Data from MIS to predict ink density and paper web breaks;</li> <li>– Machine Vision: Inline systems for automated proofreading and fault detection.</li> </ul>	Very High. These sources address the unique physical variables of the sector, such as ink viscosity, substrate humidity, and halftone dot deformations.
2. General Industry 4.0 and Smart Manufacturing Studies	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Establishing the “Smart 5C” architecture;</li> <li>– defining the evolution from Industry 4.0 to Industry 5.0;</li> <li>– integrating Generative AI into computer-aided process planning.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Digital Twins (DT): Virtual replicas for real-time monitoring and synchronization;</li> <li>– Cyber-Physical Systems (CPS): The integration of physical processes with networked computing logic;</li> <li>– Generative Modeling: Using Diffusion Models and GPT to generate autonomous manufacturing plans;</li> <li>– Edge/Fog Computing: Processing data near the source to enable millisecond-level response times.</li> </ul>	Low. These studies focus on universal manufacturing principles (sustainability, resilience, and human-centricity) that are intended to be applied across any industrial sector.
3. Industry 4.0 Applications in Other Manufacturing Sectors	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Logistics automation;</li> <li>– defect detection in textiles and electronics;</li> <li>– production line balancing in process industries.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robotics: Kiva and Pegasus robots for autonomous fulfillment in smart warehouses;</li> <li>– Vision Transformers (ViT): Detecting stitching defects in woven packaging bags.</li> <li>– Knowledge Graphs (KG): Representing heterogeneous data for refrigerator manufacturing shop-floors.</li> <li>– Augmented Reality (AR): Active digital assistants for apparel assembly line operators.</li> </ul>	None. However, through these studies, it is feasible to examine their experiences and adapt comparable concepts in the field of graphic design.

Among the three identified groups, general Industry 4.0 and smart manufacturing studies (Category 2) and Industry 4.0 in printing manufacturing (Category 1) have the most unique and in-depth topics. Category 2 often look at whole, self-learning systems and provides structural and architectural “blueprints”, while Category 1 offers

a lot of evidence and reviews specific to printing and usually focuses on improving specific details, such as color accuracy or how well materials move through the printing process.

The topics mentioned in the sources were highlighted. Then we calculated how many sources that mentioned each of these topics within each category of sources. The results of the calculations are shown in the histogram in Fig. 2.

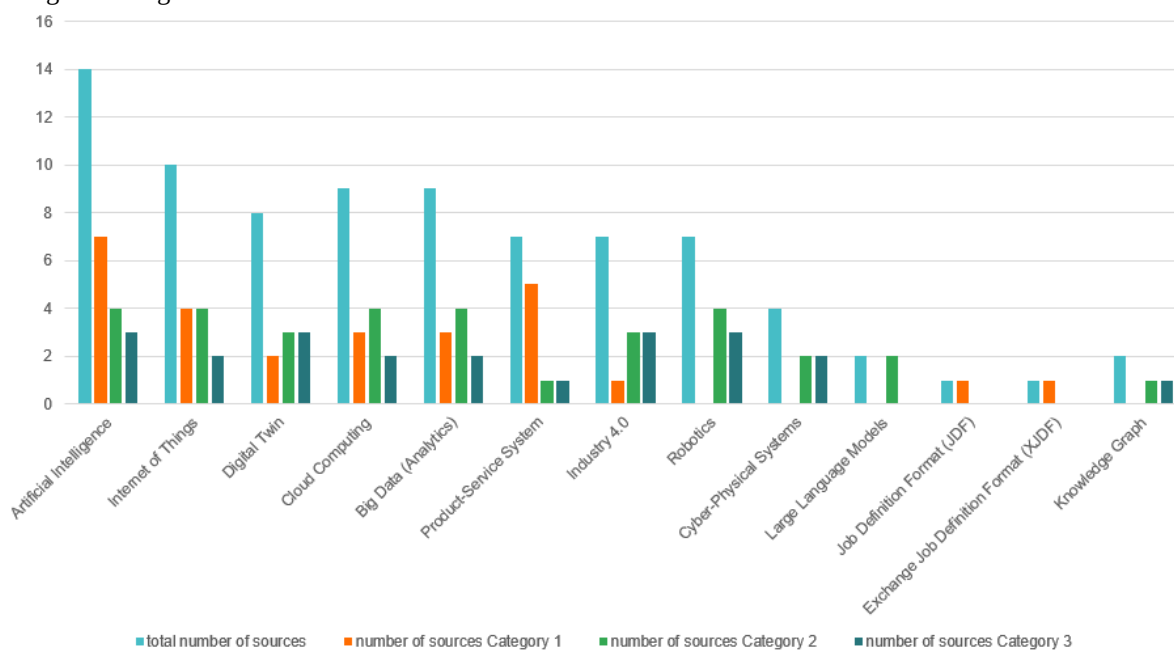


Fig. 2. Frequency of technologies mentions in reviewed literature.

In Fig. 2, it can be noted that the largest number of mentions both in works devoted to the printing industry (Category 1) and in research on the industry as a whole (Category 2) are related to Artificial Intelligence and Internet of Things technologies. However, it is worth noting that in the Category 2, AI is framed as a tool for fast and autonomous decision-making but in printing it is predominantly applied through Machine Vision for defect detection. Cloud Computing also shows high frequency, particularly as an enabler for Predictive Maintenance Management (PMM) platforms that extend equipment lifecycles. This shows that today it is important to study them for the transition to digital technologies in factories. They mainly help automate work, collect production data, and help make decisions.

At the same time, some technological areas, such as Cyber-Physical Systems, Robotics and Knowledge Graph, are practically not considered in the literature on printing production. However, their presence in research in other industries (Category 3) may indicate the potential for their further study and possible application in the printing industry.

In general, after analyzing literature, it can be noted that Industry 4.0 changes printing production by moving from manual controls to decentralized coordination where “the product controls the process”. These technologies operate in a CPS converting raw data into knowledge but implementation is still fragmentary. To date advanced AI and IoT have solved specific tasks but not achieved full Smart Factory integration.

During the study, we identified the main areas of potential application of Industry 4.0 technologies at various stages of printing production. The data was collected in Table 3.

Table 3. Categorization of selected sources

Stage	Application of technologies
Organization and enterprise management	Artificial Intelligence, Big Data Analytics, and Cloud Computing could be used to analyze production data, schedule equipment utilization, and predict maintenance needs. The use of the Internet of Things (IoT) could enable the integration of production equipment into a single information system, allowing for the collection and processing of data on machine status and production processes. It can enhance the transparency of production operations and support decision-making processes.

Stage	Application of technologies
Marketing and customer interaction	Marketing activities are focused on the needs of customers of printed products. In this area, Big Data Analytics and Artificial Intelligence technologies could be used to analyze data on orders, customer preferences, and market trends. Such tools could help printers better adapt their services, optimize production offerings, or predict new service lines.
Production process management	Cyber-Physical Systems (CPS) and IoT technologies could be used to coordinate and manage production processes, ensuring the integration of production equipment and digital control systems. It will facilitate the synchronization of diverse production phases, enable real-time monitoring of equipment status, and enhance the adaptability of production processes.
Prepress	Artificial Intelligence, Machine Learning, and Cloud Computing technologies can be used to automate file preparation, layout verification, and workflow management. Machine learning algorithms can be used to automatically detect errors in files and warn about possible problems at subsequent stages.
Printing	IoT, Machine Vision, and Big Data Analytics technologies can be used to monitor equipment performance and control print quality. Machine vision systems are used to detect image defects, color parameter deviations, and other manufacturing inconsistencies. In addition, the analysis of production data will help optimize the parameters of the printing process.
Post-printing	At the post-printing stage, digital technologies can be used to automate process operations. The use of IoT and monitoring systems can help track equipment usage and optimize production flows.
Quality control and preparation for shipment	Before packaging and shipping products, Machine Vision and Artificial Intelligence technologies can be used to automatically inspect the quality of finished products.

Thus, Industry 4.0 technologies can be considered tools for improving all stages of the production printing process. However, their work will be effective only if they are properly integrated into well-structured production process systems. A comprehensive approach to work organization can significantly improve the flexibility, sustainability, and competitiveness of a company. A possible diagram of such a production cycle is shown in Figure 3.

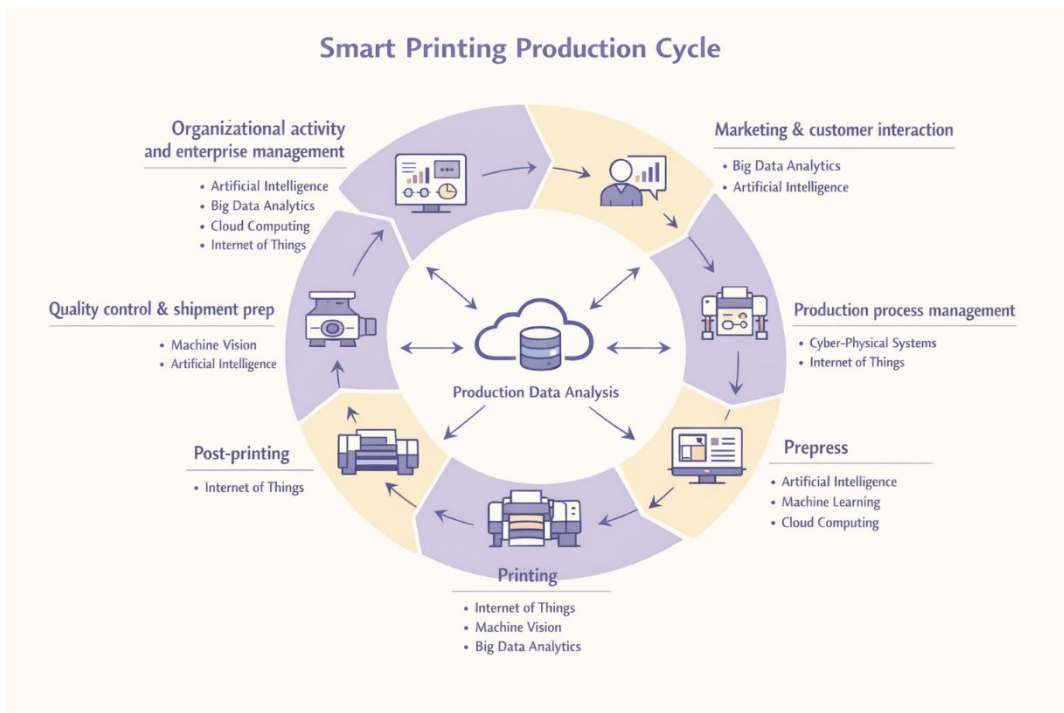


Fig. 3. The conceptual model of a smart printing production cycle. (This visualization was performed using ChatGPT 4.0.)

The diagram summarizes a possible model for organizing the production process using digital technologies and systematic data management.

As a result of the literature review, the main areas of application of Industry 4.0 technologies in printing production have been identified. The studies reviewed show that digital technologies can be used at different stages of the production cycle. However, their effectiveness depends not only on the availability of the technologies themselves, but also on a systematic approach to their implementation and the construction of production processes.

The analysis of publications also showed that, unlike many other industries, printing is still underrepresented in research on the application of Industry 4.0 technologies. In particular, there is a lack of research that explores how digital tools can be integrated into the production cycle of printing houses and assesses their practical effectiveness.

Thus, the research findings on how to use modern digital technologies in printing is an important scientific and practical area. The further research will focus on developing and testing practical models for implementing Industry 4.0 technologies to improve production processes and increase the productivity of printing enterprises.

### Список литературы

1. Ahsan M. N., Islam M. D. S., Bappy M. M. Generative modeling in smart manufacturing: Applications, challenges, and future directions // *Manufacturing Letters*. 2025. V. 44. С. 1285–1295. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213846325001804> (дата обращения: 29.01.2026).
2. Trochoutsos C., Sofias Y. The importance of data analysis in the modern era of print production University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design, 2022. С. 853–859. URL: <https://www.grid.uns.ac.rs/symposium/download/2022/94.pdf> (дата обращения: 29.01.2026).
3. Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. An integrated outlook of Cyber–Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications // *Green Technologies and Sustainability*. 2023. № 1 (1). С. 100001. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S294973612200001X?via%3Dihub> (дата обращения: 29.01.2026).
4. Stuttgart Media University, Stuttgart, Germany, Hoffmann-Walbeck T. Smart factory: Jdf and XJdf // *Journal of Graphic Engineering and Design*. 2018. № 1 (9). С. 5–9. URL: <http://jged.uns.ac.rs/index.php/jged/article/view/491/1312> (дата обращения: 29.01.2026).
5. Azab A., Osman H., Baki F. CAPP-GPT: A computer-aided process planning-generative pretrained transformer framework for smart manufacturing // *Manufacturing Letters*. 2024. V. 41. С. 51–62. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384632400066X?via%3Dihub> (дата обращения: 29.01.2026).
6. Yuanzhe Zh., Ying Ch., Qinglin Q., Fei T. A knowledge graph-based operational data representation method of digital twin shop-floor towards smart manufacturing // *ScienceDirect*. 2025. P. 861–866. DOI: 10.1016/j.procir.2025.02.211 (дата обращения: 29.01.2026).
7. Ivana T., Ivan P., Nada M., Savka A. Artificial intelligence in printing University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design, 2022. С. 453–458. URL: <https://www.grid.uns.ac.rs/symposium/download/2022/49.pdf> (дата обращения: 29.01.2026).
8. Wang Q.X., Dong C.L., Liu J.T. A ViT-based Method of Stitching Defect Detection for Packaging Bags by Integrating Image Correction and Transfer Learning Solutions // *Data Intelligence*. 2024. № 4(6). С. 1086–1113. URL: <https://www.sciengine.com/DI/doi/10.3724/2096-7004.di.2024.0020> (дата обращения: 29.01.2026).
9. Cao S., Yang Ya. Wei X., Jian T., Rehan A., Zhang P., Xiang X. Cloud-based Approach for Prevention Maintenance Management Platform of Printing Press equipment // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021. V. 1971, № 1. С. 012086. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1971/1/012086> (дата обращения: 29.01.2026).
10. Karlovits I. Technologies for using Big Data in the paper and printing industry // *Journal of Print and Media Technology Research*. 2017. № 2–2017. URL: <https://doi.org/10.14622/JPMTR-1706> (дата обращения: 29.01.2026).

### References

1. Ahsan M. N., Islam M. D. S., Bappy M. M. Generative modeling in smart manufacturing: Applications, challenges, and future directions // *Manufacturing Letters*. 2025. Vol. 44. Pp. 1285–1295. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213846325001804> (Accessed: 29.01.2026).
2. Trochoutsos C., Sofias Y. The importance of data analysis in the modern era of print production // *University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design*, 2022. Pp. 853–859. URL: <https://www.grid.uns.ac.rs/symposium/download/2022/94.pdf> (Accessed: 29.01.2026).
3. Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. An integrated outlook of Cyber–Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications // *Green Technologies and Sustainability*. 2023. No. 1 (1). Pp. 100001. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S294973612200001X?via%3Dihub>

(Accessed: 29.01.2026).

4. Stuttgart Media University, Stuttgart, Germany, Hoffmann-Walbeck T. Smart factory: Jdf and XJdf // *Journal of Graphic Engineering and Design*. 2018. No. 1 (9). Pp. 5–9. URL: <http://jged.uns.ac.rs/index.php/jged/article/view/491/1312> (Accessed: 29.01.2026).

5. Azab A., Osman H., Baki F. CAPP-GPT: A computer-aided process planning-generative pretrained transformer framework for smart manufacturing // *Manufacturing Letters*. 2024. V. 41. Pp. 51–62. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384632400066X?via%3Dihub> (Accessed: 29.01.2026).

6. Yuanzhe Zh., Ying Ch., Qinglin Q., Fei T. A knowledge graph-based operational data representation method of digital twin shop-floor towards smart manufacturing // *ScienceDirect*. 2025. P. 861–866. DOI: 10.1016/j.procir.2025.02.211 (Accessed: 29.01.2026).

7. Ivana T., Ivan P., Nada M., Savka A. Artificial intelligence in printing // *University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design*, 2022. Pp. 453–458. URL: <https://www.grid.uns.ac.rs/symposium/download/2022/49.pdf> (Accessed: 29.01.2026).

8. Wang Q.X., Dong C.L., Liu J.T. A ViT-based Method of Stitching Defect Detection for Packaging Bags by Integrating Image Correction and Transfer Learning Solutions // *Data Intelligence*. 2024. № 4 (6). Pp. 1086–1113. URL: <https://www.sciengine.com/DI/doi/10.3724/2096-7004.di.2024.0020> (Accessed: 29.01.2026).

9. Cao S., Yang Ya. Wei X., Jian T., Rehan A., Zhang P., Xiang X. Cloud-based Approach for Prevention Maintenance Management Platform of Printing Press equipment // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021. V. 1971. No. 1. Pp. 012086. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1971/1/012086> (Accessed: 29.01.2026).

10. Karlovits I. Technologies for using Big Data in the paper and printing industry // *Journal of Print and Media Technology Research*. 2017. No. 2. URL: <https://doi.org/10.14622/JPMTR-1706> (Accessed: 29.01.2026).

Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова  
Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD

УДК 004.732:004.75

**Нгуен Минь Хоанг**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ СВЯЗИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

@ Нгуен Минь Хоанг, 2026

*В данной статье предлагается децентрализованная система обмена данными, использующая мобильные устройства в качестве ретрансляционных узлов, что позволяет создавать коммуникационные сети, независимые от традиционной телекоммуникационной инфраструктуры. Данный механизм особенно ценен в условиях стихийных бедствий или вооружённых конфликтов, когда базовые станции сотовой связи и центральные серверы оказываются разрушенными. Система основана на архитектуре мобильных самоорганизующихся сетей (MANET) в сочетании с протоколами сетей, устойчивых к задержкам (DTN), что позволяет устройствам сохранять и передавать данные при установлении соединения в пределах зоны коротковолновой связи. В исследовании анализируются проблемы, связанные с маршрутизацией, безопасностью и энергопотреблением, а также предлагаются интеллектуальные решения для маршрутизации, основанные на социальном поведении пользователей, с целью оптимизации эффективности коммуникации.*

**Ключевые слова:** сети без инфраструктуры, сети, устойчивые к задержкам, мобильные самоорганизующиеся сети, ликвидация последствий стихийных бедствий, одноранговая связь.

**Nguyen Minh Hoang**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **A DECENTRALIZED DATA SHARING MECHANISM VIA MOBILE DEVICES FOR COMMUNICATION INFRASTRUCTURE RESILIENCE IN DISASTER SCENARIOS**

*The paper proposes a decentralized data sharing system utilizing mobile devices as relay nodes, enabling the establishment of communication networks independent of traditional telecommunications infrastructure. This mechanism is particularly valuable in disaster or conflict contexts where cell towers and central servers are destroyed. The system is based on MANET architecture combined with Delay-Tolerant Networking (DTN) protocols, allowing devices to store and forward data when they encounter each other within short-range connectivity. The research analyzes challenges related to routing, security, and energy consumption, while proposing intelligent routing solutions based on user social behavior to optimize communication performance.*

**Keywords:** infrastructureless networks, delay-tolerant networks, mobile ad-hoc networks, disaster recovery, peer-to-peer communication, routing protocol evaluation, Sybil attack detection.

Telecommunications infrastructure is particularly vulnerable to destruction during natural disasters and armed conflicts, often leading to the death and injury of thousands of people where rescue teams are unable to locate victims in a timely manner. According to International Telecommunication Union (ITU) statistics, during the 2010 Haiti earthquake, approximately 85% of cellular base stations were destroyed, leaving survivors unable to contact rescue forces during the critical first 72 hours — the golden window for life-saving operations [1]. Traditional communication networks rely on centralized infrastructure including cell towers, base stations, and core network servers, which can be completely disabled when such facilities are damaged or destroyed. This dependency creates critical communication gaps exactly when connectivity is most needed for emergency response and coordination.

The growing number of mobile devices equipped with wireless interfaces has opened new possibilities for networking. Modern smartphones integrate multiple wireless technologies including WiFi, Bluetooth, WiFi Direct, and increasingly peer-to-peer communication capabilities that can operate without infrastructure support. Research has demonstrated that smartphones can establish ad-hoc networks using frameworks such as Multipier

Connectivity and WiFi P2P, enabling device-to-device communication even when global connectivity is unavailable [2]. This proliferation of powerful mobile devices creates an opportunity to establish alternative communication channels that do not depend on traditional telecommunications infrastructure.

This paper proposes a decentralized data sharing mechanism that transforms individual mobile devices into relay nodes within a mesh network, enabling users to maintain communication when conventional infrastructure is unavailable. The proposed system leverages existing hardware in users' pockets, requiring no additional equipment or specialized deployment, making it immediately applicable in emergency scenarios. The mechanism draws upon research in Delay-Tolerant Networks (DTNs) and Mobile Ad-hoc Networks (MANETs), adapting these technologies for practical deployment on commodity smartphones.

The main contributions of this paper are:

1. A comprehensive hybrid architecture combining MANET and DTN principles with detailed component specification, including Context Data Management Layer and Context Data Spreading Layer, along with concrete message formats and naming schemes.
2. Quantitative performance evaluation through simulation of three routing protocols (Epidemic, PROPHET, and LESC) under realistic disaster mobility scenarios using the ONE simulator, measuring delivery ratio, latency, overhead, and energy consumption across three different emergency contexts: urban earthquake, rural flood, and building evacuation
3. Demonstration that socially-aware routing (LESC) achieves superior performance with 8.5% higher delivery ratio, 73% lower overhead, and 68% lower energy consumption compared to epidemic routing in dense disaster scenarios.

## 1. Background and Related Work

### 1.1. Infrastructureless Delay-Tolerant Networks

Delay-Tolerant Networks are characterized by high and unpredictable node mobility, where routing paths between endpoints change frequently and the network may be disconnected with multiple partitions. In such environments, classic Internet routing protocols become ineffective, requiring alternative approaches that can handle intermittent connectivity [3]. DTNs implement a store-and-forward communication model where messages are temporarily stored at intermediate nodes until connectivity becomes available, enabling communication despite the absence of end-to-end paths.

Research has demonstrated that infrastructureless DTNs composed of commodity mobile devices have the potential to support communication applications resistant to blocking and censorship [4]. Simulation results using epidemic flooding protocols show that such networks can achieve average delivery rates of 0.71 within 24 hours with median delivery delays of 10.9 hours, performance levels appropriate for sharing non-time-sensitive information such as emergency status updates and situational awareness data.

The ONE simulator has become a standard tool for DTN research, enabling realistic evaluation of routing protocols under various mobility models [5]. Recent studies have utilized actual traveling paths derived from Google Maps to create more accurate mobility patterns, significantly improving the validity of simulation results [6]

### 1.2. Mobile Ad-hoc Networks for Disaster Recovery

Mobile Ad-hoc Networks are composed of mobile devices connected wirelessly to form networks without requiring existing architecture or centralized control [7]. MANETs are particularly useful in situations where traditional network connectivity is unavailable or infrastructure is inadequate, making them highly relevant for disaster scenarios. However, managing communications effectively while minimizing delay in networks of smartphones presents significant challenges including network instability from mobility, frequent disconnections, and latency issues.

Raffelsberger and Hellwagner [8] evaluated MANET routing protocols in realistic emergency response scenarios, demonstrating that nodes have diverse connectivity characteristics which are challenging for state-of-the-art MANET routing protocols. Their subsequent work proposed a hybrid MANET-DTN routing scheme that integrates store-and-forward mechanisms with proactive routing protocols, showing that networks for disaster responses benefit from the modified routing protocols [9]. This hybrid approach has been further developed by Krug et al. [10], who proposed a solution based on layer 3 service discovery and contact-aware utility scoring mechanisms, demonstrating better overall performance in the presence of long-lasting stable contacts.

### 1.3. Routing Protocols for DTNs

Several routing protocols have been developed specifically for DTN environments:

- Epidemic Routing: Each node replicates messages to all encountered nodes, achieving maximum delivery ratio at the cost of high resource consumption [11]. While simple and robust, it scales poorly and exhausts battery quickly.
- PROPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity): Uses a delivery predictability metric based on encounter history, reducing unnecessary replication while maintaining good delivery performance [12].

– LESC (Low Energy Socially Cognizant) Routing: Leverages social relationships and frequent collocation of socially related peers to improve DTN performance [6]. Baker's dissertation demonstrates that LESC achieves 5% higher message delivery while using 73% less bandwidth and 12% less energy compared to epidemic routing in tested environments [13]. The protocol prioritizes nodes as information carriers based on social behavior patterns, making it particularly suitable for disaster scenarios where survivors tend to move in social groups.

## **2. Proposed System Architecture**

### **2.1. Network Model and Assumptions**

The proposed system adopts a hybrid architecture combining MANET and DTN principles, designed specifically for commodity mobile devices. Following the RECOVER architecture approach [14], the system is organized into two principal layers:

1. Context Data Management Layer: Handles high-level functionalities for data production, subscription management, and retrieval, including message creation, encryption, and application interfaces.

2. Context Data Spreading Layer: Implements low-level operations for data routing, neighbor discovery, and wireless communications, including the store-carry-forward mechanism.

System Assumptions:

- Each device is a commercial smartphone with WiFi Direct and Bluetooth LE capabilities.
- No centralized infrastructure (cellular towers, internet connectivity) is available.
- Devices have limited battery capacity (typical 2000-4000 mAh).
- Users move according to realistic disaster mobility patterns (survivors gathering in safe zones, rescue workers moving systematically).

- Network is intermittently connected with frequent partitions.

- Messages are typically text-based or small media files (< 10 MB).

Device States: Each mobile device functions as an autonomous node capable of three primary operations:

- Message Generation: Creating original messages (SOS alerts, status updates, situational reports)

- Message Storage: Storing received messages in local buffer for future forwarding.

- Message Relay: Forwarding messages to neighboring devices when encounters occur.

The illustrates the proposed system architecture with the following components:

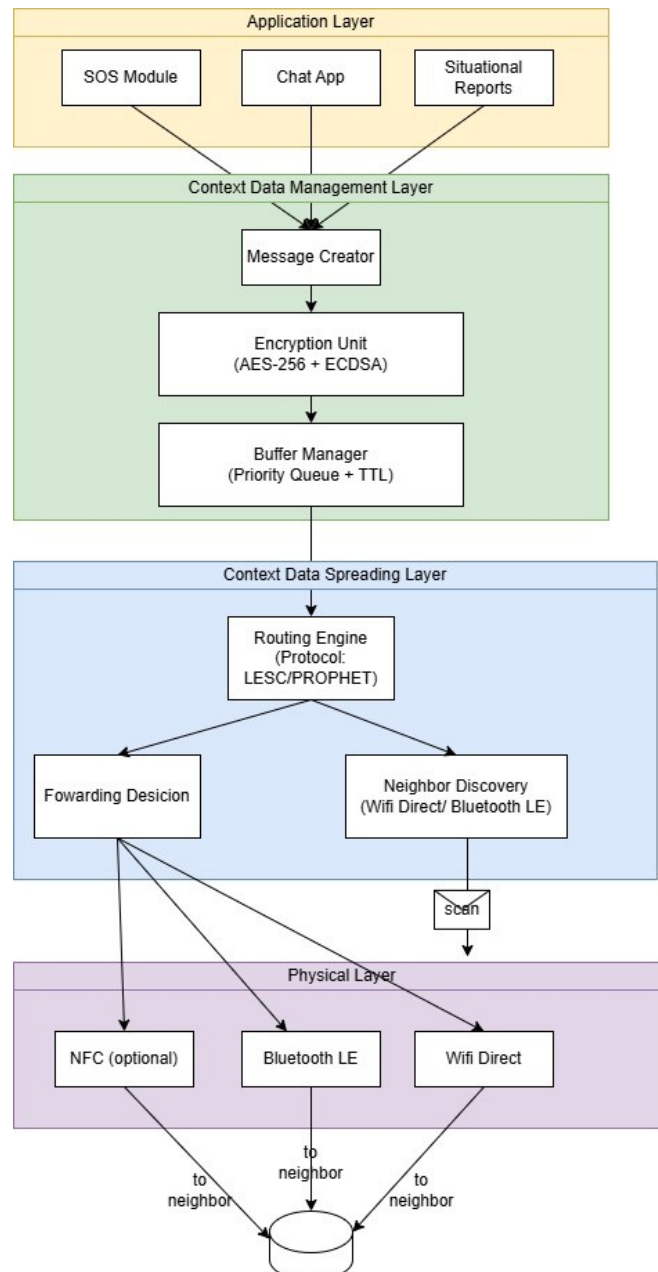


Figure 1: Proposed System Architecture

Рис. 1. Архитектура предложенной децентрализованной системы обмена данными

## 2.2. Data Routing Mechanism

The routing mechanism employs an encounter-based approach where data dissemination occurs when devices come within wireless range. Unlike traditional MANET routing protocols that attempt to establish end-to-end paths, this system focuses on opportunistic forwarding that leverages human mobility patterns.

### Algorithm 1: Encounter-Based Message Forwarding

When node A encounters node B:  
 Exchange summary vectors (list of stored message IDs)  
 For each message  $m$  in A's buffer not destined for A:  
 If destination is B:  
 Forward  $m$  to B immediately  
 Else:  
 Compute delivery probability  $P_{del}(m, B)$  based on:  
 - Historical encounters with destination  
 - Social similarity between B and destination  
 - Battery level of B

- Available bufer space in B  
 If  $P_{del}(m, B) > \text{threshold } T$ :  
 Forward copy of m to B  
 Decrement remaining copies count for m  
 Update encounter history for all nodes

Encounter-Based Forwarding: When a node receives a message not destined for itself, it stores the message locally and carries it until meeting other nodes, at which point forwarding decisions are made based on destination proximity and delivery probability estimates.

Multi-Copy Forwarding with Controlled Replication: The system implements multi-copy forwarding with controlled replication, limiting the number of message copies to balance delivery probability against resource consumption. Initial replication factor L is set based on network density estimates:

- Low density (< 50 nodes/km<sup>2</sup>): L = 7 copies
- Medium density (50-200 nodes/km<sup>2</sup>): L = 5 copies
- High density (> 200 nodes/km<sup>2</sup>): L = 3 copies

**2.3. Addressing and Naming**

Traditional IP-based addressing presents significant challenges in infrastructureless environments, as IP address configuration becomes complex and addresses merely serve as unique node identifiers rather than location indicators. The proposed system adopts a data-centric naming approach inspired by Named Data Networking principles, where messages are identified by semantically meaningful names independent of node location or underlying connectivity.

Message Name Format: /emergency/[message-type]/[origin-ID]/[timestamp]/[content-hash]

Example:

- /emergency/SOS/device-ABC123/20240315-143022/8f3a2b...
- /emergency/status-update/device-XYZ789/20240315-143105/a1b2c3...
- /emergency/situational-report/zone-NORTH/20240315-144012/d4e5f6...

This data-centric paradigm enables intelligent forwarding decisions based on data relevance rather than just destination addresses. Nodes express interest in specific message types or geographical zones, and the routing layer prioritizes messages matching those interests.

**2.4. Message Structure:**

Each message follows a standardized format:

Table 1: Message format in the proposed system

Field	Size	Description
Message ID	16 bytes	Globally unique identifier (SHA-256 hash)
Message Type	1 byte	0x01: SOS, 0x02: Status Update, 0x03: Report
Source GUID	20 bytes	Globally Unique identifier of origin
Destination GUID	20 bytes	Recipient identifier (broadcast for public messages)
Timestamp	8 bytes	Unix timestamp of creation
TTL	4 bytes	Time-to-live in seconds
Hop Count	2 bytes	Number of relays so far
Priority	1 byte	0-255 (higher = more urgent)
Payload Length	4 bytes	Size of encrypted payload
Encrypted Payload	Variable	AES-256 encrypted content
Signature	64	bytes ECDSA signature over all previous fields

**3. Simulation Methodology and Performance Evaluation**

**3.1. Simulation Setup:**

To evaluate the proposed system, we conducted extensive simulations using the ONE (Opportunistic Network Environment) Simulator version 1.6.0 [5]. The ONE simulator is specifically designed for DTN research and supports various mobility models, routing protocols, and visualization tools.

Simulation Scenarios: We designed three disaster scenarios representing different emergency contexts:

Table 2: Parameters of simulation scenarios

Scenario	Area (km)	Nodes	Duration	Mobility Model	Description
Urban Earthquake	2x2	250	24h	Disaster Area [15]	Survivors moving to gathering points, rescue workers patrolling
Rural Flood	5x5	100	48h	Random Waypoint + Groups	Evacuees moving to high ground, rescue boats
Building	0.2x0.2	50	2h	Shortest Path Map-	People exiting building, first

Evacuation				Based	responders entering
------------	--	--	--	-------	---------------------

Node Types:

- Survivors (70%): Carry smartphones, move slowly in groups, send SOS and status updates
- Rescue Workers (20%): Carry enhanced devices, move systematically, share situational data
- Static Nodes (10%): Temporary base stations or information posts

Communication Parameters:

- Wireless Range: WiFi Direct (50m), Bluetooth LE (30m)
- Data Rate: 2 Mbps (WiFi Direct), 1 Mbps (Bluetooth LE)
- Buffer Size: 100 MB per node
- Message Size: 1 KB (SOS) to 5 MB (images/reports)
- Message Generation Rate: Poisson process with  $\lambda = 0.1$  messages/minute/node

### 3.2. Routing Protocols Evaluated

We compared three routing protocols:

1. Epidemic Routing: Baseline protocol with unlimited replication
  2. PROPHET v2: With delivery predictability parameters  $\alpha = 0.75$ ,  $\beta = 0.25$ ,  $\gamma = 0.98$
  3. LESC: Low Energy Socially Cognizant routing with social graph update interval = 1 hour
- Each protocol was evaluated with the same mobility traces and message generation patterns.

### 3.3. Performance Metrics

We measured the following metrics:

1. Delivery Ratio: Percentage of messages successfully delivered within TTL
2. Average Latency: Time from message creation to delivery (for delivered messages)
3. Overhead Ratio: (Number of relay transmissions - Number of deliveries) / Number of deliveries
4. Energy Consumption: Estimated based on transmission count, reception count, and scanning

frequency, using the energy model from [13]:  $E_{total} = E_{tx} \times N_{tx} + E_{rx} \times N_{rx} + E_{scan} \times t_{scan}$

### 3.4. Simulation Results

#### 3.4.1. Delivery Ratio

Table 3: Delivery Ratio by Protocol and Scenario

Protocol	Urban Earthquake	Rural Flood	Building Evacuation	Average
Epidemic	0.71	0.68	0.82	0.74
PROPHET	0.69	0.72	0.79	0.73
LESC	0.77	0.76	0.85	0.79

LESC consistently outperforms both Epidemic and PROPHET across all scenarios, achieving 8.5% higher delivery ratio than Epidemic in the Urban Earthquake scenario. This improvement is attributed to LESC's social awareness, which prioritizes forwarding to nodes likely to encounter the destination based on historical social relationships.

In the Building Evacuation scenario, all protocols perform better due to higher node density and predictable movement patterns along evacuation routes.

#### 3.4.2. Average Latency

Table 4: Average Delivery Latency (hours)

Protocol	Urban Earthquake	Rural Flood	Building Evacuation
Epidemic	10.9	14.2	0.8
PROPHET	11.8	13.5	1.1
LESC	9.7	12.1	0.9

LESC achieves lower latency than Epidemic in the Urban Earthquake scenario (9.7h vs 10.9h) by intelligently selecting forwarding nodes rather than blind replication. In the Building Evacuation scenario, all protocols achieve rapid delivery due to high connectivity.

#### 3.4.3. Overhead Ratio

Table 5: Overhead Ratio (transmissions per delivery)

Protocol	Urban Earthquake	Rural Flood	Building Evacuation	Average
Epidemic	28.4	31.2	15.7	25.1
PROPHET	12.3	14.8	8.2	11.8
LESC	7.8	9.1	5.3	7.4

LESC dramatically reduces overhead compared to Epidemic (73% reduction in Urban Earthquake), confirming Baker's findings [13]. This reduction is critical for battery conservation and channel efficiency in dense disaster areas.

#### 3.4.4. Energy Consumption

Table 6: Energy Consumption (percentage of battery over 24 hours)

Protocol	Urban Earthquake	Rural Flood	Building Evacuation
----------	------------------	-------------	---------------------

Epidemic	21.4%	19.8%	14.2%
PROPHET	12.7%	13.1%	8.9%
LESC	6.8%	7.2%	4.5%

LESC consumes significantly less energy than Epidemic (68% reduction in Urban Earthquake) and 46% less than PROPHET. This extends device operational lifetime from approximately 4.7 days (Epidemic) to over 14 days (LESC) on a typical 3000 mAh battery, crucial for prolonged disaster scenarios where charging may be unavailable.

### 3.4.5. Scalability Analysis

We evaluated LESCC performance with varying node density in the Urban Earthquake scenario:

Table 7: Scalability analysis of the LESCC protocol

Node Count	Delivery Ratio	Latency (h)	Overhead Ratio	Energy (%)
50	0.52	16.8	4.2	3.1%
100	0.63	13.4	5.8	4.7%
250	0.77	9.7	7.8	6.8%
500	0.81	8.2	9.5	8.9%

LESC scales well up to 500 nodes, with delivery ratio continuing to improve due to increased encounter opportunities. Overhead increases sub-linearly, demonstrating the protocol's efficiency in dense deployments.

### 3.5. Discussion of Results

The simulation results validate the effectiveness of socially-aware routing for disaster communication. Key findings include:

1. LESCC superiority: Socially-cognizant routing consistently outperforms both blind replication (Epidemic) and history-based prediction (PROPHET) across all metrics and scenarios.

2. Energy efficiency is critical: LESCC's 68% energy reduction compared to Epidemic translates to days of additional operational time, potentially meaning the difference between successful rescue and missed communication.

3. Scalability is manageable: Even at 500 nodes, LESCC maintains reasonable overhead (9.5 transmissions per delivery), suggesting the system can handle dense urban disaster scenarios.

4. Scenario matters: Building evacuation scenarios achieve the best performance due to predictable movement patterns and high encounter frequency, while rural floods present the greatest challenges due to sparse distribution.

These results align with and extend previous research [6][9][13], providing quantitative evidence for the proposed architecture's viability.

## 4. Key Challenges and Solutions

### 4.1. Routing in Intermittent Connectivity

The primary challenge in infrastructureless networks is maintaining communication when end-to-end paths rarely exist. The proposed system addresses this through intelligent forwarding strategies that prioritize messages based on delivery probability and time sensitivity. Low Energy Socially Cognizant (LESC) routing demonstrates the potential of leveraging social relationships to improve DTN performance, achieving 5% higher message delivery while using 73% less bandwidth and 12% less energy compared to epidemic routing in tested environments.

The system implements multi-copy forwarding with controlled replication, limiting the number of message copies to balance delivery probability against resource consumption. When nodes encounter each other, they exchange summary vectors describing stored messages, enabling informed forwarding decisions that maximize the probability of message delivery while minimizing redundant transmissions.

## 5. Discussion and Future Work

### 5.1. Key Findings Summary

This research has produced several significant findings:

1. Socially-aware routing significantly outperforms traditional approaches: LESCC achieves 8.5% higher delivery ratio with 73% lower overhead and 68% less energy than Epidemic routing in dense disaster scenarios.

2. Scalability to 500+ nodes is achievable: Simulation results show that LESCC maintains reasonable performance even at high node densities, suggesting applicability to urban disaster scenarios.

3. Scenario-dependent performance: The system performs best in high-density, predictable movement scenarios (building evacuation) and faces challenges in sparse, random movement scenarios (rural flood).

### 5.2. Limitations and Open Challenges

Despite these promising results, several challenges require further investigation:

1. Real-world validation: Our results are based on simulation; field trials with actual smartphones are necessary to validate performance under real channel conditions, mobility patterns, and user behavior.

2. Integration with remaining infrastructure: When partial connectivity to cellular networks or satellite links exists, the system should intelligently utilize these resources while maintaining core functionality when they become unavailable. Hybrid operation could significantly improve performance while preserving resilience benefits.

3. Group communication scalability: Current protocols focus on unicast messaging; multicast and broadcast for group coordination (e.g., rescue team communication) require further optimization.

4. Buffer management under constrained storage: While our simulations assumed 100 MB buffers, real devices may have limited available storage due to other applications; adaptive buffer management algorithms are needed.

### 5.3. Future Research Directions

Based on our findings, we identify several promising research directions:

1. Machine learning for routing optimization: Deep reinforcement learning could optimize forwarding decisions based on historical encounter patterns and real-time network conditions, potentially outperforming heuristic-based approaches like LESC.

2. Human behavior modeling: More accurate models of survivor and rescue worker mobility patterns could improve routing protocol design and performance prediction.

3. Interoperability with formal emergency systems: Integration with official emergency alert systems (like Russian Emergency Situations Ministry systems) could provide seamless communication between survivors and responders.

### Conclusion

This paper has proposed and evaluated a decentralized data sharing mechanism enabling mobile devices to function as relay nodes in infrastructureless networks, maintaining communication capabilities when traditional telecommunications infrastructure is destroyed by disasters or conflict. The system combines MANET and DTN principles with intelligent routing based on social behavior, addressing the key challenge of intermittent connectivity.

Our simulation results demonstrate that socially-aware routing (LESC) achieves 8.5% higher delivery ratio while using 73% less bandwidth and 68% less energy compared to epidemic routing, with the system scaling effectively to 500+ nodes. These results confirm that LESC is particularly suitable for disaster scenarios where survivors tend to move in social groups, enabling efficient message dissemination with minimal resource consumption.

Drawing upon existing research in infrastructureless networks and practical implementations of mesh messaging applications, the proposed architecture demonstrates the feasibility of transforming everyday smartphones into resilient communication infrastructure. Such capability could prove invaluable for emergency response, survivor coordination, and humanitarian assistance in scenarios where conventional communication systems have failed.

### Acknowledgment

This research was supported by the Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. The authors thank the reviewers for their valuable feedback.

### Список литературы

1. Aloi G., Briante O., Di Felice M., Ruggeri G., Savazzi S. The SENSE-ME platform: Infrastructure-less smartphone connectivity and decentralized sensing for emergency management // Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. 2017.
2. Prikhodko T.A., Zhudin N.A., Vorobyov S.A. Emergency informing system based on ad hoc networks // Modern Information Technologies and IT Education. 2020. Vol. 16. No. 1. P. 118-126.
3. Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets // Proceedings of ACM SIGCOMM. 2003. P. 27-34.
4. Liu Y., Wallach D.S. Supporting Large Scale Communication Systems on Infrastructureless Networks Composed of Commodity Mobile Devices: Practicality, Scalability, and Security. University of Michigan Technical Report. 2014.
5. Keränen A., Ott J., Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation // Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. 2009. P. 1-10.
6. Baker C.E. Opportunistic Routing in Delay Tolerant Mobile Social Networks. University of Florida Doctoral Dissertation. 2015.
7. Aschenbruck N., Gerhards-Padilla E., Gerharz M., Frank M., Martini P. Modelling mobility in disaster area scenarios // Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems. 2007. P. 4-12.
8. Raffelsberger C., Hellwagner H. Evaluation of MANET routing protocols in a realistic emergency response scenario // Proceedings of the 10th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia. 2012. P. 88-95.

9. Raffelsberger C., Hellwagner H. A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios // 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). 2013. P. 505-510.
10. Krug S., Aumüller M., Seitz J. Hybrid scheme to enable DTN routing protocols to efficiently exploit stable MANET contacts // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2018. Vol. 2018. No. 237. P. 1-13.
11. Vahdat A., Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Duke University Technical Report CS-2000-06. 2000.
12. Lindgren A., Doria A., Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks // ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. 2003. Vol. 7. No. 3. P. 19-20.
13. Baker C.E. Low energy socially cognizant routing for delay tolerant mobile networks. University of Kentucky Technical Report. 2015.
14. RECOWER Project. Reliable and Efficient COntext-aware data dissemination middleWare for Emergency Response — Distributed Architecture. University of Bologna Technical Report. 2012.
15. Aschenbruck N., Gerhards-Padilla E., Martini P. A survey on mobility models for performance analysis in tactical mobile networks // Journal of Telecommunications and Information Technology. 2008. No. 2. P. 54-61.

### References

1. Aloï G., Briante O., Di Felice M., Ruggeri G., Savazzi S. The SENSE-ME platform: Infrastructure-less smartphone connectivity and decentralized sensing for emergency management// *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*. 2017.
2. Prikhodko T.A., Zhudin N.A., Vorobyov S.A. Emergency informing system based on ad hoc networks// *Modern Information Technologies and IT Education*. 2020. Vol. 16. No. 1. Pp. 118-126.
3. Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets// *Proceedings of ACM SIGCOMM*. 2003. Pp. 27-34.
4. Liu Y., Wallach D.S. Supporting Large Scale Communication Systems on Infrastructureless Networks Composed of Commodity Mobile Devices: Practicality, Scalability, and Security// *University of Michigan Technical Report*. 2014.
5. Keränen A., Ott J., Kärkkäinen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation// *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*. 2009. Pp. 1-10.
6. Baker C.E. *Opportunistic Routing in Delay Tolerant Mobile Social Networks*. University of Florida Doctoral Dissertation. 2015.
7. Aschenbruck N., Gerhards-Padilla E., Gerharz M., Frank M., Martini P. Modelling mobility in disaster area scenarios// *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*. 2007. Pp. 4-12.
8. Raffelsberger C., Hellwagner H. Evaluation of MANET routing protocols in a realistic emergency response scenario// *Proceedings of the 10th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*. 2012. Pp. 88-95.
9. Raffelsberger C., Hellwagner H. A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios// 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). 2013. Pp. 505-510.
10. Krug S., Aumüller M., Seitz J. Hybrid scheme to enable DTN routing protocols to efficiently exploit stable MANET contacts// *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2018. Vol. 2018. No. 237. pp. 1-13.
11. Vahdat A., Becker D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks// *Duke University Technical Report CS-2000-06*. 2000.
12. Lindgren A., Doria A., Schelén O. Probabilistic routing in intermittently connected networks// *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*. 2003. Vol. 7. No. 3. Pp. 19-20.
13. Baker C.E. Low energy socially cognizant routing for delay tolerant mobile networks// *University of Kentucky Technical Report*. 2015.
14. RECOWER Project. Reliable and Efficient COntext-aware data dissemination middleWare for Emergency Response – Distributed Architecture// *University of Bologna Technical Report*. 2012.
15. Aschenbruck N., Gerhards-Padilla E., Martini P. A survey on mobility models for performance analysis in tactical mobile networks// *Journal of Telecommunications and Information Technology*. 2008. No. 2. Pp. 54-61.

Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова

*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 655.24/.28

**М. Ю. Негуляева**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИИ В ДОПЕЧАТНОЙ ПОДГОТОВКЕ**

© М. Ю. Негуляева, 2026

*В статье рассмотрено современное состояние и перспективы применения искусственного интеллекта в допечатной подготовке полиграфического производства, описаны возможные подходы к его массовому внедрению. Проанализированы ключевые ИИ-функции, внедрённые в 2025 году ведущими зарубежными поставщиками ПО (Adobe, Corel, Esko, OneVision, Mimaki). Показаны возможности и ограничения использования ИИ, в том числе в таких операциях, как автоматизация проверки макета и интеллектуальная обработка изображений.*

**Ключевые слова:** допечатная подготовка, макеты, препресс, искусственный интеллект, полиграфия, автоматизация процессов.

**M. Yu. Negulyaeva**

## **CURRENT STATE AND PROSPECTS OF AI APPLICATION IN PREPRESS**

*The article examines the current state and prospects for the application of artificial intelligence in prepress for the printing industry, describes feasible approaches to its mass implementation. The key AI functions implemented in 2025 by leading international software providers (Adobe, Corel, Esko, OneVision, Mimaki) are assessed. The potential and limitations of AI are highlighted, including operations such as automation of layout verification and intelligent image processing.*

**Keywords:** prepress, layouts, prepress, artificial intelligence, printing, automation of prepress processes.

The national project "Data Economy and Digital Transformation of the State" sets goals for the transition to data-driven management, the creation of e-services, and the digitalization of various economic sectors [1]. Printing is a key industry, solving a wide range of problems. The implementation of complex printing processes is currently relevant. This article examines prepress as a labor-intensive stage of the process, which can be optimized using AI technologies. Prepress requires analytical work to create an object in accordance with the requirements of the technological process, while also making printing decisions based on secondary indicators, potentially influencing the human factor.

The research was aimed to analyze the current state and prospects of AI application in prepress in Russia as of 2025, including the objectives to outline the main operations where AI can be applied in the prepress workflow; to determine whether AI is actually being implemented in Russian prepress; to identify which prepress software tools currently integrate AI and to assess the availability of these AI services for Russian users.

The study identified which operations could be automated using AI. It's important to note that a number of automated operations are already implemented in prepress software, but the rapid development of generative models (what is known as modern AI technologies) has enabled these processes to be implemented using different algorithms that accelerate production. These new AI functions primarily include:

- Automatic file check for inconsistencies before printing;
- Automatic file editing to achieve desired effects, e.g., creation of curves for plotter cutting, varnish application, etc.;
- Image resolution enhancement;
- Checking for the presence and generation of technical elements (bleeds, trapping)
- Color profile matching;
- Visualization of the final product during the prepress preparation stage (soft-proof)).

Each of these operations requires the active participation of a prepress specialist, but with modern AI capabilities, all of this can be accomplished in a simplified and accelerated manner, requiring the specialist to only check the quality of the completed work. Prepress operations do not include: creating original images using

artificial intelligence, automating the order processing process for printed products, or organizing the logistics of order processing within the company.

Of these functions, the issue of color management optimization in the printing industry is particularly pressing. Color management is key to the quality of printed products, so tools that can simplify the process and make it more accessible are especially attractive. The professional community notes that, as of 2025, AI models for color management have not yet been implemented in the printing industry. Currently, we are seeing the development of algorithms that can accelerate profiling, customize existing profiles, perform tone correction, visualize the final product, and suggest recipes for mixing inks. Such algorithms are most often used in digital printing, where color management is faster and less expensive than in traditional printing technologies. The challenge of automating these processes is largely due to the fact that they are highly technological and require specialist input, as color perception is a subjective aspect. Generative models can be trained to imitate human perception and predict print results, but this requires a rethinking of the entire process of constructing color profiles, as well as the large amount of data needed to average human perception. As such, color management and AI are still in their infancy, and in cases where these features are already integrated into software, an additional stage of quality control is required.

Many prepress software providers are currently actively implementing these AI-enabled features into their software. Below are examples of AI implementations from various vendors.

Adobe InDesign is developing a new way of working, using AI to manage layout integrity. A major breakthrough for prepress is Flex Layout technology. These are "smart" frames that automatically rearrange text and images as the content volume changes [2]. For prepress, this means a radical reduction in layout errors during edits: if a client decides to expand a product description, the blocks will not shift or violate margins or bleeds. This application also introduces Adobe Firefly-based tools that directly impact output quality. The Generative Expand feature allows an image to expand beyond its original boundaries: when changing the format or adding bleed space, the program adds the background, preserving the atmosphere and texture.

Adobe Illustrator, as the foundation for vector graphics and logos, benefits from the automation of routine prepress tasks through neural networks. In the context of prepress, the emphasis shifts to how AI helps prepare files for printing. For example, integration with FlightCheck [3] and similar systems allows neural networks to check files for common errors: converting fonts to curves, identifying incorrect color models (RGB instead of CMYK), and monitoring the actual resolution of raster objects within a vector.

Adobe Photoshop has received the most powerful arsenal for managing file quality before printing. A key feature here is Generative Upscale [4]. The system improves image sharpness when scaling to a certain number of megapixels, enhancing missing details. This is revolutionary for prepress: now a low-quality photograph can, for example, be prepared for wide-format printing without pixelation. The Harmonize feature is extremely useful. During composite editing, when a new object is added to the scene, AI automatically adjusts its color, tone, contrast, and even lighting to match its surroundings. This eliminates the need to manually align layers, making the final print cohesive. The "Remove" tool has also been significantly improved: when removing an unnecessary object from the frame (for example, a microphone or a passerby), the neural network does not create blur artifacts, but generates a realistic background texture, which is critical for close-up printing. See Figure 1.

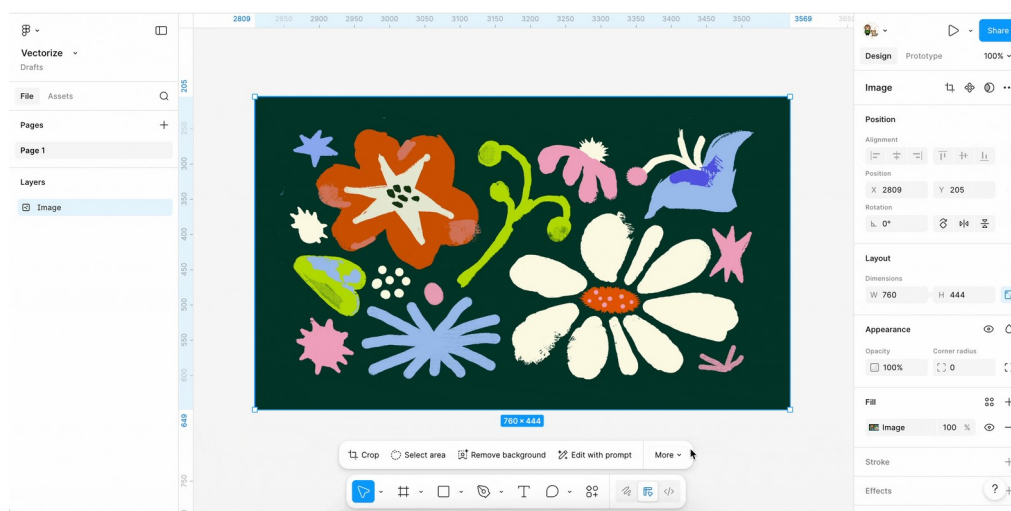


Figure 1. AI integration into prepress software

The generative artificial intelligence implemented by Adobe's supplier takes over functions related to the creative transformation of layout content and eliminates routine operations related to filling its voids. At the same

time, full responsibility for the final color rendering, compliance with optical density requirements, and the overall technological correctness of the file remains with the human operator. In the context of professional printing, this means that generative functions act solely as an auxiliary tool during the preliminary acceptance stage of layouts. Adobe integrates AI technologies not as a quality control tool (checker), but as a means of artistic correction, which allows for the adaptation of a low-quality original image to formal printing parameters without delving into the technological aspects of the printing process.

In 2025, Corel introduced several key AI features that directly impact the preparation of layouts for print production. The key innovation was AI PowerTRACE 2.0, an advanced engine for converting raster images into editable vector graphics. This feature uses machine learning algorithms to analyze the source raster material, providing cleaner edges during tracing, automatic noise reduction, and the ability to remove backgrounds while preserving transparency [5]. For prepress, this means the ability to quickly convert low-quality logos or scanned sketches into scalable vector outlines without losing detail, which is critical when preparing files for die-cutting or letterpress printing.

In 2025, Mimaki's RasterLink integrated at least one significant feature based on artificial intelligence principles. This feature is called Ink Saving and is aimed at intelligently optimizing ink consumption. Ink Saving technology utilizes complex algorithms that can be classified as AI. It is important to emphasize that the algorithm optimizes saturation levels so that visual color quality does not degrade despite the reduction in ink consumption. Although the implementation of generative neural networks (as, for example, in Adobe products) is not mentioned, the integration of the intelligent Ink Saving feature represents a practical application of AI for solving specific prepress problems [6]. This tool not only saves resources but also improves the stability of the printing process.

In 2025, OneVision implemented a consistent integration of artificial intelligence technologies into its prepress and workflow automation software solutions. These innovations were introduced in two major releases: the spring update 25.1 and the fall update 25.2, each of which introduced significant changes to the platform's functionality [7]. A key milestone was the introduction of the Amendo AI module, an intelligent system for automatic correction and optimization of raster images. Unlike traditional color correction tools, Amendo AI uses machine learning algorithms to analyze the visual content of photographs and then selectively adjust individual elements of a scene. Key capabilities of this module include improved sky recognition, improved skin tones, and local contrast enhancement [7]. For prepress, this means the ability to automatically align photographs received from the client to a uniform visual standard without the involvement of a retoucher, which is especially important when processing large arrays of images for catalogs and booklets. In addition to Amendo AI, update 25.1 introduced the AI OCR module, designed to recognize text from image files and render it as a separate text output. This feature enables the automatic generation of editable text from scanned documents, which is critical for incoming file normalization processes when clients provide layouts as images or non-digitized PDF documents.

In 2025, Esko implemented a targeted integration of artificial intelligence technologies into its software suite, with a particular focus on the ArtPro+ native PDF editor. Unlike solutions that generate new content, Esko focuses on intelligently automating the packaging industry's critical inspection, color, and production preparation processes, directly addressing the challenges of high-precision prepress. A key innovation for ArtPro+ in 2025 was the Smart Select feature, introduced in version 25.11 [8]. This AI-powered tool is designed to automatically highlight visually related layout elements, such as solid logos, individual panels, or grouped objects, even in complex, unstructured files (Figure 2).



Figure 2. Implementation of the Smart Select function when the program analyzes the context of the image and correctly selects the logo without capturing the surrounding background.

For prepress, this means a significant reduction in the time spent manually selecting elements when making edits to multi-layer packaging layouts, minimizing the risk of accidentally damaging adjacent objects and increasing operator confidence when working with complex files. Significant changes have also been made to the

process parameters of output. ArtPro+ 25.11 [8] features improved trapping creation and control algorithms: the system now allows for the creation of cleaner trapping layers by removing unnecessary paths and ignoring individual objects to prevent unwanted effects during ink blending. Furthermore, the Plate Saving Mode function in the Prefer Stagger Pattern mechanism optimizes flexographic plate cutting, reducing plate consumption and contributing to a reduction in production waste, which is particularly relevant for packaging printing. In addition to ArtPro+, Esko has integrated AI solutions into related ecosystem products. The Comply module is a quality control system based on artificial intelligence. Comply automates the verification of layout compliance with brand and regulatory requirements, including checking for allergens on labels, barcode accuracy, and formatting compliance, such as FDA standards. An important aspect is the automatic measurement of image and logo sizes without operator intervention, elevating prepress inspection to the level of automated content verification.

The state of AI application in prepress processes can be summarized in Table 1.

Table 1. Comparison of AI integration into prepress software

Prepress software	AI features integration in 2025	Accessibility for Russian users
Adobe Photoshop, InDesign, Illustrator	Yes	No
CorelDraw	Yes	Yes
RasterLink	No	Yes
OneVision	Yes	No
Esko ArtPro+	Yes	Yes

The analysis shows that most prepress software has already attempted to integrate AI technologies into its toolkit. All the listed features are available to users, but the decision to actually use these tools in practice remains with the user.

For the Russian printing industry, 2025 is considered the year of complete adaptation to sanctions and the transition to new suppliers. Artificial intelligence is being actively implemented in management, enterprise logistics, original production, and market analysis. The printing industry is also considering integrating AI-based systems into production. Popular prepress software is officially unavailable to the Russian industry due to sanctions, so access to the AI functions being implemented is partially limited. However, the experience of foreign suppliers and printing companies allows us to analyze interactions with AI for Russian specialists and develop our own solutions for integrating AI into the prepress stage of printing production using domestic developments.

The conducted analysis of the current state and prospects of using artificial intelligence in prepress preparation allows us to draw the following main conclusions.

Today, the most in-demand AI functions include automated file pre-print verification, image upscaling, technical element generation, intelligent color management, and final product visualization (soft-proofing). These processes require highly skilled specialists, but the industry is attempting to automate them using generative models and machine learning algorithms. By 2025, major prepress software providers will have already implemented or significantly improved AI tools in their prepress packages. Functionality ranges from creative layout refinement to rigorous quality control automation and material optimization.

Despite the development of AI, all the systems reviewed position generative and analytical functions as auxiliary. Final control of color reproduction, technological correctness of files, and compliance with printing process requirements remains with the prepress specialist. AI reduces routine operations and the likelihood of errors, but does not replace professional judgment. As of 2025, fully-fledged AI models for color management in the printing industry do not exist. This is due to the subjectivity of color perception, the need for large volumes of data for training, and the technological complexity of traditional color profiling processes. Research in this area is ongoing, but industrial implementation is still a long way off.

Thus, artificial intelligence has already become a viable tool for improving the efficiency of prepress processes, but its implementation is still supportive rather than fully automated. For the Russian printing industry, a strategically important task is the development and adaptation of accessible AI solutions that take into account both printing technological requirements and current market constraints.

### Список литературы

1. Администрирование и сопровождение исполнения национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства» // минцифры. URL: <https://digital.gov.ru/activity/czifrovizacziya-gosudarstva/vedomstvennyj-proektnyj-ofis-vpo/administrirovanie-i-soprovozhdenie-ispolneniya-naczionalnogo-proekta-ekonomika-dannyh-i-czifrovaya-transformacziya-gosudarstva> (дата обращения: 28.2.2026).
2. Adobe InDesign 2025 Updates: New AI Features, Flex Layout, HTML5 Export, Tips & Workflows // nexacu URL: <https://nexacu.com.au/insights-blog/adobe-indesign-2025-updates-new-ai-features/> (дата обращения: 12.03.2026).
3. What's new in Adobe Illustrator on desktop // Adobe URL: <https://helpx.adobe.com/illustrator/desktop/new-features/whats-new.html> (дата обращения: 26.02.2026).

4. AI image upscaler: Enhance your images in Firefly. // Adobe URL: <https://www.adobe.com/products/firefly/features/image-upscaler.html> (дата обращения: 10.03.2026).
5. Convert bitmaps to vectors with AI // Corel URL: <https://learn.corel.com/tutorials/convert-bitmaps-to-vectors-with-ai/> (дата обращения: 28.02.2026).
6. How Mimaki's RasterLink7 is Transforming Print Software // Mimaki URL: <https://www.mimakieurope.com/news/rasterlink7/> (дата обращения: 3.03.2026).
7. OneVision Software launches first software update of 2025 // eye on display URL: <https://www.eyeondisplay.com/onevision-software-launches-first-software-update-of-2025/> (дата обращения: 12.03.2026).
8. Esko 25.11 What's New // esko URL: <https://www.esko.com/en/blog/25-11-whats-new#mediabeacon> (дата обращения: 3.03.2026).

## References

1. *Administrirovanie i soprovozhdenie ispolneniya natsional'nogo proekta «Ekonomika dannykh i tsifrovaya transformatsiya gosudarstva»* [Administration and support for the implementation of the national project "Data Economy and Digital Transformation of the State"]// минцифры URL: <https://digital.gov.ru/activity/czifrovizacziya-gosudarstva/vedomstvennyj-proektnyj-ofis-vpo/administrirovanie-i-soprovozhdenie-ispolneniya-naczionalnogo-proekta-ekonomika-dannyh-i-czifrovaya-transformacziya-gosudarstva> (Accessed: 28.2.2026)..
2. *Adobe InDesign 2025 Updates: New AI Features, Flex Layout, HTML5 Export, Tips & Workflows* // nexacu URL: <https://nexacu.com.au/insights-blog/adobe-indesign-2025-updates-new-ai-features/> (Accessed: 12.03.2026).
3. What's new in Adobe Illustrator on desktop // Adobe URL: <https://helpx.adobe.com/illustrator/desktop/new-features/whats-new.html> (Accessed: 26.02.2026).
4. AI image upscaler: Enhance your images in Firefly. // Adobe URL: <https://www.adobe.com/products/firefly/features/image-upscaler.html> (Accessed: 10.03.2026).
5. *Convert bitmaps to vectors with AI* // Corel URL: <https://learn.corel.com/tutorials/convert-bitmaps-to-vectors-with-ai/> (Accessed: 28.02.2026).
6. *How Mimaki's RasterLink7 is Transforming Print Software* // Mimaki URL: <https://www.mimakieurope.com/news/rasterlink7/> (Accessed: 3.03.2026).
7. *OneVision Software launches first software update of 2025* // eye on display URL: <https://www.eyeondisplay.com/onevision-software-launches-first-software-update-of-2025/> (Accessed: 12.03.2026).
8. *Esko 25.11 What's New* // esko URL: <https://www.esko.com/en/blog/25-11-whats-new#mediabeacon> (Accessed: 3.03.2026).

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*  
*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 655.392:677.027

**М. К. Новикова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

## **ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПЕЧАТИ ПО ТКАНИ: ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ**

© М.К. Новикова, 2026

*Цифровые методы печати по ткани остаются развивающейся нишей для коммерции и научных исследований. Целью обзора является анализ текущего состояния научно-исследовательской базы и выявление в ней пробелов, определение будущих направлений развития в этой области. Был проведен поиск в четырёх электронных базах данных и двух интеллектуальных поисковых системах. Результаты раскрывают ключевые понятия, связанные с цифровыми методами печати по ткани, актуальные данные о тенденциях отрасли, её положении в научно-исследовательской сфере.*

**Ключевые слова:** цифровая текстильная печать, струйная печать, DTG, DTF, сублимационная печать, обзор предметного поля, цифровая печать по ткани.

**М. К. Novikova**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

## **LES MÉTHODES NUMÉRIQUES D'IMPRESSION SUR MATÉRIAUX TEXTILES: REVUE DU CHAMP DISCIPLINAIRE**

*Les méthodes d'impression numérique sur tissu constituent un créneau en pleine expansion pour le commerce et la recherche scientifique. L'objectif de cette revue est d'analyser l'état actuel de la base de recherche scientifique, d'identifier ses lacunes et de définir les axes de développement futurs dans ce domaine. La recherche a été effectuée dans quatre bases de données électroniques et deux moteurs de recherche intelligents. Les résultats mettent en évidence les concepts clés liés aux méthodes d'impression numérique sur textile, les données actuelles sur les tendances du secteur et sa place dans le domaine de la recherche scientifique.*

**Mots clés :** impression textile numérique, impression à jet d'encre, DTG, DTF, impression par sublimation, revue du champ d'étude, impression numérique sur tissu.

### **1. Introduction**

L'impression numérique sur textiles est l'un des domaines les plus dynamiques de l'imprimerie moderne et de l'industrie textile. Le développement des technologies d'impression à jet d'encre, l'amélioration des encres et des équipements, ainsi que la demande croissante de produits personnalisés et le recours au concept de l'impression à la demande favorisent l'adoption active des méthodes numériques dans la production de produits textiles.

Selon les données des rapports analytiques de la société Grand View Research [1], le marché mondial de l'impression numérique sur textile a atteint le volume d'environ 5,8 milliards de dollars américains en 2024 et, selon les prévisions, pourrait atteindre 11,6 milliards de dollars américains d'ici 2030, avec un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 12 à 13 %, le marché russe affichant des indicateurs similaires. Cette dynamique témoigne de la transition du secteur des technologies analogiques traditionnelles (en particulier l'impression au pochoir et l'impression rotative) vers des solutions numériques mieux adaptées aux exigences actuelles.

L'intérêt des consommateurs pour le secteur de l'impression textile se traduit par la formation d'attentes incontournables vis-à-vis du produit imprimé. C'est confirmé par les résultats d'une enquête menée par l'auteur auprès des consommateurs (n = 130), selon laquelle les caractéristiques les plus importantes lors du choix de vêtements imprimés sont la résistance de l'image à la fissuration (79,8 %), la résistance aux lavages (63,2 %) et la préservation du toucher naturel du tissu (68,4 %). Ces qualités du produit peuvent être pleinement obtenues grâce à l'utilisation de techniques d'impression numériques. Par ailleurs, environ 68 % des personnes interrogées ont une opinion favorable de l'utilisation d'imprimés sur les textiles. Ces résultats confirment l'importance pratique du sujet étudié.

Malgré le développement actif du secteur, les recherches scientifiques dans le domaine de l'impression

numérique sur les textiles restent fragmentées et couvrent des aspects distincts, tels que les processus technologiques, les propriétés des matériaux, la qualité d'impression et les caractéristiques environnementales. On constate toutefois un manque d'analyses systémiques, d'analyses du champ thématique y compris, qui englobent les approches existantes, les axes de recherche et les principales tendances de développement du secteur.

Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est de mener une analyse prospective du domaine des méthodes d'impression numérique sur les matières textiles afin de déterminer les principaux axes technologiques, les matériaux utilisés et les méthodes d'impression, ainsi que d'identifier les lacunes dans la recherche et les perspectives de développement de ce domaine.

Pour atteindre cet objectif, les questions de recherche suivantes ont été formulées : « Quelles sont les technologies d'impression numérique sur textile les plus largement représentées dans la littérature scientifique ? » ; « Quels sont les matériaux et les consommables examinés dans les recherches ? » ; « Quels sont les paramètres de qualité et les caractéristiques d'exploitation analysés ? » ; « Quels sont les principaux axes de recherche et les tendances de développement qui peuvent être identifiés ? ».

## 2. Méthodologie

L'impression numérique sur textiles est apparue à la fin des années 1970 avec le développement de la méthode DTG (Direct-To-Garment), mais ce n'est qu'au début des années 2020 que le secteur a connu son plus grand essor, grâce à l'introduction de la technologie DTF (Direct-To-Film) dans la production, qui a entraîné la modernisation d'autres méthodes d'impression. Étant donné que les méthodes numériques ont commencé à prendre de l'ampleur dans le domaine de la recherche vers le début des années 2020, on constate un manque de littérature scientifique pour étayer une approche systémique de la revue. Par conséquent, la meilleure option consiste à réaliser une revue du champ d'étude, car cela permet de couvrir un large éventail de sources et de répondre à des questions de recherche plus générales liées à la caractérisation et à la structure des connaissances existantes.

La méthodologie de l'étude s'appuie sur les recommandations PRISMA-ScR, compte tenu de l'étendue du champ de recherche et de la possibilité d'assurer la transparence et la reproductibilité du processus de sélection et d'analyse des sources [2].

Les sources d'information ont été sélectionnées sur la base de critères incluant la période couverte, la langue de publication et le type de source. La recherche de documents a été effectuée du 20 décembre 2025 au 5 janvier 2026. L'étude a inclus les publications répondant aux critères suivants : publiées entre 2020 et 2025, ce qui s'explique par le début de la mise en œuvre active de la technologie d'impression DTF et l'accélération du développement des méthodes d'impression numérique sur textile ; rédigées en anglais, car il s'agit de la langue dominante de la communication scientifique qui permet d'accéder au plus grand nombre de recherches pertinentes indexées dans les bases de données internationales ; relatives à des publications scientifiques et techniques, y compris des articles dans des revues à comité de lecture, des revues théoriques (de nature descriptive ou systémique), des actes de conférences, des brevets, ainsi que des rapports sectoriels pertinents consacrés aux technologies d'impression numérique sur textiles. Par conséquent, la littérature grise a également été prise en compte, car elle présentait un certain intérêt pour l'orientation des recherches dans la phase active du développement technologique du secteur.

Les critères d'exclusion comprenaient les publications sans rapport avec les méthodes numériques d'impression textile et les sources ne présentant pas de contenu scientifique ou technique (par exemple, les supports marketing). Au cours de la phase de sélection et d'évaluation de la pertinence, plusieurs critères d'exclusion ont également été pris en compte, à savoir les doublons et les publications dont le texte intégral et le résumé n'étaient pas disponibles.

La recherche documentaire a été effectuée dans les bases de données électroniques suivantes : Scopus, ScienceDirect (Elsevier), IEEE Xplore, Google Scholar et les moteurs de recherche intelligents, Semantic Scholar, OpenRead Academy.

Les requêtes de recherche ont été formulées à l'aide d'opérateurs logiques et comprenaient des combinaisons de mots-clés reflétant le sujet de l'étude. Exemple de requête de recherche : " digital textile print\*" OR "digital fabric print\*" OR "digital printing on fabric" OR "digital printing on textile\*" OR "digital textile technology" OR "digital inkjet textile print\*" OR "inkjet printing on fabric" OR "inkjet textile print\*" OR "direct-to-fabric printing" OR "direct to film printing" OR "DTF printing" OR "direct-to-garment printing" OR "direct to garment printing" OR "DTG printing" OR "sublimation printing on fabric" OR "dye-sublimation textile printing" OR "reactive dye digital printing" OR "pigment digital printing" OR "disperse dye digital printing".

Le processus de sélection des sources comprenait l'identification, le tri et la vérification de la conformité aux critères préalablement définis. Afin de systématiser les informations relatives aux publications sélectionnées, un tableau d'extraction des données a été élaboré, comprenant : les références bibliographiques (auteur, année de publication) ; le type de recherche.

Le gestionnaire de bibliographie Zotero a été utilisé pour gérer les données bibliographiques, supprimer les doublons et organiser les sources sélectionnées. De plus, au cours de la préparation de l'étude, des outils d'intelligence artificielle, notamment ChatGPT et Perplexity, ont été utilisés pour définir la structure du travail,

affiner les stratégies de recherche et organiser les documents. L'utilisation de ces outils était de nature auxiliaire; toutes les étapes d'analyse, d'interprétation et de synthèse des résultats ont été réalisées par l'auteur.

La présente étude étant une revue de la littérature, l'analyse était principalement de nature qualitative et comprenait une interprétation thématique des données.

### 3. Résultats

Le diagramme illustrant le processus de sélection des sources d'évidence est présenté à la figure 1.

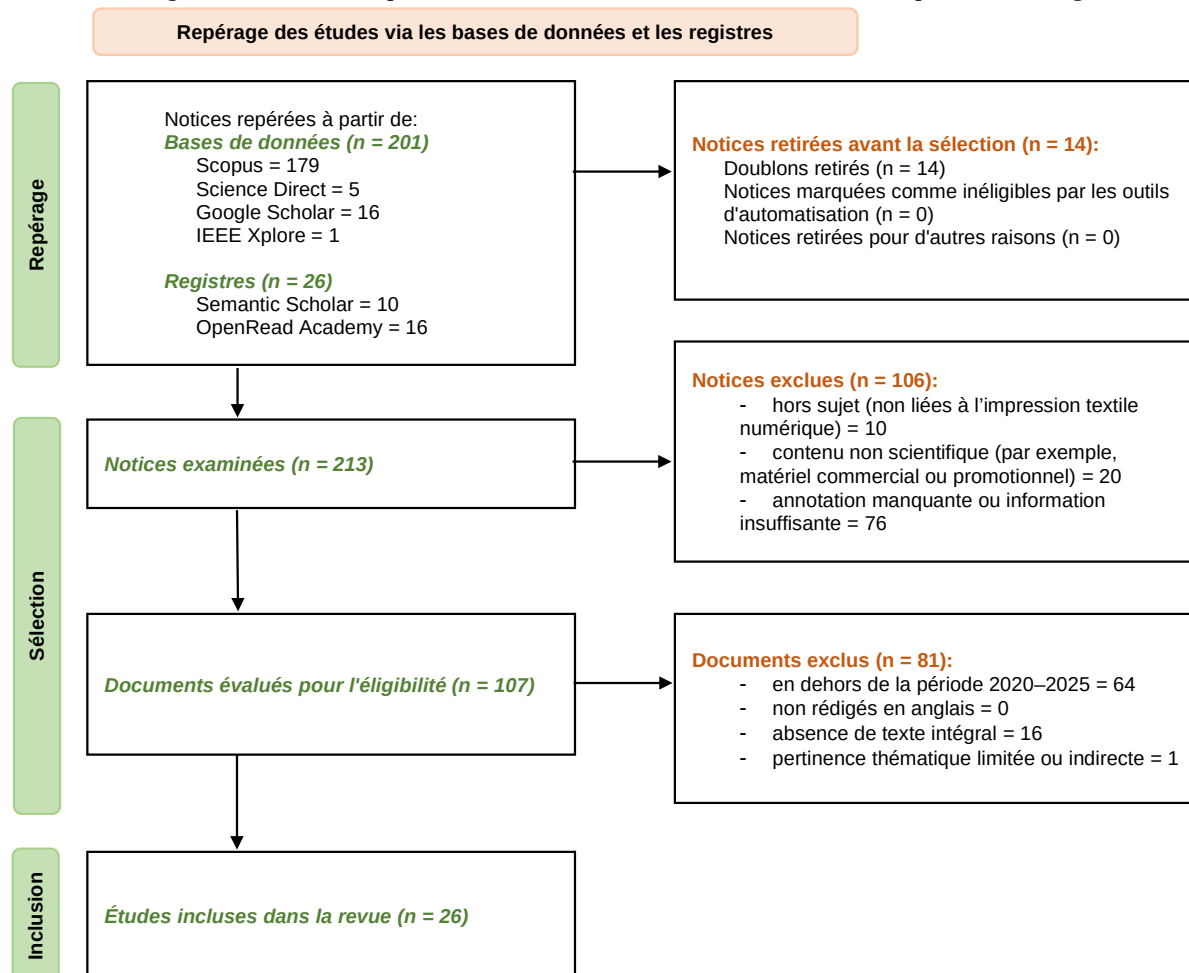


Fig. 1 Diagramme de flux récapitulatif de la sélection des sources d'évidence

Au cours de la phase de repérage, la recherche dans les bases de données scientifiques sélectionnées a permis de recenser 227 entrées (100 %), aucune source supplémentaire provenant d'autres ressources n'ayant été utilisée. Les informations bibliographiques relatives aux publications trouvées ont été téléchargées et traitées à l'aide d'un gestionnaire de bibliographie (Zotero) et du tableur Microsoft Excel afin d'identifier et de supprimer les doublons. Après suppression des doublons, il restait 213 entrées (94 %), qui ont été incluses dans la phase de criblage.

Au cours de la phase de présélection (screening), 106 publications ne correspondant pas au thème de la recherche ont été exclues sur la base de l'analyse des titres et des résumés. Enfin, 107 sources (47 %) ont été retenues pour l'analyse en texte intégral et l'évaluation de leur conformité aux critères d'inclusion.

Au cours de la phase d'évaluation des documents en texte intégral (éligibilité), 81 articles ont été écartés pour les raisons suivantes : publication de la source en dehors de la période considérée (2020-2025) et/ou dans une langue autre que l'anglais ; impossibilité d'obtenir la version complète de l'article ; pertinence partielle ou indirecte par rapport au sujet. Ainsi, l'analyse finale a porté sur 26 études (11 %) consacrées à l'impression numérique sur des matériaux textiles et répondant aux critères d'inclusion.

L'analyse de la répartition chronologique des publications a montré le caractère irrégulier de l'évolution de l'intérêt des chercheurs dans le domaine considéré. Le plus grand nombre de publications concerne les années 2021 et 2025, tandis qu'en 2022, on observe une baisse notable du nombre de travaux. Le pic de 2021 peut être lié à la réaction scientifique post-pandémique à la crise du COVID-19 : c'est précisément au cours de cette période qu'a eu lieu une augmentation substantielle du volume des travaux scientifiques, liée à un financement massif de la R&D et

à une forte croissance de l'intérêt ( y compris de la part des chercheurs ) pour les technologies d'impression numériques, jugées plus flexibles et adaptatives que les technologies traditionnelles, ce qui s'explique par le passage au commerce en ligne et à la personnalisation, ainsi que par le développement du concept d'impression à la demande [3, 4]. Le ralentissement de 2022 s'explique, quant à lui, par l'instabilité de la situation géopolitique, les problèmes mondiaux liés aux chaînes d'approvisionnement en matières premières et les perturbations dans le fonctionnement des revues scientifiques dues à l'augmentation de la charge pesant sur le système d'évaluation par les pairs [4, 5]. La nouvelle vague de publications en 2025 s'explique probablement par l'intégration active de l'IA dans la vie quotidienne, ce qui a notamment facilité le processus de rédaction et de préparation des travaux scientifiques, ainsi que par le passage des industries de la phase d'expérimentation technologique à l'adaptation massive et à la normalisation des technologies numériques d'impression textile, en particulier l'impression directe ( Direct-To-Garment, Direct-To-Fabric ) [3, 5].

Parmi les 26 sources sélectionnées (100 %), 20 sont des articles de revues (77 %) et 6 relèvent de la littérature grise (23 %). Par type de recherche, les sources sont classées comme il suit : 14 sont des études empiriques (53 %), dont 10 utilisent des méthodes quantitatives (38 %) et 4 des méthodes mixtes (15 %) ; 3 sont des articles de synthèse (de nature narrative, analytique et bibliométrique) ; 9 sont des revues technologiques.

L'analyse de la répartition géographique des sources a montré que les recherches dans le domaine de l'impression numérique sur textile revêtent un caractère résolument international. Le plus grand nombre de publications provient des États-Unis (6 sources, 23 %) [6, 7, 8, 9, 10, 11] et de la Chine (4 sources, 15 %) [12, 13, 14, 15], ce qui permet de considérer ces pays comme des pôles clés de la recherche scientifique et technologique dans ce domaine. Parallèlement, une partie des recherches provient de pays dotés d'une industrie textile développée, tels que le Bangladesh [16], le Pakistan [17] et l'Indonésie [18]. Les autres publications sont réparties entre différents pays d'Europe et d'Asie et consistent en études isolées, ce qui témoigne de la fragmentation du champ scientifique.

Les résultats détaillés de l'analyse quantitative des sources sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des sources en termes de nombre et de contenu

<b>Caractéristiques</b>	<b>Nombre</b>	<b>%</b>
<b>Année de publication</b>	<b>26</b>	<b>100</b>
2020	5	20
2021	6	23
2022	1	4
2023	4	15
2024	4	15
2025	6	23
<b>Type de publication</b>	<b>26</b>	<b>100</b>
Article issu d'une revue a comite de lecture	20	77
Sources grises	6	23
<b>Type d'étude</b>	<b>26</b>	<b>100</b>
Empiriques	14	53
Méthodes quantitatives	10	38
Méthodes mixtes	4	15
Articles de synthèse	3	12
Récits	1	4
Analytiques	1	4
Bibliométriques	1	4
Revue technologiques	9	35
<b>Répartition géographique</b>	<b>26</b>	<b>100</b>
Asie	9	35
Bangladesh	1	4
Pakistan	1	4
Indonésie	1	4
Malaisie	1	4
Corée du Sud	1	4
Chine	4	15
Europe	9	35
Royaume-Uni	1	4
Pays-Bas	1	4
Pologne	1	4

Tableau 1. (Suite)

Caractéristiques	Nombre	%
Lituanie	1	4
Russie	1	4
Bosnie-Herzégovine	2	7
Croatie	1	4
Slovénie	1	4
Amérique	8	30
États-Unis	6	23
Brésil	1	4
Pérou	1	4

L'analyse des publications sélectionnées a permis de dégager plusieurs axes thématiques récurrents, reflétant l'état actuel de la recherche dans le domaine de l'impression numérique sur textile et la situation Générale du secteur.

**Production de masse.** L'un des axes de développement les plus marqués du secteur est l'étude des possibilités de transposition de l'impression numérique à l'échelle industrielle. Cela concerne également l'impression numérique sur textile, qui se compare directement aux technologies traditionnelles, par exemple l'impression sérigraphique rotative, en termes de productivité et de rentabilité [19]. Les études consacrées aux équipements mettent l'accent sur la conception et le développement de systèmes numériques à haut rendement, y compris les solutions en ligne, c'est-à-dire intégrées à la chaîne de production, et les machines d'impression grand format [7, 9, 13]. On observe ainsi dans le secteur une tendance à la transformation de l'impression textile numérique en un outil de production industrielle.

**Impression sur des matières naturelles.** On observe que le secteur se concentre sur l'impression sur des matières textiles naturelles, en premier lieu sur les tissus en coton. À l'heure actuelle, des méthodes visant à améliorer la qualité d'impression sur les fibres de cellulose sont activement développées, notamment la mercerisation, l'utilisation de plasma froid et divers types de prétraitement [15, 20]. L'applicabilité de l'impression numérique à pigments et de l'impression DTF sur le coton, ainsi que leurs limites, sont également analysées [12, 21, 22]. Il a été démontré que, par rapport aux matériaux synthétiques, les tissus naturels présentent un comportement plus complexe en raison de leur forte capacité d'absorption, de leur structure hétérogène et de leur comportement spécifique lors du traitement thermique, ce qui nécessite une optimisation supplémentaire des paramètres technologiques.

**Mise en œuvre de l'IA.** Un axe de développement distinct du secteur concerne la mise en œuvre de méthodes d'intelligence artificielle et de systèmes numériques intelligents dans les processus d'impression textile numérique. En particulier, des modèles complexes basés sur l'apprentissage profond, tels que CNN+U-Net+GAN, sont proposés pour effectuer des opérations précises de séparation des couleurs, de correction des couleurs et de profilage, et, par conséquent, d'adaptation de l'impression à différents supports, ainsi que pour la création de maquettes sans couture pour l'impression de motifs et d'autres imprimés [10, 14]. Des approches visant à la détection automatique des défauts de production à toutes les étapes du processus d'impression sont également examinées [17]. Cela témoigne d'une transition vers des processus de production plus modernisés.

**Développement du système qualité.** Une attention particulière est accordée aux questions de gestion des couleurs et d'optimisation des paramètres d'impression. Plusieurs travaux analysent les méthodes de rendu des couleurs et l'application des modèles chromatiques dans l'impression textile numérique [23]. Les indicateurs d'uniformité de l'impression sont également étudiés, notamment l'effet mottle (taches) et son évaluation quantitative [24, 25]. Certaines études sont consacrées à la stabilité des couleurs et à l'influence des paramètres d'impression sur les différences de couleur et le débordement de l'encre [6, 26]. Dans l'ensemble, ces travaux confirment que le textile est un support complexe et variable, nécessitant des systèmes adaptatifs de gestion des couleurs, qui sont encore en cours de développement en raison de l'évolution dynamique du secteur.

**Amélioration des compositions d'encre et développement durable.** À l'heure actuelle, les propriétés et la composition des encres utilisées dans l'impression textile numérique, ainsi que leur interaction avec divers matériaux, font l'objet d'études approfondies. Des recherches sont menées sur les colorants réactifs, dispersés et pigmentaires, y compris la mise au point de nouvelles compositions chimiques permettant non seulement d'améliorer la résistance de la surface imprimée, mais aussi d'introduire de nouvelles méthodes d'application de l'impression textile numérique, par exemple le transfert thermique par sublimation sur des tissus naturels, ce qui était auparavant considéré comme impossible [27, 28]. Certains travaux analysent l'influence des processus de durcissement et de fixation de l'encre sur la qualité d'impression et les propriétés d'utilisation [26, 29]. Dans le contexte du développement durable, une attention particulière est accordée aux encres à base d'eau et moins toxiques, et le potentiel de l'impression à jet d'encre en tant que méthode écologique de coloration des matériaux textiles polymères est souligné [8, 30].

**Pertinence économique et mise sur le marché.** Compte tenu du développement actif du marché de l'impression textile numérique, les questions relatives à l'adoption de ces technologies d'impression, à leur

diffusion et à leur impact sur l'industrie de la mode sont examinées [16, 31]. Les aspects sociaux et innovants du développement des technologies et de leur promotion médiatique sont également analysés [11, 18]. Certains travaux examinent la durabilité environnementale comme facteur de compétitivité de l'impression numérique [19]. Cela souligne l'importance croissante de l'impression numérique non seulement en tant que phénomène technologique, mais aussi en tant que phénomène économique et social.

Conformément à l'objectif fixé et aux questions de recherche formulées, les résultats obtenus permettent de synthétiser les caractéristiques clés du domaine de l'impression textile numérique.

L'analyse des sources a montré que les technologies d'impression à jet d'encre sont les plus répandues, notamment leurs variantes telles que l'impression directe sur vêtement (DTG), l'impression par sublimation et l'impression directe sur film (DTF). En ce qui concerne les matériaux et les consommables utilisés, les recherches se concentrent principalement sur les supports textiles naturels et synthétiques, en particulier le coton, le polyester et le polyamide, ainsi que sur différents types d'encres, notamment les encres réactives, dispersées et pigmentées.

Une attention particulière est accordée aux questions d'interaction entre l'encre et le matériau ainsi qu'aux méthodes de prétraitement des tissus. Dans le cadre de l'analyse des paramètres de qualité et des caractéristiques d'exploitation, les recherches les plus répandues portent sur le rendu des couleurs, l'uniformité de l'impression, la résistance au lavage et à l'abrasion, ainsi que sur l'influence des paramètres technologiques sur la formation de l'image.

La synthèse des axes de recherche a permis de mettre en évidence les principales tendances de développement du secteur, notamment le passage à une production à l'échelle industrielle, l'introduction active de méthodes d'intelligence artificielle, l'amélioration des compositions d'encre en tenant compte des exigences environnementales, ainsi que l'intérêt croissant pour l'impression sur des matériaux naturels. Cependant, lorsqu'on évoque les lacunes du secteur, on ne peut manquer de remarquer la fragmentation des pratiques scientifiques et l'insuffisance de la normalisation des processus tant de production que de recherche. Ces lacunes définissent les axes prometteurs pour la poursuite des recherches dans ce domaine.

#### 4. Discussion

Cette revue a permis de systématiser les recherches dispersées menées ces dernières années et de mettre en évidence les caractéristiques clés du stade actuel de développement du secteur. L'analyse de 26 publications, sélectionnées parmi les 227 sources initialement identifiées, a montré que le domaine de l'impression numérique sur textile constitue un secteur dynamique, en pleine expansion et, en même temps, insuffisamment structuré, combinant des aspects technologiques, chimiques, de production, environnementaux et économiques.

Les résultats de cette étude montrent que les méthodes d'impression à jet d'encre, notamment le DTG, le DTF et la sublimation, restent au cœur technologique du secteur. Les recherches se concentrent principalement sur l'interaction entre les encres et les matériaux, sur le développement de nouvelles compositions chimiques, sur les méthodes de prétraitement des tissus et sur l'optimisation des paramètres de production. Une attention particulière est accordée à l'impression sur fibres naturelles : c'est précisément ce domaine qui présente les plus grands défis technologiques et le plus grand potentiel d'innovations futures.

L'une des tendances les plus marquantes est la mise à l'échelle de l'impression numérique jusqu'au niveau de la production industrielle. Cela est confirmé par des publications consacrées aux équipements à haut rendement, aux solutions en ligne et à la comparaison des méthodes numériques avec les technologies traditionnelles. À terme, cela témoigne d'une transition progressive de l'impression numérique vers le domaine de la production de masse de produits textiles.

L'intégration des technologies d'intelligence artificielle devient un axe de développement important, tant dans les processus de préparation des images que dans le contrôle qualité de l'impression. L'introduction de l'IA reflète la tendance générale à l'intellectualisation des processus de production et crée les conditions préalables à une automatisation accrue du secteur. Cette tendance souligne l'intégration du secteur de l'impression textile numérique dans la dynamique de l'Industrie 4.0.

Du point de vue de la qualité de l'image, les recherches se concentrent principalement sur le rendu des couleurs, la résistance aux influences extérieures, l'uniformité de l'application et la réduction des défauts d'impression. Cela confirme la nécessité d'améliorer les systèmes de gestion des couleurs en tenant compte des spécificités des différents matériaux textiles.

Malgré un nombre important de publications et un intérêt croissant de la communauté scientifique, cette revue a mis en évidence plusieurs lacunes importantes. La plus notable est l'absence de méthodes unifiées d'évaluation de la qualité d'impression et de normes de description des processus. Le champ de recherche reste fragmenté : les travaux se concentrent souvent sur des aspects étroits de la technologie et l'abordent rarement de manière globale. Les questions de reproductibilité des résultats, de l'influence du micro- et nano-traitement des tissus sur l'impression numérique, de la stabilité à long terme des encres et de la normalisation globale des processus sont insuffisamment étudiées.

Dans l'ensemble, l'analyse permet de conclure que l'impression textile numérique se trouve actuellement dans une phase de transition vers la maturité : le secteur connaît une croissance rapide, élargit sa palette

technologique, s'adapte aux exigences du développement durable et démontre une importance industrielle croissante. Toutefois, pour progresser davantage, il est nécessaire d'approfondir la recherche fondamentale, d'élaborer des normes communes d'évaluation de la qualité, ainsi que de favoriser la collaboration interdisciplinaire entre les spécialistes en science des matériaux, en chimie, en technologies numériques et en production polygraphique.

En conclusion, il convient de noter que cette revue du domaine de l'impression textile numérique a non seulement permis de systématiser les connaissances existantes, mais a également identifié des axes de recherche prometteurs susceptibles de contribuer à un développement plus structuré, scientifiquement fondé et technologiquement durable de ce secteur.

### Liste bibliographique

1. Digital textile printing to drive the printed market to \$266 billion dollars by 2025. URL: <https://www.texintel.com/blog/digital-textile-printing-to-drive-the-printed-textile-market-size-to-26638-billion-by-2025-cagr-89>. (date de la requête: 22.12.2025)
2. PRISMA-Scoping Reviews. URL: <https://www.prisma-statement.org/scoping>. (date de la requête: 20.12.2025)
3. Gaikwad S., Comparative Analysis of Global Research Publications (2020-2024): Trends, Statistical Insights and recommendations. *International Journal of Research in Management Fields*. 2025. №9 (1).
4. Savastano D. The 2022 Digital Textile Ink Market. URL: [https://www.inkworldmagazine.com/the-2022-digital-textile-ink-market/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.inkworldmagazine.com/the-2022-digital-textile-ink-market/?utm_source=chatgpt.com). *Ink World*. 2022. (date de la requête: 30.12.2025).
5. Hanson M.A., Barreiro P.G., Crosetto P., Brockington D. The strain on scientific publishing. *Quantitative Science Studies*. 2024. №5 (4). 823-843 pp.
6. Bridges A. W. Color Fastness of Untreated Textiles in Direct-to-Garment Printing. *The Journal of Technology, Management, and Applied Engineering* 1(1).
7. Efendi T., Latka P., Chuddy S. Digital-to-garment inkjet printing machine. US11077676B2. M&R Printing Equipment Inc. 2021.
8. Renato Murilo de Carvalho Guimarães, Angel Fernando Alvarado Barrientos, Octavio Rodriguez Torre. Direct-to-garment printing. US12297591B1. Elcatex S De RL De CV ELCATEX,S DE R.L. DE C.V. 2025.
9. Sloan D.D. In-line digital printing system for textile materials. US10619293B2. Kornit Digital Ltd. 2020.
10. Trimmingham T. Better Bitmap Backgrounds for DTG Printing. URL: <https://screenprintingmag.com/better-bitmap-backgrounds-for-dtg-printing/>. *Screen Printing Mag.*. 2020. (date de la requête: 21.12.2025).
11. Yu Y., Moore M., Chapman P.L. Social network analysis of an emerging innovation: direct-to-garment printing technology. *Journal of Fashion Marketing and Management*. 2020. №25 (2). 274-289 pp.
12. Ding Y., Zhendong W., Chuanxiong Z., Ruobai X., Wenliang X. A Study on the Applicability of Pigment Digital Printing on Cotton Fabrics. *Textile Research Journal*. 2021. №91 (19–20). 2283–2293 pp.
13. Li Q., Tang T., Liao C., Zhang C., Friedrich K.O., Dorsey B.K. Textile digital printing machine. US20200230946A1. Shenzhen Cntop Digital Equipment Co Ltd. 2020.
14. Yan H., Jiang H. A. Modular Deep Learning Pipeline (CNN+U-Net+GAN) for Color-Accurate, Cross-Material Digital Textile Printing with Transfer-Learning-Based Material Adaptation. *Informatica*. 2025. № 49 (14). 323 - 336 pp.
15. Zhao H. et al. Insights into coloration enhancement of mercerized cotton fabric on reactive dye digital inkjet printing. *RSC Advances*. 2022. №12 (17). 10386-10394 pp.
16. Rahman Md. Mahbubur. Applications of the Digital Technologies in Textile and Fashion Manufacturing Industry. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*. 2021. №3 (1). 114-12 pp.
17. Ambreen Javed K., Khan A., Anwar F., Khan I. A., Malik M. H. Analysis of Identifying and Correcting the Digital Printing Defects in Pakistan's Textile Industry. *TEKS*. 2024. №67 (4). 370-380 pp.
18. Sobandi B., Rohidi Tr., Syarif M., Purnomo M., Sukarman B., Atmojo Wt., Hamdani H. Digital Textile Printing and Batik Preservation: A Bibliometric Analysis via VOSviewer. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*. 2024. № 58(1). 181-203 pp.
19. Hoque S.M.A., Chapman L.P., Moore M., Lavelle J., Saloni D., Woodbridge J., Maguire King K. Environmental Sustainability Analysis of Rotary-Screen Printing and Digital Textile Printing. *AATCC Journal of Research*. 2024. №11 (6). 464-473 pp.
20. Glogar M., Ercegovic Razic S. Sustainable pre-treatment of cellulose knitwear in digital pigment printing processes. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2025. №37 (4). 679-697 pp.
21. Stančić M., Ružičić B., Vujčić D., Grujić D., Dragić M., Janković B. INFLUENCE OF INKJET PRINT PARAMETERS ON THERMAL RESISTANCE OF PRINTED KNITWEARS. [Proceedings of INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN]. Novi Sad: 2020. №1. 437-442 pp.

22. Verbeem M. Direct-to-Film Technology – Shaking Things Up in Digital Textile Printing. URL: <https://textile-network.com/en/Technical-Textiles/Direct-to-Film-Technology-Shaking-Things-Up-in-Digital-Textile-Printing>. textile Network Mag.. 2023. (date de la requête: 29.12.2025).
23. Gooby B. The Development of Methodologies for Color Printing in Digital Inkjet Textile Printing and the Application of Color Knowledge in the Ways of Making Project. Journal of Textile Design Research and Practice. 2020. №8(3). 358-383 pp.
24. Gazibarić Z., Stančić M., Ružičić B. EVALUATION OF PRINT MOTTLE IN TEXTILE PRINTING: IMPACT OF PRINTING METHODS ON MACRO NON-UNIFORMITIES. [Proceedings of INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAPHIC ENGINEERING AND DESIGN]. Novi Sad: 2024. №1. 91-97 pp.
25. Toshikj E., Prangoski B. Textile Sublimation Printing: GLCM Print Mottle Assessment of Black Printed Fabric. Materials Science. 2023. №29 (3). 375-381 pp.
26. Lavrič G. et al. Influence of Ink Curing in UV LED Inkjet Printing on Colour Differences, Ink Bleeding and Abrasion Resistance of Prints on Textile. Tekstilec. 2021. № 64 (3). 221-229 pp.
27. Jeong S., Kim G., Bae H., Kim H., Seo E., Choi S., Jeong J., Jung H., Lee S., Cheong I., Kim J., Park Y. Reactive Disperse Dyes Bearing Various Blocked Isocyanate Groups for Digital Textile Printing Ink. Molecules. 2023. № 28(9). 3812-3823 pp.
28. Silva M.C., Petraconi G., Cecci R.R., Passos A.A., do Valle W.F., Braitte B., Lourenço S.R., Gasi F. Digital Sublimation Printing on Knitted Polyamide 6.6 Fabric Treated with Non-Thermal Plasma. Polymers. 2021. 13.
29. Dmytro P. et al. Investigation of the resistance of different textile prints to washing and abrasion. Fibres and Textiles. 2023. №30 (3). 19-30 pp.
30. Vodyashkin A.A., Makeev M.O., Mikhalev P.A. Inkjet Printing Is a Promising Method of Dyeing Polymer Textile Materials. Polymers. 2025. №17. 756-783 pp.
31. Yue M., Hanisa H. Innovative Application of Digital Printing Technology in “China Chic” Clothing. The International Journal of Engineering and Science (IJES). 2024. №13 (12). 81-89 pp.

*Научный руководитель: Доцент кафедры технического перевода и профессиональных коммуникаций, кандидат филологических наук, доцент А.А. Кручинина*

*Directrice de recherche : Professeure adjointe au département de traduction technique et des communications professionnelles, PhD ès lettres, maître de conférences A. A. Kruchinina*

**М. А. Петров**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18)

### **ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ УПАКОВКЕ ПЛОСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТОВАРОВ: ПРИМЕНЕНИЯ В УПАКОВКЕ ВИНИЛОВЫХ ПЛАСТИНОК**

© М. А. Петров, 2026

*Возрождение рынка виниловых пластинок вернуло интерес компаний к упаковке виниловых пластинок как к системе, сочетающей в себе защитные, эстетические и экологические функции. Цель данного исследования является картирование и систематизирование существующих исследований по выбору материалов упаковки в контексте устойчивого развития для плоских потребительских товаров с возможностью применения данных для упаковки виниловых пластинок. Исследование проводится в форме обзора предметного поля в соответствии с принципами PRISMA-ScR. Литература была отобрана путем поиска в базах данных Dimensions, Scopus, Google Scholar за период 1990–2025 года. Результаты показывают несколько актуальных тем, включая биоразлагаемые упаковочные материалы, защитные покрытия, прочные полимерные плёнки, а также методы производства, ориентированные на устойчивое развитие. Выявлены пробелы в литературе и направления будущих исследований, имеющих отношение к технологиям упаковки.*

**Ключевые слова:** свойства упаковочных материалов, полимерные плёнки, картон, бумага, устойчивое развитие, плоские потребительские товары, виниловые пластинки.

**М. А. Petrov**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **MATERIAL SELECTION AND ENVIRONMENTAL CHALLENGES IN PACKAGING OF FLAT CONSUMER PRODUCTS: IMPLICATIONS FOR VINYL RECORDS**

*The revival of the vinyl record market has renewed companies' interest in vinyl record packaging as a system that integrates protective, aesthetic, and environmental functions. The aim of this study is to map and systematize existing research on packaging material selection in the context of sustainability for flat consumer products, with potential application to vinyl record packaging. The study is conducted as a scoping review in accordance with the PRISMA-ScR guidelines. The literature was identified through searches in the Dimensions, Scopus, and Google Scholar databases, covering the period from 1990 to 2025. The results reveal several prominent research themes, including biodegradable packaging materials, protective coatings, high-performance polymer films, and manufacturing approaches oriented toward sustainable development. Gaps in the existing literature and directions for future research relevant to packaging technologies are identified.*

**Keywords:** packaging material properties, polymer films, cardboard, paper, sustainability, flat consumer products, vinyl records.

Packaging of flat consumer products – including printed materials, cultural objects, and certain types of consumer electronics – represents a multi-component system that typically combines paper-based materials (paper and paperboard) with polymer films and plastic components [1]. In contrast to bulky products, flat items are characterized by a large surface area and relatively small thickness, which imposes specific packaging requirements related to protection against bending, mechanical stress, and surface damage [2]. In many cases, packaging simultaneously serves not only a protective function but also contributes to the perceived quality and aesthetic value of the product [3]. Although design influences consumer perception, in the context of this study it is considered primarily insofar as it affects material selection and application, rather than as an independent object of analysis.

Material selection for packaging of flat consumer products is of critical importance, as it determines the balance between functional performance and environmental impact [4]. Key parameters include the mechanical strength of materials, their ability to protect sensitive surfaces, and the feasibility of implementing solutions aimed at reducing environmental burden [5]. Within this context, vinyl records can be considered a specific example of a

flat consumer product for which packaging requirements are particularly sensitive due to the combination of the physical vulnerability of the medium and its cultural value.

The relevance of studying packaging for flat products is further reinforced by the renewed growth of the vinyl record market, for which continued increases in sales volumes are projected in the coming years [6, 7]. Market expansion inevitably leads to increased use of packaging materials and, consequently, to greater environmental impacts. Against the backdrop of growing attention to sustainable and environmentally responsible production practices [8], it becomes especially important to assess the environmental implications of packaging materials throughout their entire life cycle – from raw material selection and package design to end-of-life disposal and recycling. Fig. 1 shows the strong growth forecast for the vinyl records market worldwide up to 2032.



Fig. 1. The vinyl records market worldwide up to 2032 [8].

Given that packaging is an integral component of flat consumer products, materials must be selected with consideration of the properties of the packaged object, including requirements for mechanical protection, surface preservation, and the potential use of more environmentally sustainable solutions. Analysis of parameters such as paperboard thickness and structure, types of polymers used, and lamination techniques makes it possible to identify trade-offs between packaging functionality and environmental performance.

Despite the substantial body of research devoted to packaging materials and sustainability issues in packaging, the application of these approaches to flat cultural products, including vinyl records, remains insufficiently systematized. The existing literature is dominated by studies focused on food packaging and standard consumer goods, while the specific characteristics of flat products and their associated environmental aspects are addressed only fragmentarily. Therefore, the aim of this review is to synthesize existing knowledge on packaging materials, identify research gaps, and establish a foundation for future studies on environmentally sustainable and functionally effective packaging of flat consumer products, with reference to vinyl record packaging.

### Methods

No registered review protocol was used for this study, as the objective was to provide an analytical overview of trends in materials used for packaging flat consumer products – a research area characterized by fragmented and highly interdisciplinary literature. An iterative search approach was employed, allowing search queries to be refined progressively in order to define the boundaries of the review and clarify key concepts within the field.

The review was designed as a scoping-oriented mapping exercise rather than an exhaustive assessment of the literature, with the aim of conceptually synthesizing information from sources identified in the Scopus, Google Scholar, and Dimensions databases.

The Dimensions database was selected as the primary and representative source, and it serves as the basis for presenting the search strategy, source selection, and analytical procedures.

Additional searches were conducted in the Scopus database when institutional access was available. However, due to access limitations and the limited thematic relevance of the retrieved results, these sources were not included in the analytical component of the review.

Google Scholar was used as a supplementary source to identify selected relevant publications and grey literature that may not have been indexed in specialized bibliographic databases.

Using the Dimensions database, a series of search queries was conducted on 7 December 2025:

1. ("flat products") AND packaging AND materials
2. ("flat consumer products") AND ("protective packaging" OR materials)
3. ("protective packaging") AND ("fragile products" OR "thin products")
4. ("packaging performance") AND ("paperboard" OR "polymer films")
5. ("environmental impact") AND ("consumer packaging") AND materials
6. ("packaging waste") AND ("paper packaging" OR "plastic films")
7. ("vinyl records") AND ("protective packaging" OR "outer sleeves")
8. ("record sleeves") AND ("material properties" OR durability)

The obtained sources were included based on the following criteria:

- packaging of consumer products was considered as the primary object of analysis;
- packaging materials were analyzed (paper, paperboard, polymer films, plastics, composite materials);
- functional parameters of packaging were examined (e.g., structural properties, mechanical strength, protection against external impacts);
- environmental aspects of packaging were addressed (environmental impact, recyclability, compliance with sustainability principles, packaging life-cycle considerations);
- the information could be applied to flat consumer products, including vinyl records;
- only publications written in English were included, as this language accounts for the majority of research in the fields of packaging materials and sustainability;
- studies published between 2020 and 2025 were prioritized to reflect contemporary approaches to material selection for vinyl record packaging; earlier publications were included only when they were considered conceptually significant for understanding the development of the field;
- availability of an abstract was required to enable an initial assessment of relevance;
- only publications with access to the full text were included, ensuring content analysis and reproducibility of the source selection process.

The selection process consisted of several stages. First, publications were screened based on titles and abstracts to assess their relevance to the review topic and their compliance with the inclusion criteria. In the subsequent stage, full-text analysis was conducted for the selected articles, with the aim of extracting specific information on materials, functional characteristics, and environmental aspects of packaging.

The following exclusion criteria were applied and reflected in the flow diagram:

- studies focused on food packaging;
- materials discussed outside the context of packaging;
- studies addressing transport or industrial packaging;
- publications in which materials and their properties were not analyzed;
- books not focused on packaging.

The application of the search strategy and selection criteria described above resulted in a final pool of sources for analysis. The screening process and the number of included studies are summarized in the flow diagram. The selection process is illustrated in Fig. 2.

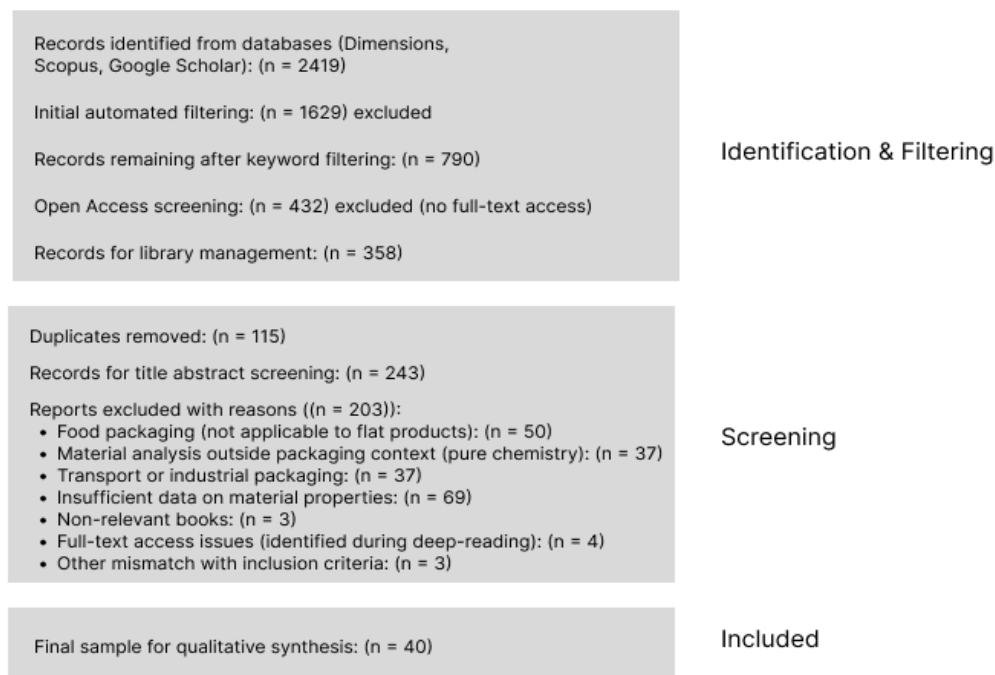


Fig.2. PRISMA Flow Diagram

### Results

The selection process followed the PRISMA-ScR guidelines. Initially, 2419 records were identified. After removing 115 duplicates and screening by titles/abstracts, 358 sources were selected for full-text eligibility assessment. Finally, 40 studies met all inclusion criteria and were included in the synthesis.

Fig. 3 illustrates the frequency of source reduction at each stage of the selection process. It demonstrates the transition from the initial broad search results (n = 2419) to the final analytical sample (n = 40), highlighting the efficiency of the applied filtration criteria and the systematic narrowing of the research scope.

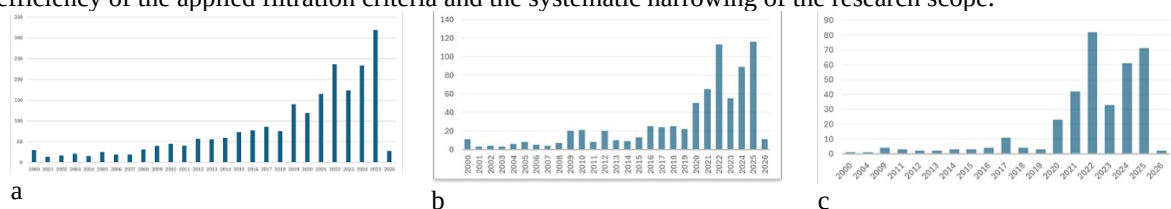


Fig. 3. Step-by-step reduction.

a – records identified from databases; b – records remaining after keyword filtering; c – records for library management

The preliminary screening was conducted using a keyword-based exclusion method. Sources containing terms related to irrelevant industries – such as food, beverage, pharmaceutical, medical, drug, transport, logistics, and pallet – were excluded. This ensured that the focus remained strictly on consumer packaging applicable to flat goods, filtering out industrial and specialized medical or food containers at an early stage. The sample of the keywords for the search engine query is shown in Fig. 4.

packaging	food
package	beverage
packaging material	pharmaceutical
protective	medical
sleeve	drug
outer sleeve	transport
	logistics
	pallet

Fig. 4. The used keywords.

The final stage of the selection process involved a comprehensive full-text review of the remaining 40 articles to ensure their strict alignment with the research objectives. During this stage, each source was rigorously evaluated against predefined qualitative criteria. Sources were prioritized for inclusion if they provided a detailed analysis of material parameters such as mechanical strength, protective properties, and structural integrity or offered substantive insights into sustainability and environmental impact beyond superficial marketing slogans. Furthermore, preference was given to studies that introduced specific methods, conceptual frameworks, or classifications directly applicable to the packaging of flat goods.

Conversely, several exclusion criteria were applied to refine the sample. Articles were rejected if the packaging was treated merely as a background element rather than the primary object of study, or if they lacked a technical analysis of material characteristics. Additionally, papers focusing on food packaging were excluded unless their findings were directly transferable to the structural requirements of flat product containers. Studies that replaced substantive environmental data with "greenwashing" or purely rhetorical phrases were also omitted.

As a result of this final scrutiny, six additional sources were excluded from the synthesis. One article was removed due to its focus on economic justifications rather than the physical characteristics of materials, and another was rejected for a total lack of material analysis. Three sources were excluded because their full-text versions ultimately proved inaccessible, and one was omitted as the packaging remained a peripheral topic. Following this final refinement, 34 sources were selected for the final qualitative synthesis and thematic discussion.

### Discussion

The qualitative analysis of the selected studies reveals several dominant research directions that define the current state of packaging science. Although the field is fragmented, three key thematic clusters can be identified: the development of sustainable materials, the advancement of active packaging technologies, and the engineering of high-performance reinforced structures.

A primary focus in recent literature is the transition toward a circular economy. Research heavily emphasizes biodegradable and compostable materials as alternatives to traditional petroleum-based polymers. Studies explore the use of biopolymers, e.g., PLA, PHA, and starch-based compounds, to reduce the environmental footprint of consumer packaging. However, current discussions highlight a significant gap between conceptual laboratory results and practical implementation, noting that the efficacy of these materials often depends on specific industrial composting conditions.

Another emerging trend is active packaging, which goes beyond passive containment. In the context of flat goods and related sectors, this includes materials with integrated antimicrobial properties, moisture-regulated coatings, and oxygen barriers. While originally driven by the food industry to extend shelf life, these technologies are increasingly being adapted for high-value consumer goods to ensure surface preservation and protection against environmental degradation.

To address the specific vulnerabilities of flat products, e.g., bending and mechanical impact, significant research is dedicated to reinforced packaging structures. This includes the development of composite materials and multi-layered paperboard with enhanced stiffness-to-weight ratios. Studies focusing on impact-resistant or reinforced designs aim to provide maximum protection against heavy mechanical stress while minimizing material usage, which is crucial for products like vinyl records that are highly sensitive to physical deformation.

In summary, while the broader research landscape provides robust data on material chemistry and environmental impact, there is a clear lack of systematized knowledge specifically tailored to flat consumer goods. Most studies prioritize barrier properties for perishables, leaving the unique requirements of flat products underrepresented, e.g., long-term structural rigidity and surface finish protection. The study bridges that gap by mapping how existing innovations in biopolymers and reinforced structures can be effectively applied to the packaging of flat, high-sensitivity items.

Based on the findings of this review, several promising avenues for future research in the field of packaging for flat consumer products and vinyl records can be identified.

**Optimization of 'Bio-Composite' Materials.** Future studies should focus on creating hybrid materials that combine the structural rigidity of recycled paperboard with the protective properties of bio-based polymer films. For vinyl records, it is critical to develop inner sleeves that are not only biodegradable but also possess permanent anti-static properties to prevent surface micro-damage.

**Life Cycle Assessment (LCA) of Specialized Packaging.** There is a need for rigorous comparative analysis between traditional PVC/paper packaging and new sustainable alternatives. Future research should evaluate the total environmental impact, including the energy intensity of producing high-density reinforced structures versus their durability and reuse potential.

**Smart Packaging for Collectibles.** The integration of "active" elements, such as humidity indicators or tamper-evident sensors, represents a significant opportunity. For high-value flat goods like rare vinyl editions, smart packaging could provide real-time data on storage conditions, ensuring the long-term preservation of the media.

**Structural Design Innovation.** Further engineering research is needed to develop "zero-waste" folding patterns that maximize bending resistance without increasing material volume. Applying origami-inspired structures to protective outer sleeves could significantly reduce the carbon footprint of logistics for flat products.

### Список литературы

1. *Packaging Material*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/packaging-material>. (Дата обращения: 09.12.2025).
2. Kirwan, M. J. *Paper and Paperboard Packaging Technology*. John Wiley & Sons Limited, 2020. 458 pp.
3. Yung, X. Y. The Positive Role of Packaging in Consumer Behavior// *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2023. No. 1(63). Pp. 293–300. DOI:10.54254/2754-1169/63/20231445.
4. Nordin, N., Selke, S. Social aspect of sustainable packaging // *Packaging Technology and Science*. 2010. No. 23(6). Pp. 317–326. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/pts.899> (Дата обращения: 08.12.2025).
5. Verghese, K., Lewis, H., Fitzpatrick, L. *Packaging for Sustainability*. Springer London, 2012. 384 pp. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-988-8>.
6. *Global Vinyl Record Market to Reach USD 3.5 Billion by 2033* // IMARC Group. URL: <https://www.imarcgroup.com/vinyl-record-market> (Дата обращения: 09.12.2025).
7. *Vinyl Records Market Size & Forecast*. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/vinyl-records-market/> (Дата обращения: 19.12.2025)
8. *Shift towards sustainable vinyl*. KeyProduction.co.uk, 16 May 2024. URL: <https://www.keyproduction.co.uk/press-releases/shift-towards-sustainable-vinyl/> (Дата обращения: 19.12.2025).

### References

1. *Packaging Material*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/packaging-material>. (Accessed: 09.12.2025).
2. Kirwan, M. J. *Paper and Paperboard Packaging Technology*. John Wiley & Sons Limited, 2020. 458 pp.
3. Yung, X. Y. The Positive Role of Packaging in Consumer Behavior// *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2023. No. 1(63). Pp. 293–300. DOI:10.54254/2754-1169/63/20231445.
4. Nordin, N., Selke, S. Social aspect of sustainable packaging // *Packaging Technology and Science*. 2010. No. 23(6). Pp. 317–326. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/pts.899> (Accessed: 08.12.2025).
5. Verghese, K., Lewis, H., Fitzpatrick, L. *Packaging for Sustainability*. Springer London, 2012. 384 pp. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-988-8>.
6. *Global Vinyl Record Market to Reach USD 3.5 Billion by 2033* // IMARC Group. URL: <https://www.imarcgroup.com/vinyl-record-market> (Accessed: 09.12.2025).
7. *Vinyl Records Market Size & Forecast*. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/vinyl-records-market/> (Accessed: 19.12.2025)
8. *Shift towards sustainable vinyl*. KeyProduction.co.uk, 16 May 2024. URL: <https://www.keyproduction.co.uk/press-releases/shift-towards-sustainable-vinyl/> (Accessed: 19.12.2025).

*Научный руководитель: заведующий кафедрой технического перевода и профессиональных коммуникаций, доцент, кандидат филологических наук Л. В. Назарова*  
*Scientific Advisor: Associate Professor of the Department of Technical Translation and Professional Communications, Larissa Nazarova, PhD*

УДК 378.1:004

**Е.В. Петрушак**Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

© Е.В. Петрушак, 2026

*В статье проведён аналитический обзор процессов цифровой трансформации системы высшего образования Российской Федерации. Проанализирована эволюция нормативно-правовой базы с 2017 по 2025 год, включая переход от завершённых национальных проектов первого цикла к новым программам с горизонтом до 2030 года. Представлены актуальные статистические данные об использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения в вузах. Предложена авторская систематизация проблем цифровизации по трём уровням: педагогическому, технологическому и управленческому. Рассмотрен международный контекст, включая опыт Европейского союза и стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Обоснованы перспективные направления развития, связанные с переходом к управлению образовательными организациями на основе данных, внедрением технологий искусственного интеллекта и формированием модели цифрового университета.*

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, высшее образование, цифровые компетенции, дистанционные образовательные технологии, цифровая образовательная среда, управление на основе данных, цифровой университет.

**E.V. Petrushak**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**PROBLEMS AND PROSPECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION  
IN HIGHER EDUCATION**

*The article provides an analytical review of the digital transformation processes in the Russian higher education system. The evolution of the regulatory framework from 2017 to 2025 is analyzed, including the transition from completed first-cycle national projects to new programs with a 2030 horizon. Current statistical data on the use of distance educational technologies and e-learning in universities are presented. An original systematization of digitalization problems at three levels — pedagogical, technological, and managerial — is proposed. The international context is considered, including the experience of the European Union and Asia-Pacific countries. Promising development directions related to the transition to data-driven management of educational organizations, the implementation of artificial intelligence technologies, and the formation of a digital university model are substantiated.*

**Keywords:** digital transformation, higher education, digital competencies, distance educational technologies, digital educational environment, data-driven management, digital university.

Глобальное проникновение информационно-коммуникационных технологий во все сферы общественной жизни обусловило необходимость системной перестройки деятельности образовательных организаций высшего образования. Цифровая трансформация вузов рассматривается сегодня не только как технологическое обновление инфраструктуры, но и как комплексное изменение управленческих, педагогических и организационных процессов на основе цифровых решений [1]. Данный процесс выходит за рамки автоматизации отдельных функций и предполагает качественное переосмысление моделей управления вузом, включая механизмы принятия решений на всех уровнях образовательной организации [2].

Актуальность темы обусловлена переходным характером текущего этапа: завершены национальные проекты первого цикла (2019–2024), вступили в действие новые программные документы с горизонтом до 2030 года. Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «Цифровая трансформация» определена как одна из семи национальных целей развития, что задаёт стратегический вектор модернизации образовательной отрасли [3]. При этом ряд системных проблем цифровизации — от недостаточной педагогической интеграции цифровых инструментов до импортозамещения программного обеспечения — остаётся нерешённым.

Целью настоящей работы является систематизация современных тенденций, выявление и классификация ключевых проблем, а также определение перспективных направлений цифровой трансформации высшего образования в Российской Федерации. Методологической основой послужил аналитический обзор нормативно-правовых актов, статистических данных Росстата и ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, а также научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей за 2021–2025 годы.

**Нормативно-правовые основы цифровой трансформации высшего образования.** Формирование правового поля цифровой трансформации высшего образования осуществляется на основе ряда стратегических документов, образующих многоуровневую систему. Базовым актом остаётся Стратегия развития информационного общества (Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203), определяющая общую траекторию цифровизации до 2030 года [4]. В развитие данной стратегии распоряжением Правительства Российской Федерации от 05.07.2025 № 1805-р утверждено обновлённое стратегическое направление в области цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования, заменившее ранее действовавшее распоряжение № 3759-р от 21.12.2021 [5]. Принципиально важно, что обновлённый документ формулирует количественные индикаторы цифровой зрелости: долю образовательных организаций с внедрённой стратегией цифровой трансформации (целевое значение — 100 %), долю программ с использованием технологий искусственного интеллекта, а также уровень перехода на отечественное программное обеспечение.

Существенные изменения произошли в структуре национальных проектов. Национальный проект «Образование» и входивший в его состав федеральный проект «Цифровая образовательная среда» завершены 31 декабря 2024 года. Их функции переданы двум новым национальным проектам: «Молодёжь и дети» и «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [6]. Последний включает федеральный проект «Кадры для цифровой трансформации» с бюджетом 43,6 млрд руб., предусматривающий подготовку 250 тыс. студентов по практикоориентированным ИТ-направлениям. Таким образом, произошёл переход от поддерживающей модели цифровизации (обеспечение инфраструктуры) к трансформационной (изменение содержания и управления).

Параллельно реализуется пилотный проект реформирования системы высшего образования (Указ Президента РФ от 12.05.2023 № 343), предполагающий введение двухуровневой модели: базовое высшее образование (4–6 лет) и специализированное (1–3 года). В январе 2026 года проект продлён до 2029/30 учебного года, а число участвующих вузов расширено до 17 [7]. Следует отметить, что структурная реформа создаёт дополнительный запрос на цифровые инструменты управления образовательными программами, индивидуальными траекториями и перезачётом результатов обучения.

**Текущее состояние цифровизации: статистический анализ и инфраструктурные проекты.** Пандемия COVID-19 выступила мощным катализатором цифровизации высшего образования, однако закрепление достигнутых результатов в постпандемийный период неоднородно. По данным сборника «Индикаторы образования: 2024» (ИСИЭЗ НИУ ВШЭ), доля студентов, обучающихся с применением электронного обучения, возросла с 20,5 % в 2019/20 учебном году до 51 % в 2023/24 учебном году, а число обучающихся с использованием онлайн-технологий увеличилось в 2,6 раза, достигнув 8,1 млн человек [8]. По данным Росстата, в 2022 году 76,1 % самостоятельных образовательных организаций высшего образования (550 из 723) применяли дистанционные образовательные технологии, хотя данный показатель снизился с пиковых 83 % в 2020 году [9]. Указанная динамика свидетельствует о стабилизации применения ДОТ на уровне, существенно превышающем допандемийный (42,8 % в 2016 году), но ниже экстренных значений периода локдаунов.

Рынок образовательных технологий демонстрирует устойчивый рост при замедлении темпов: совокупная выручка 100 крупнейших EdTech-компаний России составила 144,5 млрд руб. в 2024 году (+19 %) и, по оценкам Smart Ranking, достигла 154 млрд руб. в 2025 году (+12 %) [10]. При этом рынок высшего онлайн-образования оценивается в 4,5 млрд руб. (рост в 6,5 раза с 2021 года), а 90 % абитуриентов онлайн-программ выбирают магистратуру [11]. Данная тенденция указывает на формирование устойчивого спроса на гибкие форматы обучения именно на уровне второй ступени высшего образования, что необходимо учитывать при проектировании цифровых образовательных сервисов.

Среди значимых инфраструктурных проектов выделяется суперсервис «Поступление в вуз онлайн»: в 2025 году им воспользовались 79 % абитуриентов (1,3 млн человек), что в 3,6 раза превышает показатель 2022 года [12]. Национальная платформа открытого образования (openedu.ru) объединяет более 800 онлайн-курсов от 18 ведущих вузов с возможностью перезачёта [13]. Программа «Приоритет-2030» охватывает 119 университетов из 56 регионов с финансированием 30,5 млрд руб. [14]. Вместе с тем, по данным самого Минобрнауки, средний уровень цифровой зрелости в отрасли науки и высшего образования составил лишь 45 % (оценка 2023 года), при этом стратегию цифровой трансформации внедрило только 34 % вузов, а централизованную политику управления данными — 23 % [5]. Данный разрыв между масштабом инфраструктурных проектов и уровнем их институциональной интеграции представляет собой ключевое противоречие текущего этапа.

**Систематизация проблем и барьеров цифровой трансформации.** Проведённый анализ позволяет систематизировать проблемы цифровой трансформации высшего образования по трём уровням: педагогическому, технологическому и управленческому. Подобная классификация корреспондирует с результатами систематического обзора Т. Gkrimpizi, V. Peristeras и I. Magnisalis, выявившего 20 барьеров в шести категориях [15], однако адаптирована к специфике российской образовательной системы.

*Педагогический уровень* характеризуется разрывом между технической доступностью цифровых инструментов и их содержательной интеграцией в образовательный процесс. В.Г. Ларионов, Е.Н. Шереметьева и Л.А. Горшкова справедливо указывают, что цифровая трансформация предполагает перестройку не только инфраструктуры, но и технологий обучения, методов, форм учебной деятельности и результатов оценивания [16]. Между тем, по данным НАФИ, индекс ИКТ-компетентности преподавателей вузов в педагогической практике составляет лишь 45 баллов из 88 возможных, при этом компонент «отношение к инновациям» оказался наиболее низким [17]. Е.М. Игнатенко дополнительно фиксирует проблему формирования нового поколения digital-преподавателей: образовательные организации не всегда успевают перестраиваться под актуальные форматы работы со студентами в рамках гибридного и дистанционного обучения [18]. Таким образом, ключевым барьером на педагогическом уровне выступает не отсутствие технических средств, а недостаточность методической подготовки и мотивации преподавательского состава к использованию цифровых педагогических технологий.

*Технологический уровень* определяется прежде всего задачами импортозамещения программного обеспечения. Геополитические изменения 2022 года привели к отключению ведущих международных платформ (Coursera, Open edX) от сотрудничества с российскими вузами. По данным совместного исследования Университета Иннополис и АНО «Цифровая экономика», образовательные организации лишились более 80 % лицензий на зарубежное ПО, при этом каждый четвёртый вуз не видит возможности полного перехода на отечественные аналоги [19]. Постановление Правительства РФ от 11.10.2023 № 1678 обязало вузы использовать ПО из реестра отечественного программного обеспечения и передавать данные в ГИС «СЦОС», однако на практике переход сопряжён с дефицитом отечественных решений в отдельных предметных областях. Н.В. Днепровская отмечает, что при высокой обеспеченности ПК и доступом к Интернету (более 90 % компьютеров в вузах подключены к сети) автоматизация учебных процессов остаётся недостаточной [20]. Региональное цифровое неравенство усиливает проблему: доля ПК с доступом к Интернету варьируется от 80,3 % в Северо-Кавказском ФО до 94,1 % в Сибирском ФО [9].

*Управленческий уровень* связан с необходимостью перехода от традиционных моделей администрирования к управлению на основе данных. А.В. Балановская, Д.Н. Франтасов и О.А. Горбунова подчёркивают, что перед образовательными организациями стоит задача формирования целостной системы бизнес-процессов, базирующейся на информационных технологиях и накапливаемых цифровых данных, для перехода к концепции цифрового университета в среднесрочной перспективе, а в долгосрочной — к модели цифрового двойника университета [21]. А.А. Корнеев указывает на необходимость создания единой правовой базы, регулирующей цифровую образовательную среду, включая аспекты здоровьесбережения и информационной безопасности [22]. Вместе с тем А. Fernández и соавт. на основе анализа 184 инициатив в 39 университетах мира установили, что лишь 25 % вузов имеют формализованную цифровую стратегию, тогда как 56 % запускают изолированные инициативы без системной координации [23]. Данное наблюдение характерно и для российских вузов, где, как отмечено выше, только 34 % организаций внедрило стратегию цифровой трансформации.

**Международный контекст и перспективные направления развития.** Цифровая трансформация высшего образования представляет собой глобальный тренд, и анализ международного опыта позволяет выявить перспективные ориентиры для российской системы. Европейский союз реализует Цифровой план действий в сфере образования на 2021–2027 годы (Digital Education Action Plan), охватывающий 14 мероприятий по двум стратегическим приоритетам: развитие высокоэффективной цифровой образовательной экосистемы и формирование цифровых компетенций [24]. Китай демонстрирует лидерство по масштабу: национальная платформа объединяет более 76 800 MOOC-курсов с 454 млн зарегистрированных пользователей [25]. Опыт указанных стран свидетельствует о том, что успешная цифровая трансформация требует сочетания масштабных инфраструктурных инвестиций, нормативного обеспечения и целенаправленного развития компетенций всех участников образовательного процесса.

На основании проведённого анализа можно выделить четыре перспективных направления цифровой трансформации высшего образования в Российской Федерации. Первое направление — переход к управлению образовательными организациями на основе данных (data-driven management). Это предполагает создание систем поддержки принятия управленческих решений, использующих предиктивную и предписывающую аналитику для оптимизации финансово-хозяйственной, образовательной и научно-исследовательской деятельности [21]. Обновлённая Стратегия цифровой трансформации (2025) закрепляет данный подход в качестве методологического направления, определяя переход к управлению на основе данных как системный приоритет [5].

Второе направление — интеграция технологий искусственного интеллекта в образовательный и управленческий процессы. Среди целевых индикаторов Стратегии — доля образовательных программ с использованием ИИ и доля научных исследований, проводимых с применением данных технологий [5]. Проект «Цифровые кафедры», охватывающий 119 вузов, уже обеспечил подготовку более 86 тыс. студентов по дополнительным ИТ-квалификациям, включая направления, связанные с ИИ [26].

Третье направление — развитие экосистемы отечественных цифровых платформ. Оно включает ГИС «Современная цифровая образовательная среда», адаптированные LMS-решения (в частности, среда электронного обучения ZKL на базе Moodle, внесённая в Реестр отечественного ПО), платформу SmartLMS и другие сервисы [27]. Формирование конкурентоспособного отечественного рынка EdTech-решений для вузов представляется необходимым условием технологического суверенитета образовательной системы.

Четвёртое направление — формирование модели цифрового университета как интегративного методологического конструкта. Е.В. Неборский выделяет четыре компонента данной модели: цифровой формат обучения, цифровая среда, цифровые ресурсы и цифровой преподаватель [28]. Реализация этой модели предполагает не механическое внедрение отдельных технологий, а системную трансформацию всех направлений деятельности вуза на основе единой цифровой архитектуры.

**Заключение.** Проведённый анализ свидетельствует о том, что цифровая трансформация российского высшего образования вступила в качественно новую фазу, характеризующуюся переходом от экстенсивного внедрения дистанционных технологий к формированию комплексной цифровой экосистемы вузов. Предложенная систематизация проблем по трём уровням — педагогическому, технологическому и управленческому — показывает, что основные барьеры носят не столько технический, сколько организационно-методический характер: разрыв между доступностью цифровых инструментов и их педагогической интеграцией, фрагментарность институциональных стратегий (лишь 34 % вузов имеют стратегию цифровой трансформации), инерция управленческих моделей.

Вместе с тем количественные показатели (51 % студентов с электронным обучением, 79 % абитуриентов через суперсервис «Поступление онлайн», рост EdTech-рынка до 154 млрд руб., охват программой «Приоритет-2030» 119 вузов) свидетельствуют о значительном ресурсном потенциале для дальнейшей трансформации. Преодоление выявленных проблем, по мнению автора, требует комплексного подхода, объединяющего три взаимосвязанных компонента: совершенствование нормативного регулирования с акцентом на цифровую зрелость, целевое развитие цифровых компетенций научно-педагогических работников и переход к моделям управления на основе данных. Последнее направление представляется особенно значимым, поскольку создание систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений способно существенно повысить эффективность функционирования образовательных организаций в условиях ресурсных ограничений и высокой динамики внешней среды.

*Научный руководитель: доцент кафедры интеллектуальных систем и защиты информации, доцент, канд. техн. наук, Зурахов В.С.*

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of Intelligent Systems and Information Security, Ph.D. in Engineering, Zurakhov Vladimir Sergeevich*

### Список литературы

1. Косникова О. В., Золкин А. Л., Ломакина Е. В., Гарбузова Т. Г. Развитие высшего образования в условиях цифровой трансформации // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. № 9. Т. 11. С. 134–142.
2. Уваров А. Ю., Гейбл Э., Дворецкая И. В. [и др.]. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / под ред. А. Ю. Уварова, И. Д. Фрумина. М.: ИД ВШЭ, 2019. 343 с.
3. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 12.02.2026).
4. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 12.02.2026).
5. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации науки и высшего образования до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 05.07.2025 № 1805-р. URL: <http://government.ru/docs/all/159888/> (дата обращения: 15.02.2026).
6. Паспорт национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства». URL: <http://government.ru/rugovclassifier/923/about/> (дата обращения: 15.02.2026).
7. О некоторых вопросах совершенствования системы высшего образования: Указ Президента РФ от 12.05.2023 № 343 (ред. от 22.01.2026 № 27). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49210> (дата обращения: 20.02.2026).

8. Образование в цифрах: 2024: краткий статистический сборник / Л. М. Гохберг, О. К. Озерова, Е. В. Саутина [и др.]. М.: ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, 2024. 132 с.
9. Белоусова М. Н., Алехина А. В., Здоровец С. О. Анализ тенденций развития высшего образования в условиях цифровой трансформации общества // *Современные проблемы науки и образования*. 2023. № 4. С. 54.
10. Выручка 100 крупнейших EdTech-компаний России за последние пять лет выросла в 10 раз / Forbes.ru. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/540220-vyrucka-100-krupnejshih-edtech-kompanij-rossii-zapоследnie-pat-let-vyugosla-v-10-raz> (дата обращения: 25.02.2026).
11. Рынок высшего онлайн-образования в 2024 году вырос на 36 % / РБК Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/676437649a79478a21d74da1> (дата обращения: 25.02.2026).
12. Суперсервис «Поступай в вуз онлайн»: проводник в мир высшего образования / Рособнадзор. URL: <https://obrnadzor.gov.ru/news/superservis-postupaj-v-vuz-onlajn-provodnik-v-mir-vysshego-obrazovaniya/> (дата обращения: 02.03.2026).
13. Национальная платформа открытого образования. URL: <https://openedu.ru/> (дата обращения: 02.03.2026).
14. Программа стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». URL: <https://priority2030.ru/> (дата обращения: 05.03.2026).
15. Gkrimpizi T., Peristeras V., Magnisalis I. Classification of Barriers to Digital Transformation in Higher Education Institutions: Systematic Literature Review // *Education Sciences (MDPI)*. 2023. Vol. 13. No. 7. Art. 746. DOI: 10.3390/educsci13070746.
16. Ларионов В. Г., Шереметьева Е. Н., Горшкова Л. А. Цифровая трансформация высшего образования: технологии и цифровые компетенции // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*. 2021. № 2. С. 61–69. DOI: 10.24143/2073-5537-2021-2-61-69.
17. Цифровое будущее образования: как российские педагоги интегрируют технологии в учебный процесс? / НАФИ. URL: <https://nafi.ru/projects/sotsialnoe-razvitie/tsifrovaya-gramotnost-rossijskikh-pedagogov/> (дата обращения: 10.03.2026).
18. Игнатенко (Соловцова) Е. М. Цифровая трансформация высшего образования: перспективы и риски // *Электронный научный журнал «ГосРег»*. 2022. № 2.
19. Исследование потенциала импортозамещения программного обеспечения в приоритетных отраслях экономики / Университет Иннополис, АНО «Цифровая экономика». 2022. URL: [https://innopolis.university/filespublic/otchet\\_po2022.pdf](https://innopolis.university/filespublic/otchet_po2022.pdf) (дата обращения: 10.03.2026).
20. Днепровская Н. В. Оценка готовности российского высшего образования к цифровой экономике // *Статистика и экономика*. 2018. Т. 15. № 4. С. 16–28. DOI: 10.21686/2500-3925-2018-4-16-28.
21. Балановская А. В., Франтасов Д. Н., Горбунова О. А. Направления развития образовательных организаций в условиях цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования // *Известия Байкальского государственного университета*. 2022. Т. 32. № 2. С. 423–431. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(2).423-431.
22. Корнеев А. А. Цифровая образовательная среда в условиях цифровой трансформации образования: развитие нормативно-правовой базы // *Отечественная и зарубежная педагогика*. 2022. Т. 1. № 2 (83). С. 175–183.
23. Fernandez A., Gomez B., Binjaku K., Mece E. K. Digital transformation initiatives in higher education institutions: A multivocal literature review // *Education and Information Technologies (Springer)*. 2023. DOI: 10.1007/s10639-022-11544-0.
24. Digital Education Action Plan 2021–2027 / European Commission. URL: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/digital-education-action-plan-2021-2027.html> (дата обращения: 18.03.2026).
25. China's Smart Education Platform / UNESCO. URL: <https://en.ichei.org/> (дата обращения: 18.03.2026).
26. Проект «Цифровые кафедры»: как и у кого формировать цифровые компетенции? // *КиберЛенинка*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekt-tsifrovye-kafedry-kak-i-u-kogo-formirovat-tsifrovye-kompetentsii> (дата обращения: 22.03.2026).
27. Среда электронного обучения ZKL (Русский Moodle). URL: <https://opentechology.ru/products/russianmoodle> (дата обращения: 22.03.2026).
28. Неборский Е. В. Цифровой университет как интегративный методологический конструкт // *Мир науки. Педагогика и психология*. 2021. Т. 9. № 3. DOI: 10.15862/41PDMN321.

### References

1. Kosnikova O. V., Zolkin A. L., Lomakina E. V., Garbuzova T. G. Razvitie vysshego obrazovaniya v usloviyakh tsifrovoy transformatsii [Development of higher education in the context of digital transformation]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2024. No 9. Vol. 11. 134–142 pp. (in Rus.).
2. Uvarov A. Yu., Gable E., Dvoretzkaya I. V. [et al.]. *Trudnosti i perspektivy tsifrovoy transformatsii obrazovaniya [Difficulties and prospects of digital transformation of education] / ed. A. Yu. Uvarov, I. D. Frumin. Moscow: HSE Publishing House, 2019. 343 pp. (in Rus.)*.
3. O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda: Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2024 No 309. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (date accessed: 12.02.2026).
4. O Strategii razvitiya informatsionnogo obshchestva v Rossiyskoy Federatsii na 2017–2030 gody: Ukaz Prezidenta RF ot 09.05.2017 No 203. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (date accessed: 12.02.2026).
5. Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti tsifrovoy transformatsii nauki i vysshego obrazovaniya do 2030 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 05.07.2025 No 1805-r. Available at: <http://government.ru/docs/all/159888/> (date accessed: 15.02.2026).
6. Paspport natsional'nogo proekta «Ekonomika dannykh i tsifrovaya transformatsiya gosudarstva». Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/923/about/> (date accessed: 15.02.2026).
7. O nekotorykh voprosakh sovershenstvovaniya sistemy vysshego obrazovaniya: Ukaz Prezidenta RF ot 12.05.2023 No 343 (ed. 22.01.2026 No 27). Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49210> (date accessed: 20.02.2026).
8. *Obrazovanie v tsifrakh: 2024 [Education in figures: 2024]: kratkiy statisticheskiy sbornik / L. M. Gokhberg, O. K. Ozerova, E. V. Sautina [et al.]. Moscow: ISIEZ NIU VShE, 2024. 132 pp. (in Rus.)*.
9. Belousova M. N., Alekhina A. V., Zdorovets S. O. Analiz tendentsiy razvitiya vysshego obrazovaniya v usloviyakh tsifrovoy transformatsii obshchestva. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2023. No 4. P. 54. (in Rus.).
10. Vyruchka 100 krupneyshikh EdTech-kompaniy Rossii za poslednie pyat' let vyroslo v 10 raz. *Forbes.ru*. Available at: <https://www.forbes.ru/biznes/540220-vyruchka-100-krupneysih-edtech-kompanij-rossii-za-poslednie-pat-let-vyroslo-v-10-raz> (date accessed: 25.02.2026).
11. Rynok vysshego onlayn-obrazovaniya v 2024 godu vyros na 36 %. *RBK Trendy*. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/education/676437649a79478a21d74da1> (date accessed: 25.02.2026).
12. Superservis «Postupay v vuz onlayn»: provodnik v mir vysshego obrazovaniya. *Rosobrnadzor*. Available at: <https://obrnadzor.gov.ru/news/superservis-postupaj-v-vuz-onlajn-provodnik-v-mir-vysshego-obrazovaniya/> (date accessed: 02.03.2026).
13. Natsional'naya platforma otkrytogo obrazovaniya. Available at: <https://openedu.ru/> (date accessed: 02.03.2026).
14. Programma strategicheskogo akademicheskogo liderstva «Prioritet-2030». Available at: <https://priority2030.ru/> (date accessed: 05.03.2026).
15. Gkrimpizi T., Peristeras V., Magnisalis I. Classification of Barriers to Digital Transformation in Higher Education Institutions: Systematic Literature Review. *Education Sciences (MDPI)*. 2023. Vol. 13. No. 7. Art. 746. DOI: 10.3390/educsci13070746.
16. Larionov V. G., Sheremetyeva E. N., Gorshkova L. A. Tsifrovaya transformatsiya vysshego obrazovaniya: tekhnologii i tsifrovye kompetentsii. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*. 2021. No 2. 61–69 pp. DOI: 10.24143/2073-5537-2021-2-61-69. (in Rus.).
17. Tsifrovoe budushchee obrazovaniya: kak rossiyskie pedagogi integriruyut tekhnologii v uchebnyy protsess? *NAFI*. Available at: <https://nafi.ru/projects/sotsialnoe-razvitie/tsifrovaya-gramotnost-rossiyskikh-pedagogov/> (date accessed: 10.03.2026).
18. Ignatenko (Solovtsova) E. M. Tsifrovaya transformatsiya vysshego obrazovaniya: perspektivy i riski. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «GosReg»*. 2022. No 2. (in Rus.).
19. Issledovanie potentsiala importozameshcheniya programmno obespecheniya v prioritetnykh otraslyakh ekonomiki. *Universitet Innopolis, ANO «Tsifrovaya ekonomika»*. 2022. Available at: [https://innopolis.university/filespublic/otchet\\_po2022.pdf](https://innopolis.university/filespublic/otchet_po2022.pdf) (date accessed: 10.03.2026).
20. Dneprovskaya N. V. Otsenka gotovnosti rossiyskogo vysshego obrazovaniya k tsifrovoy ekonomike [Assessment of Russian higher education readiness for the digital economy]. *Statistika i ekonomika*. 2018. Vol. 15. No 4. 16–28 pp. DOI: 10.21686/2500-3925-2018-4-16-28. (in Rus.).
21. Balanovskaya A. V., Frantasov D. N., Gorbunova O. A. Napravleniya razvitiya obrazovatel'nykh organizatsiy v usloviyakh tsifrovoy transformatsii otrasli nauki i vysshego obrazovaniya. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2022. Vol. 32. No 2. 423–431 pp. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(2).423-431. (in Rus.).

22. Korneev A. A. Tsifrovaya obrazovatel'naya sreda v usloviyakh tsifrovoy transformatsii obrazovaniya: razvitie normativno-pravovoy bazy. Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika. 2022. Vol. 1. No 2 (83). 175–183 pp. (in Rus.).

23. Fernandez A., Gomez B., Binjaku K., Mece E. K. Digital transformation initiatives in higher education institutions: A multivocal literature review. *Education and Information Technologies* (Springer). 2023. DOI: 10.1007/s10639-022-11544-0.

24. Digital Education Action Plan 2021–2027. European Commission. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/digital-education-action-plan-2021-2027.html> (date accessed: 18.03.2026).

25. China's Smart Education Platform. UNESCO. Available at: <https://en.ichei.org/> (date accessed: 18.03.2026).

26. Proekt «Tsifrovye kafedry»: kak i u kogo formirovat' tsifrovye kompetentsii? KiberLeninka. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekt-tsifrovye-kafedry-kak-i-u-kogo-formirovat-tsifrovye-kompetentsii> (date accessed: 22.03.2026).

27. Sreda elektronogo obucheniya 3KL (Russkiy Moodle). Available at: <https://opentechnology.ru/products/russianmoodle> (date accessed: 22.03.2026).

28. Neborskiy E. V. Tsifrovoy universitet kak integrativnyy metodologicheskiy konstrukt [Digital university as an integrative methodological construct]. *Mir nauki. Pedagogika i psikhologiya*. 2021. Vol. 9. No 3. DOI: 10.15862/41PDMN321. (in Rus.).

УДК 621.798.43

**Абдулхаирова А.А.**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна 191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ УПАКОВОК**

*В статье рассматривается принцип производства открытых упаковок с помощью пневматического устройства для формования картонных упаковочных лотков, включая его конструктивные особенности, принцип работы, технологический цикл и возможные модификации. Предложенное техническое решение обладает новизной, экономической эффективностью и рекомендуется к внедрению на малых и средних пищевых производствах.*

**Ключевые слова:** устройство, упаковка, пневмоцилиндр, формирование.

**Abdulkhairova A.**

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design 191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **PNEUMATIC DEVICE FOR FORMING OPEN PACKAGES**

*The paper studies discusses the principle of production of open packages using a pneumatic device for forming cardboard packaging trays, including its design features, operating principle, technological cycle and possible modifications. The proposed technical solution has novelty, economic efficiency and is recommended for implementation in small and medium-sized food production facilities.*

**Keywords:** device, package, pneumatic, forming.

Картонные упаковочные лотки являются одним из наиболее востребованных видов потребительской тары в пищевой промышленности, сельском хозяйстве, логистике и смежных отраслях [3]. Они используются для хранения, транспортировки и презентации широкого ассортимента продуктов: от свежих овощей, фруктов и зелени до полуфабрикатов, кондитерских изделий и готовых блюд. Особенностью лотков (в английской терминологии — «ланч-боксы») является отсутствие верхней крышки, что упрощает доступ к содержимому, снижает расход материала и ускоряет процесс упаковки. При этом требования к прочности, жёсткости и гигиеничности остаются высокими. В качестве основного материала для производства пищевых лотков используется: макулатурный картон по ГОСТ 10700-97 (группа Б — среднего качества), а также гофрокартон, мелованный целлюлозный картон, обеспечивающий лучшую печать и влагостойкость. Всё большее распространение получают биоразлагаемые и перерабатываемые материалы, что соответствует современным экологическим стандартам.

На рынке представлено множество машин для формования картонной упаковки [2]: от ручных механических прессов до полностью автоматизированных линий. Однако большинство серийных устройств обладают следующими недостатками: громоздкость и сложность конструкции, что увеличивает стоимость оборудования и требования к производственным площадям; узкий диапазон форм — каждая форма упаковки требует сложной и дорогостоящей переналадки или даже отдельной машины; ограничения по материалу — многие устройства работают только с определённой плотностью и типом картона.

В настоящей статье рассматривается конструкция предлагаемого нового пневматического устройства для формования упаковочных лотков [1], отличительными особенностями которого являются: возможность формировать упаковки различной геометрической формы и степени сложности; быстрая переналадка под новый типоразмер; простая, лаконичная и ремонтпригодная конструкция; возможность обрабатывать разные виды картона; интегрируемость в существующие формовочные линии или работать автономно.

Конструктивная схема предлагаемого нового пневматического устройства для формования упаковочных лотков представлено на рис. 1. Разработанное устройство состоит из следующих основных узлов: 1 – противоповоротный пневмоцилиндр (обеспечивает возвратно-поступательное движение

пуансона с регулируемым усилием и скоростью и предотвращает нежелательное вращение штока); 2 – упор (служит для надёжного крепления пневмоцилиндра к станине); 3 – пуансон (подвижный формообразующий элемент, воздействующий на заготовку); 4 – станина (несущая конструкция, обеспечивающая жёсткость и точность взаимного расположения узлов); 5 – матрица (неподвижная формообразующая поверхность, закреплённая на станине).

Для успешного формования перед подачей на устройство заготовка должна пройти три обязательных этапа (на отдельном оборудовании) [3]: обрезка (выполняется на оборудовании листовой или рулонной высечки), биговка (биговальный пресс или ротационный биговальщик), нанесение клея (клеенаносная система). На этапе обрезки заготовке придаются точные внешние размеры по макету. В процессе биговки создаются линии сгиба для контролируемой деформации. При нанесении клея обеспечивается соединение сторон упаковочного лотка. Качество выполнения указанных операций напрямую влияет на точность и прочность готовой упаковки. Особое внимание следует уделять направлению линий биговки относительно волокон картона — неправильный выбор может привести к разрывам или неупругой деформации [5].

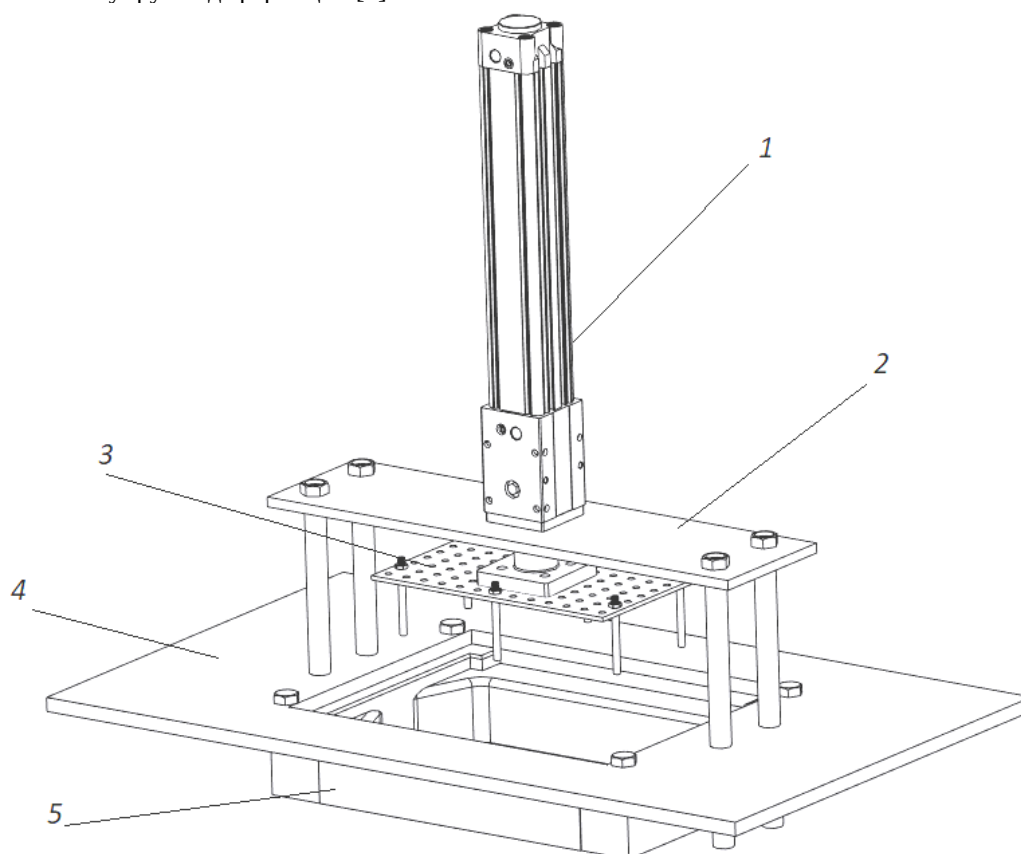


Рис. 1. Пневматическое устройство для формования упаковочных лотков

При создании геометрии матрицы и пуансона необходимо решить комплексную инженерную задачу, включающую: анализ зависимостей деформации картона с учётом предварительной биговки (глубина, ширина, форма рифта); определение минимальных и максимальных радиусов изгиба для данного типа материала; расчёт необходимых усилий и точек их приложения для предотвращения складок, трещин или неполного сгиба; учёт «пружинения» картона после снятия нагрузки — особенно важно для толстых и плотных сортов.

Одним из главных достоинств предлагаемого нового устройства для производства открытых упаковок является быстрая сменяемость пуансонов и матриц без использования сложного инструмента. Рассмотрим отдельные детали устройства.

Конструкция пуансона (рис. 2) выполнена в виде металлической пластины (обычно из алюминиевого сплава или конструкционной стали) с регулярной перфорацией — рядом отверстий, в которые устанавливаются съёмные стержни. Стержни располагаются строго перпендикулярно линиям биговки заготовки. При движении пуансона вниз именно эти стержни первыми контактируют с зонами сгиба, инициируя изгиб по заданному контуру.

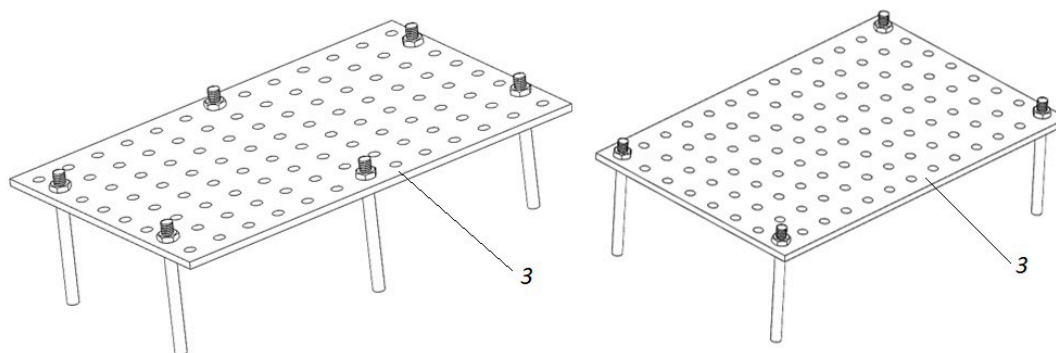


Рис. 2. Конструктивные варианты исполнения пуансонов

К преимуществам предлагаемой конструкции пуансонов следует отнести: адаптивность — перестановка стержней позволяет подстроить пуансон под любую конфигурацию лотка за считанные минуты; малая масса — благодаря отверстиям масса пуансона снижена, что уменьшает нагрузку на пневмоцилиндр и станину; экономичность — не требуется изготавливать массивный пуансон для каждой формы; достаточно набора стержней; простота ремонта и обслуживания — при повреждении заменяется не весь пуансон, а один или несколько стержней.

Конструкция матрицы показана на рис. 3. Матрица представляет собой металлическую деталь сложной ступенчатой геометрии, которая полностью определяет итоговую форму лотка. Характерными особенностями предлагаемой конструкции являются: многоуровневость (верхний уровень имеет наибольшую площадь и соответствует внешнему контуру развёртки; нижний уровень выполнен площадью меньше, что заставляет стороны будущей упаковки загибаться внутрь); в конструкции предусмотрены специально спроектированные проёмы в виде вырезов и пазов, благодаря которым часть сторон заготовки складывается раньше, чем остальные (это необходимо для последовательного формирования сложных замкнутых контуров без взаимного заклинивания); сменные вставки (для матриц под особо сложные формы предусмотрена возможность замены отдельных сегментов).

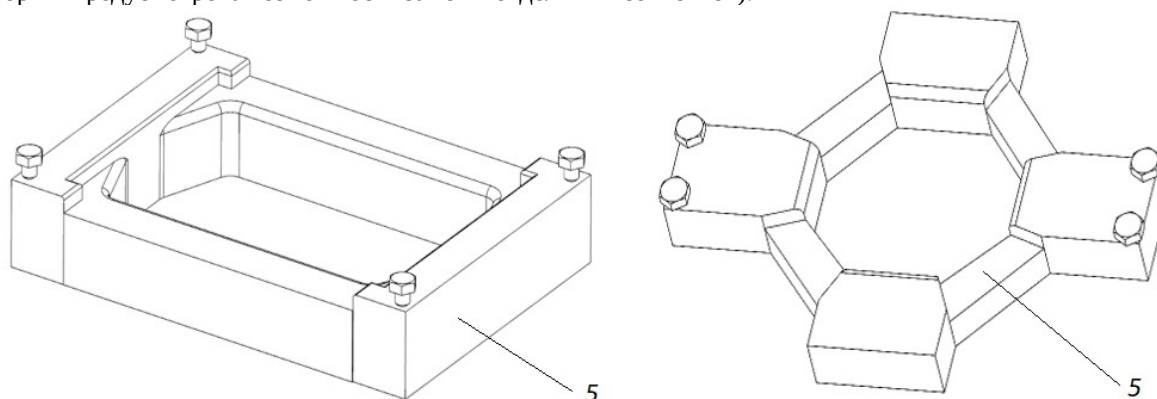


Рис. 3. Варианты конструктивного исполнения матриц

На рис. 4 показаны примеры геометрий упаковок, которые могут быть получены с использованием таких матриц: прямоугольные, трапецевидные, многогранные и асимметричные лотки.

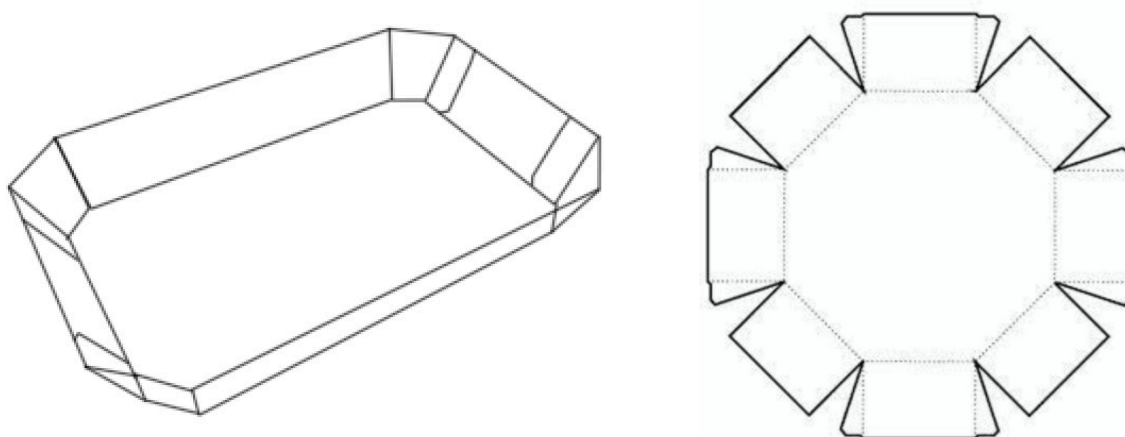


Рис. 4. Варианты геометрии упаковок

Технологический цикл одного формования (см. рис. 5 и 6) включает следующие фазы:

- позиционирование — предварительно подготовленная заготовка (отбигованная и обрезанная) укладывается на матрицу вручную или с помощью транспортера;
- склеивание — на матрице по периметру имеются отверстия, где происходит подача клеевого вещества; клей каплей выходит через отверстие на клапаны развертки для последующего соединения со сторонами и склеивания (для большинства клеев ПВА достаточно выдержки 0,5–1 с.);
- начало хода пуансона — стержни пуансона входят в контакт с заготовкой по линиям сгиба;
- основное формование — за счёт трения о поверхность матрицы и направляющего воздействия пуансона стороны последовательно отгибаются вниз согласно геометрии, одновременно склеиваясь;
- обратный ход пуансона — пуансон поднимается, возвращаясь в начальное положение;
- извлечение — оператор или механический съёмник удаляет готовый лоток.

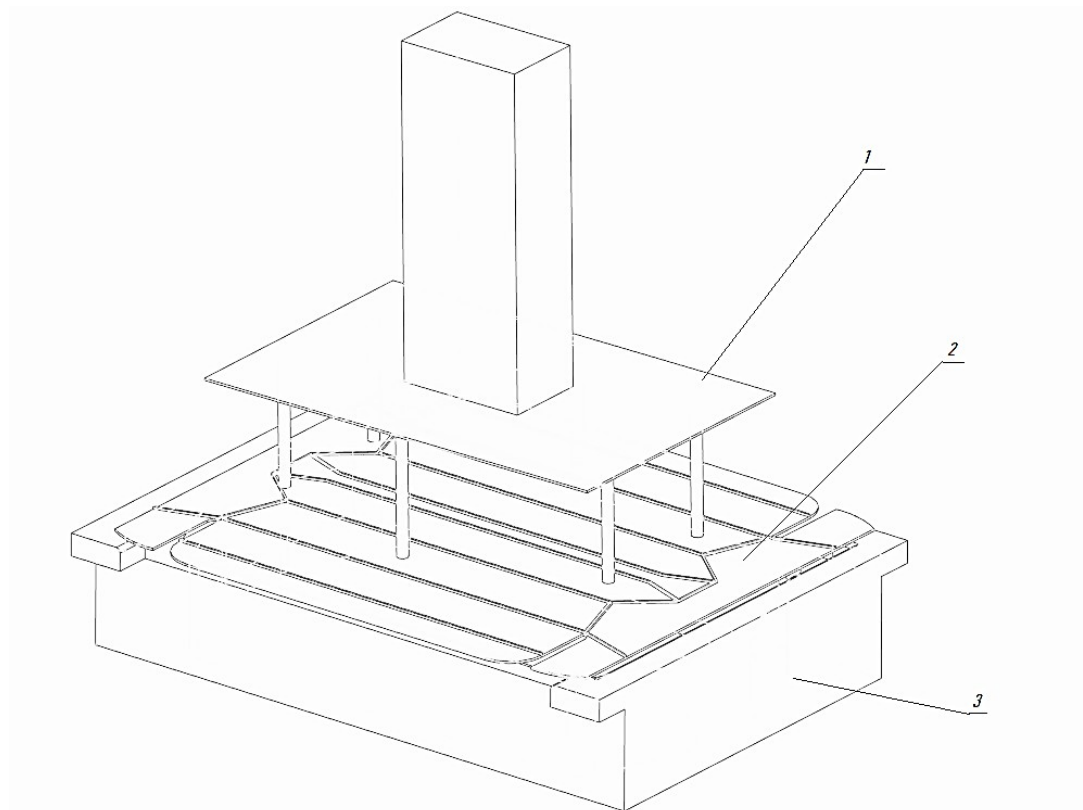


Рис. 5. Процесс формования упаковки при попадании на матрицу

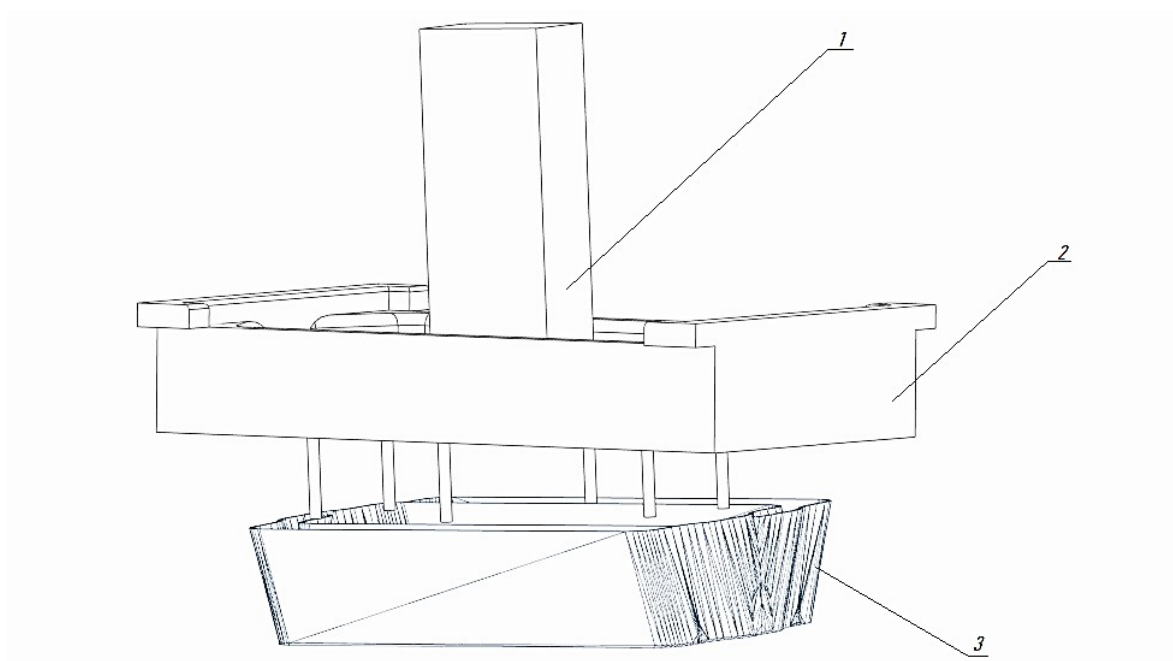


Рис. 6. Окончательный этап формирования упаковки

На рис. 7 показаны варианты геометрии готовых упаковок, которые можно получить на предлагаемом устройстве:

- классические прямоугольные лотки с низкими или высокими бортами;
- лотки с закруглёнными углами (при использовании матриц с радиусными переходами);
- трапецевидные и клиновидные формы — удобны для выкладки продукции на витрине;
- асимметричные лотки для специфических продуктов (например, для рыбы или багетов);
- секционные лотки с внутренними перегородками — требуют более сложной биговки и многоступенчатой матрицы.

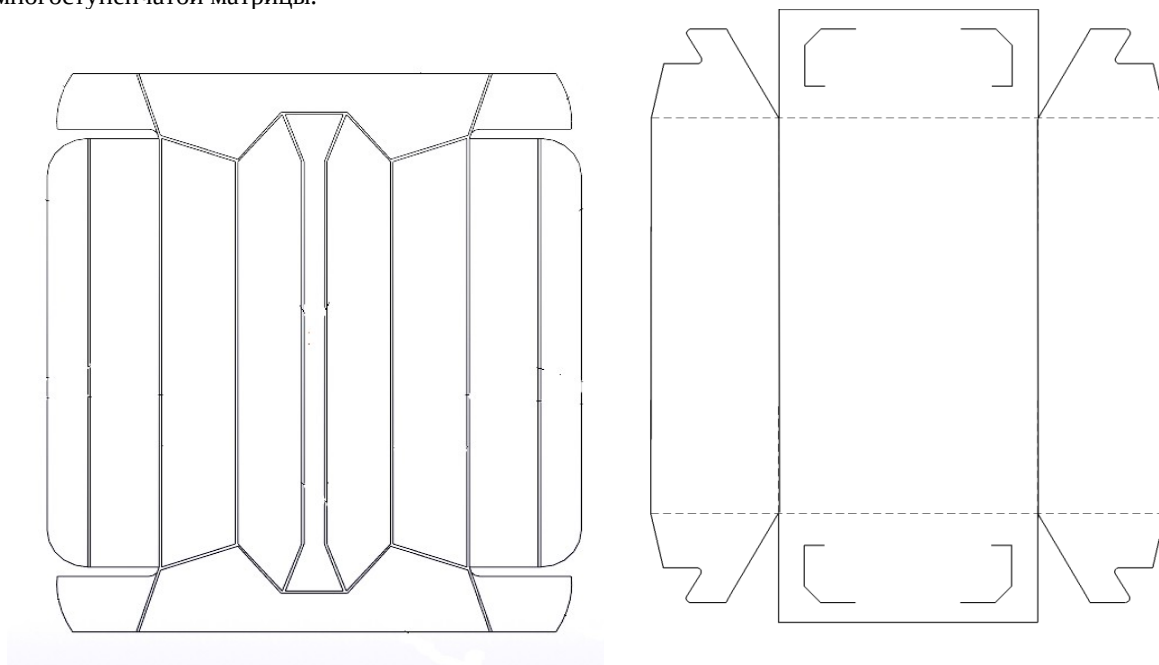


Рис. 7. Варианты разверток упаковок

- На базе предложенного устройства возможны следующие модификации и улучшения:
- полная автоматизация — добавление транспортёра подачи, роботизированного съёмника и системы контроля качества;
  - числовое программное управление (ЧПУ) — для автоматической смены матрицы по программе;

— адаптивная система усилия — датчик давления, корректирующий ход поршня в зависимости от жёсткости конкретного листа картона;

— модульная конструкция — возможность быстрого добавления второго или третьего поста формования для повышения производительности.

Разработанное пневматическое устройство для формования упаковочных лотков представляет собой простое, надёжное и гибкое техническое решение, преодолевающее основные недостатки существующих аналогов. Благодаря сменной стержневой конструкции пуансона и многоуровневым матрицам с вырезами, устройство позволяет получать лотки сложной геометрии с высокой точностью сгиба и надёжным склеиванием. Конструкция легко интегрируется в ручные, полуавтоматические и автоматические линии, а также может использоваться как отдельный пост формования. Экономическая эффективность достигается за счёт низкой себестоимости изготовления оснастки, быстрой переналадки и возможности работать с разными типами картона, включая вторичный (макулатурный), а также гофрокартон. Разработка рекомендуется к внедрению на малых и средних пищевых производствах, в логистических центрах, а также в качестве лабораторного или учебного оборудования для отработки технологий картонной упаковки.

### Список литературы

1. Заявка № 2025111350/04(027929) Российская федерация. МПК В29С 51/20. Устройство для формирования пищевых лотков / Абдулхаирова А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна; заявл. 28.04.2025.
2. Авроров В.А. Упаковочные материалы и фасовочно-упаковочное оборудование пищевых продуктов: учебник для вузов / В.А. Авроров. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. – 283 с.
3. Одинокова, Е.В. Проектирование полиграфических машин: учебник / Е.В. Одинокова, Г.Б. Куликов, Н.Ш. Герценштайн. – М.: МГУП, 2003. – 410 с.
4. Барабанов А.А. Проектирование полиграфических машин. Самостоятельная работа. Курсовое проектирование: метод.указ. – СПб.: СПбГУПТД, 2016. – 40 с.
5. Карасева, Г.В. Технологии полиграфии: учебное пособие / Г. В. Карасева, И. В. Карасев. – Тольятти: ТГУ, 2018. – 198 с

### References

1. An application for a utility model № 2025111350/04(027929) Russian Federation. IPC B29C 51/20. Ustrojstvo dlya formirovaniya pishchevyh lotkov [Device for forming food trays]/ Abdulkhairova A.; applicant Federal State Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State university of Industrial Technologies and Design”; Declared 28.04.2025. (in Rus.).
2. Avrorov V.A. Upakovochnye materialy i fasovochno-upakovochnoe oborudovanie pishchevyh produktov: uchebnik dlya vuzov/ V.A. Avrorov. [Packaging materials and packaging equipment for food products: textbook]. Moscow: Izdatel'stvo Yurajt, 2026. – 283 pp. (in Rus.).
3. Odiнокova, E.V. Proektirovanie poligraficheskikh mashin: uchebnik/ E.V. Odiнокova, G.B. Kulikov, N.Sh. Gercenshtajn. [Designing of polygraphic machines:textbook]. M.: MGUP, 2003. – 410 pp. (in Rus.).
4. Barabanov A.A. Proektirovanie poligraficheskikh mashin. Samostoyatel'naya rabota. Kursovoe proektirovanie: metod.ukaz. [Design of polygraphic machines: textbook]. SPb.: SPbGUPTD, 2016. – 40 pp. (in Rus.).
5. Karaseva, G.V. Tekhnologii poligrafii: uchebnoe posobie / G. V. Karaseva, I. V. Karasev. [printing technologies: textbook]. Tol'yatti: TGU, 2018. – 198 pp. (in Rus.).

УДК 621.876

**Д.В. Арефьев**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭСКАЛАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*В статье рассматривается роль динамического анализа в процессе разработки и эксплуатации эскалаторного оборудования. Основное внимание уделяется исследованию динамических процессов при пуске, работе и торможении эскалатора, включая анализ нагрузок, вибраций и энергопотребления. Описываются методы демпфирования колебаний, оптимизации энергопотребления и адаптации работы механизма к пассажиропотоку. Особое внимание уделяется влиянию различных факторов на надежность и безопасность эксплуатации. Результаты исследования позволяют повысить эффективность работы эскалаторов и продлить срок их службы.*

**Ключевые слова:** динамика механизмов; эскалатор; приводной механизм; динамические нагрузки; колебания; демпфирование; переходные процессы; вибрации; энергопотребление; износ; пассажиропоток.

**D.V. Arefev**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

**INVESTIGATION OF ESCALATOR EQUIPMENT DYNAMICS**

*The article examines the role of dynamic analysis in the development and operation of escalator equipment. The main focus is on the study of dynamic processes during escalator start-up, operation and braking, including the analysis of loads, vibrations and energy consumption. The methods of vibration damping, optimization of energy consumption and adaptation of the mechanism to passenger traffic are described. Special attention is paid to the influence of various factors on the reliability and safety of operation. The results of the study make it possible to increase the efficiency of escalators and extend their service life.*

**Keywords:** mechanism dynamics; escalator; drive mechanism; dynamic loads; fluctuations; damping; transients; vibrations; energy consumption; wear; passenger flow.

Динамика играет одну из главных ролей в процессе разработки и эксплуатации различных механических систем – начиная от несложных устройств, заканчивая сложными механизмами. Диагностика процессов динамики позволяет выполнять оценки нагрузок, а также делать прогноз процессов изнашивания комплектующих механизмов, что может обеспечивать устойчивую работоспособность оборудования. Динамический контроль требуется для улучшения показателей безопасности, увеличения продолжительности эксплуатации механизмов и сокращения показателей их энергопотребления. Главная ценность анализа динамики наиболее заметна в транспортных и подъемных системах, в которые изменения параметров нагрузки происходят в ходе всего рабочего процесса. Рассмотрим динамические процессы на примере эскалатора.

В общем случае современный эскалатор представляет собой совокупность узлов и механизмов, установленных на несущих конструкциях и объединенных системой автоматического управления. Можно выделить следующие узлы эскалаторного оборудования:

- механизм привода, включающий в себя главный и вспомогательный электроприводы, соединительные муфты, устройство безопасности;
- передаточный механизм и его элементы: соединительная муфта, рабочий тормоз, редуктора, главный вал, тяговые звездочки, устройства безопасности;
- цепной механизм, элементами которого являются: тяговые звездочки, цепи, ступени, натяжная звездочка, зубчатое колесо механизма привода, устройства безопасности;
- механизм аварийного тормоза, включающий аварийный тормоз, тяговую звездочку и устройства безопасности;
- механизм натяжения тяговой цепи;
- механизм привода поручня;
- система автоматического управления;

- устройства безопасности, электротехническая аппаратура, шкафы управления;
- опорные металлоконструкции.

Перечисленные звенья и элементы приведенных узлов и механизмов могут одновременно являться составляющими других узлов и механизмов эскалатора.

Одним из основных факторов, определяющих статическую нагрузку эскалатора, является сила трения, действующая между тяговым элементом, как правило, цепью, и поддерживающим устройством, как правило, роликом. Силы трения, которые следует учитывать, возникают:

- в подшипниках вращающихся элементов;
- местах контакта роликов и катков с опорой;
- тяговом элементе при его изгибах.

Вследствие значительной протяженности эскалатора и большого количества движущихся элементов эти силы составляют значительную часть суммарной статической нагрузки.

Статическая нагрузка эскалатора в значительной степени зависит от конструкции и массы тягового органа (масса определяется передаваемым усилием).

Силы сопротивления движению эскалатора можно разделить на две категории: силы, не зависящие от натяжения тягового элемента, действующие на наклонных участках и распределенные по участку равномерно, и силы, зависящие от этого натяжения, которые возникают на участках изгиба тягового элемента и сосредоточены на дуге этого участка. Поэтому мощность двигателя в процессе проектирования эскалатора выбирают с учетом статической нагрузки.

Выбор мощности приводного двигателя эскалатора производится в несколько этапов. На первом этапе выполняется расчет значений тягового усилия и натяжения, по результатам которого производится предварительный выбор мощности двигателя и выбор механического оборудования. На втором этапе расчета учитываются изменения значения натяжения полотна в зависимости от длины эскалатора. На заключительном этапе выбираются места установки электропривода, параметры двигателя и перечень механического оборудования.

Динамика приводного механизма эскалатора включает трансформацию электроэнергии в механическое движение ступеней эскалатора в зависимости от меняющихся нагрузок. Важными режимами эксплуатации приводного механизма являются пуск, обеспечение постоянной скорости движения полотна и замедления (торможение), сопровождаемые динамическими эффектами, например, изменениями сил упругости и инерции. Вычисление критериев системы основывается на анализе фиксированных и изменяющихся нагрузок (статических и динамических), включающие в себя весовые характеристики ступеней и тягового органа, а также изменения пассажиропотока. Особое внимание уделяется увеличению и уменьшению скорости эскалатора.

Динамические нагрузки возникают в момент пуска механизма. В период начала работы привода эскалатора инерционные моменты ступеней, тяговой цепи и нагрузки от находящихся на ступенях пассажиров вызывают максимальную нагрузку, значительно превосходящую номинальную. Наиболее критическими являются первые 0,5 – 1 секунды разгона, сопровождающиеся максимальными значениями ускорению. Упругие компоненты дополнительно увеличивают ударные воздействия. Для уменьшения максимальных нагрузок используется постепенный пуск, контролируемый с помощью преобразователя частоты, позволяющий контролировать увеличение вращающего момента. При отсутствии данных условий динамические воздействия снижают срок эксплуатации всех комплектующих приводного механизма, а также могут приводить к неисправностям. Регламентированные показатели ускорения составляют  $0,75 \text{ м/с}^2$ , что необходимо для обеспечения комфортных условий движения для пассажиров и сохранения работоспособности оборудования.

Наличие упругих связей в механизме приводит к возрастанию динамических нагрузок. Муфты, редукторы, тяговые цепи могут служить источниками дополнительных напряжений. Случаи, когда вибрации распространяются на опорные элементы здания, считаются потенциально рискованными (опасными). В целях предотвращения таких случаев применяются, например, муфты, оснащенные демпфером. Отслеживание вибраций на стадии пусконаладочных работ способствует снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций при работе оборудования. Вязкое трение, возникающие в подшипниках, редукторном механизме и шарнирах цепи, распространяет энергию в виде тепла. Тяговые комплектующие (цепь или ремень) обладают резиновыми демпферами, которые находятся между звеньями [1]. Данные элементы позволяют выполнять гашение колебаний высокой частоты. При завершении пусковых работ, в случае если функционирование привода отвечает строгим механическим параметрам, колебательные воздействия результативно демпфируются самим двигателем. Двигательное оборудование в нормальном режиме выполняет функционал стабилизатора, компенсирующего сохранившиеся (остаточные) вибрационные процессы посредством обратной связи по скорости. Новейшие управленческие комплексы также применяют методики быстрого демпфирования, анализирующие сигнальные импульсы вибрационных датчиков и исправляющие статорный ток.

Переходные процессы при замедлении движения эскалаторного оборудования сопровождаются появлением обратных упругих деформаций в тяговых элементах и ударных нагрузок в систему тормозов. Быстрое снижение скорости приводит к перераспределению натяжения, образующегося между рабочими и холостыми элементами цепи. Это может привести к явлению «перескока» на звездочках. Стандартное торможение, как правило, осуществляется при ускорении не более  $1 \text{ м/с}^2$  (по модулю). Это позволяет соблюдать требования по благоприятным условиям для пассажиров и целостности эскалаторного оборудования. Существующие системы выполняют снижение скорости движения в два этапа. В первую очередь электрическое, осуществляемое через частотный преобразователь, вслед за этим происходит автоматическое наложение основного тормоза. Вместе с тем, приведение в действие электрического тормоза должно произойти до активации механического тормозного оборудования и не может быть больше 4 секунд. Контролирование данных процессов проводится скоростными датчиками, которые срабатывают без промедлений в случае, когда фактическое снижение скорости имеет расхождения с рассчитанным, что приводит к срабатыванию аварийного тормоза. Подобная структура позволяет уменьшить максимальные нагрузки и увеличивать срок эксплуатации всех элементов двигателя.

Вибрационные нагрузки на опорные элементы эскалаторного оборудование появляются вследствие распространения колебательных воздействий от двигателя на каркасные конструкции, что приводит к их дальнейшему распространению по всему сооружению, включая опорные основания [2]. Данная ситуация может оказывать влияние на появление усталостных повреждений сварных и крепежных соединений. Для уменьшения вибрационных воздействий используются прокладки, размещаемые между эскалаторной рамой и опорными элементами здания. Помимо этого, осуществляется контроль уровня вибраций на стадии пусконаладочных работ.

Потребление электроэнергии во время переходных процессов, таких как пуск и торможение, значительно выше показателей потребления в нормальном режиме эксплуатации подъемного оборудования. Во время начала работы механизма пусковой ток привода может быть выше в 5–7 раз номинального, образуя максимальную нагрузку на электропитание. Для таких скачков требуется использование защитного оборудования и контроль при создании объектов энергоснабжения. При замедлении работы механизма некоторая доля энергии подвергается рассеиванию в виде теплового излучения в системе тормозов, а в системах, оснащенных рекуперацией, возвращается обратно в сеть. Преобразователи частот позволяют уменьшить потребление электроэнергии благодаря постепенному увеличению показателей напряжения и частотных параметров. Улучшение процессов управления обеспечивает сокращение времени процедуры перехода и уменьшение расходов электричества. Одним из основных факторов можно назвать коэффициент полезного действия редукторов и механических передач, т. к. изнашивание комплектующих усиливает трение, а, следовательно, увеличивает энергопотребление. Систематическое обслуживание и поддержание работоспособности механизмов способствует поддержанию эффективности потребления электричества на установленном уровне.

Изнашивание механических комплектующих эскалатора является нормальным явлением для деталей механизма, что в свою очередь оказывает влияние на приводную динамику и надежность работы оборудования. В наибольшей степени восприимчивы к износу шарниры тягового механизма, зубья звездочек у привода, подшипники валов и тормозное оборудование, оснащенное фрикционными накладками. Процесс изнашивания изменяет жесткие и упругие характеристики механических связей. Это может вызывать увеличение люфтов, проскальзывание и неравномерность хода. На участках с высокими значениями пассажиропотока изнашивание деталей механизмов более интенсивное, т. к. имеются увеличенные значения нагрузок, а также частое включение и отключение привода. Изменения параметров системы управления может способствовать замедлению процессов износа. Этого можно изменением методов демпфирования, направленных на гашение колебаний [3]. Измерения зазоров и определение момента трения являются методами визуального и инструментального мониторинга износа, которые необходимы для устойчивого функционирования оборудования. Оперативная замена деталей, подвергшихся износу, снижает вероятность возникновения аварийного состояния механизма и способствует сохранению расчетных показателей динамических параметров двигателя.

Приспособление подъемного оборудования пассажиропотоку обеспечивает оптимизацию функционирования эскалаторного механизма и уменьшение параметров динамической нагрузки. Системы, оборудованные датчиками нагрузки, автоматически корректируют скоростные параметры движения эскалатора с учетом количества пассажиров. Во время наивысших показателей пассажиропотока устанавливается стандартная скорость  $0,5\text{--}0,75 \text{ м/с}$ , а в течение периода невысокой загруженности она уменьшается до  $0,2 \text{ м/с}$ . Эти меры позволяют снизить изнашивание деталей механизма, а также уменьшить объем затрачиваемой на питание оборудования электроэнергии на 15–20 %. Существует несколько видов датчиков: оптические, инфракрасные и весовые. Эти устройства устанавливаются на входных площадках. Интеллектуальные управленческие системы делают расчет параметров в реальном времени и своевременно корректируют график эксплуатации. Применение подобных систем позволяет избежать

внезапных изменений скорости, повысить комфортность движения для пассажиров и увеличить срок эксплуатации подъемного механизма.

Также нельзя не отметить еще несколько параметров, влияющих на динамику эскалатора: неравенство нагрузок на ветвях тяговой цепи и влияние угла наклона. Неравномерное распределение нагрузки на тяговые элементы механизма может привести к появлению быстрого изнашивания звеньев, а также существует опасность срыва тяговой цепи. Для устранения этих неполадок необходимо наличие в механизме автоматических натяжителей и периодический контроль за натяжением. Увеличение угла наклона эскалатора оказывает влияние на приводную динамику, повышая некоторые параметры: нагрузки на цепь, силы трения и инерции. Вследствие этого необходимо применять приводные и тормозные системы с большими показателями мощности и проводить конструктивный подбор параметров для обеспечения безопасного функционирования оборудования. На участках с крутым уклоном (25–30°) нагрузки, оказываемые на тяговый механизм, увеличиваются. С возрастанием значений силы трения в направляющих и подшипниках необходимо применение приводных механизмов большей мощности и установки улучшенной системы тормозов. При пуске эскалаторного оборудования на подъем происходит возрастание инерционных нагрузок на наклонных участках несущего полотна по сравнению с горизонтальными участками. В процессе торможения может возникнуть угроза обратного скатывания из-за недостаточного тормозного момента. Угол наклона также оказывает существенное значение на натяжения в ветвях приводных цепей. При подъеме рабочая ветвь подвергается большим показателям усилий, в сравнение с работой на холостом ходу. На этапе проектирования эскалаторного оборудования необходимо определять следующие параметры оборудования: мощность приводного механизма, передаточное число редуктора, вид тормозных устройств и др.

Учет динамических процессов на этапах разработки и эксплуатации эскалаторного оборудования необходим для поддержания его работоспособного состояния. Анализирование параметров динамических нагрузок способствует предотвращению досрочного изнашивания узлов системы и снижает вероятность возникновения критических ситуаций. В процессе проектирования рассматриваются разные варианты сценариев функционирования, начиная со стандартного режима работы механизма и заканчивая работой при максимальных параметрах нагрузки, вызванных пиковой заполняемостью. Пристальное внимание уделяется изучению показателей вибрационных процессов, способных вызвать быстрое изнашивание несущих элементов механизма и привода. Применение систем отслеживания динамических характеристик механизма в ходе функционирования обеспечивает возможность оперативного обнаружения отклонений от заданных параметров, а также расширяет возможности планирования профилактических работ. Учет динамических явлений влияет на сокращение затрат электроэнергии, составление графиков обслуживания и ремонта оборудования, а также позволяет повысить комфортность пользования эскалаторами для пассажиров и увеличить срок эксплуатации оборудования. Таким образом, учет динамических параметров при разработке эскалаторного оборудования является обязательным условием для обеспечения устойчивой и продуктивной эксплуатации.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Бабкина Н.М.*

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Babkina N. M.*

#### **Список литературы**

1. ГОСТ 33966.1–2020. Конструкции лифтовые. Расчёты на прочность и жёсткость направляющих. Правила проектирования : межгосударственный стандарт : издание официальное / разработан Ассоциацией «Российское лифтовое объединение». — Введён впервые — Москва : Стандартинформ, 2021. — Текст : электронный // РосГОСТы : сайт. — URL: [https://rosgosts.ru/file/gost/91/140/gost\\_33966.1-2020.pdf](https://rosgosts.ru/file/gost/91/140/gost_33966.1-2020.pdf) (дата обращения: 22.03.2026).
2. Елисеев, С. В. Динамический синтез в задачах защиты объектов от вибрационных воздействий / С. В. Елисеев, Н. К. Кузнецов, Е. В. Каимов // Современные наукоёмкие технологии. — 2020. — № 3. — С. 27–32. — Текст : электронный. — URL: <https://s.applied-research.ru/pdf/2020/3/13037.pdf> (дата обращения: 22.03.2026).
3. Сергеев, С. И. Демпфирование механических колебаний / С. И. Сергеев. — Москва : Физматгиз, 1959. — 408 с. — Текст : непосредственный.
4. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер ; пер. с англ. — Москва : Наука, 1975. — 576 с. — Текст : непосредственный.

**References**

1. GOST 33966.1–2020. Lift structures. Calculations for strength and stiffness of guides. Design rules : interstate standard : official edition / developed by the Association «Russian Elevator Association». — Introduced for the first time. — Moscow : Standartinform, 2021. — Text : electronic // RosGOSTy : website. — URL: [https://rosgosts.ru/file/gost/91/140/gost\\_33966.1-2020.pdf](https://rosgosts.ru/file/gost/91/140/gost_33966.1-2020.pdf) (accessed: 22.03.2026).
2. Eliseev, S. V. Dynamic synthesis in problems of protecting objects from vibration effects / S. V. Eliseev, N. K. Kuznetsov, E. V. Kaimov // Modern High Technologies. — 2020. — No. 3. — P. 27–32. — Text : electronic. — URL: : <https://s.applied-research.ru/pdf/2020/3/13037.pdf> (accessed: 22.03.2026).
3. Sergeev, S. I. Damping of mechanical vibrations / S. I. Sergeev. — Moscow : Fizmatgiz, 1959. — 408 p. — Text : direct.
4. Timoshenko, S. P. Theory of elasticity / S. P. Timoshenko, J. Goodier ; translated from English. — Moscow : Nauka, 1975. — 576 p. — Text : direct.

УДК 621.83:004.94

**В.И. Горелов**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

© В.И. Горелов, 2026

*В статье рассматривается задача разработки лабораторного стенда для исследования законов движения толкателя кулачковых механизмов. Даны общие сведения о кулачковых механизмах, описан принцип работы стенда, процесс подбора электроники и программирования, 3D-моделирование, результаты математического моделирования.*

**Ключевые слова:** кулачковый механизм, 3D-моделирование, программирование, разработка, анализ, математическое моделирование

**V.I. Gorelov**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **LABORATORY TEST BENCH FOR INVESTIGATING THE LAWS OF CAM FOLLOWER MOTION**

*This article addresses the development of a laboratory test bench for studying the motion laws of cam mechanism followers. It provides general information on cam mechanisms and describes the operational principle of the stand. The paper covers the selection of electronic components, programming procedures, 3D modeling, and the results of mathematical simulations.*

**Keywords:** cam mechanism, 3D modeling, programming, development, analysis, mathematical modeling

Кулачковые механизмы имеют широкое распространение в современной технике. Основным достоинством кулачковых механизмов является возможность реализации сложных законов движения ведомого звена, существует возможность реализации выстоя. При этом кулачковые механизмы имеют довольно простую конструкцию, ведущим звеном всегда является кулачок, а ведомым – толкатель. Толкатель может быть оснащен роликом для снижения трения в кинематической паре. Форма профиля кулачка определяет закон движения толкателя.

Наличие упругих и диссипативных элементов в конструкции механизма, а также зазоров в кинематических парах, могут приводить к искажению требуемых движений рабочего органа [1]. Для изучения динамических эффектов, возникающих в цикловых рычажных механизмах, на кафедре машиноведения, при участии профессора Вульфсона И.И., разработан лабораторный стенд, содержащий клиноременную передачу, рычажный механизм и сердечник, размещенный между упругими элементами, и имеющий возможность совершать возвратно-поступательное движение под действием поступательно движущегося ползуна. Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 1.

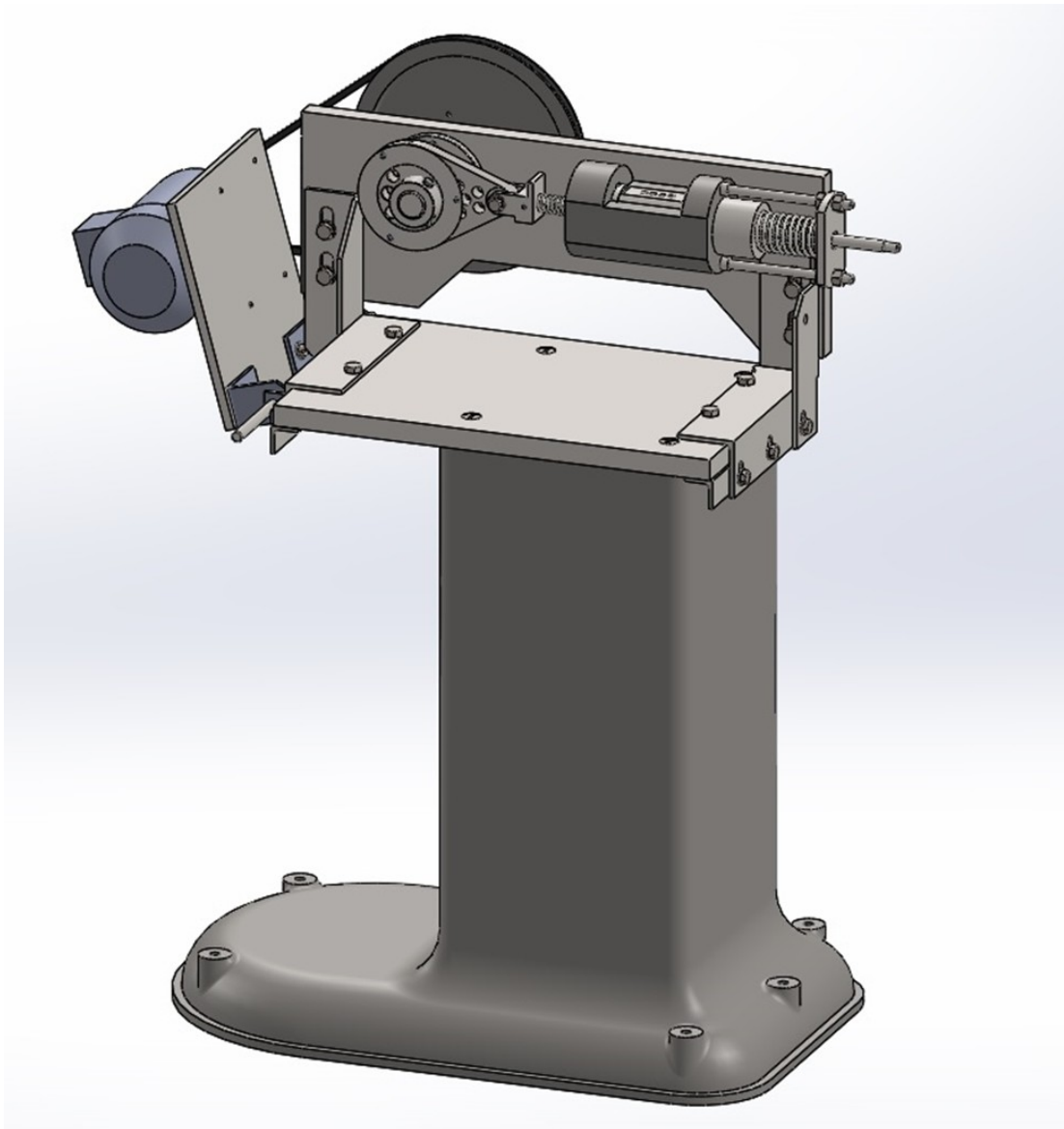


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда

На рис. 2 представлена структурная схема стенда, где: 1 – электродвигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – ремень; 4 – ведомый шкив; 5 – вал; 6 – кулачок; 7 – толкатель; 8 – пружина; 9 – сердечник; 10 – датчик; 11 – пружина; 12 – корпус; 13 – датчик.

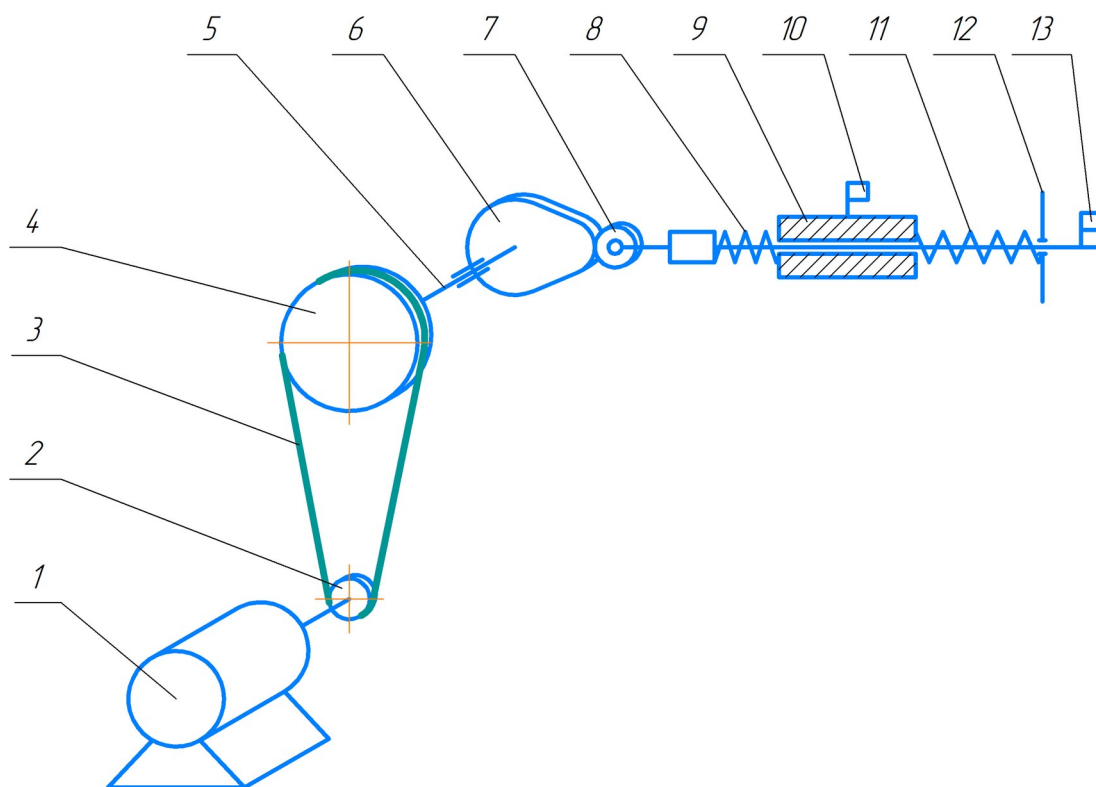


Рис. 2. Структурная схема стенда

Предварительное усилие поджатия пружин поз. 8 и 11 может регулироваться с помощью специального узла. С помощью лабораторного стенда имеется возможность исследовать вынужденные колебания сердечника поз. 9, размещенного между пружинами поз. 8 и 11. Датчики поз. 10 и 13 позволяют получать осциллограммы виброускорений. Датчик поз. 13 позволяет получить осциллограмму как бы «идеального» закона движения толкателя, а датчик поз. 10 позволяет оценить искажения, накладываемые на закон движения толкателя, вызванные его упругостью.

Рассмотрим задачу разработки лабораторного стенда для исследования законов движения толкателя кулачковых механизмов. Для реализации задачи анализа движения толкателя стенд оснащен одноплатным компьютером «Raspberry Pi 4 Model B» [2], который выступает в роли контроллера. На компьютер установлен дистрибутив Linux «Ubuntu». Выбор этой операционной системы обусловлен тем, что Ubuntu имеет оптимизированную 64-битную версию, адаптированную под процессор одноплатных компьютеров. Ubuntu имеет возможность установки необходимого ПО через терминал. Для выполнения необходимых математических операций установлена среда математического моделирования «GNU Octave», которая имеет возможность загрузки дополнительных пакетов, необходимых для работы с датчиками. Датчики необходимы для измерения ускорения толкателя во время движения. Используются два акселерометра «MPU6050», первый датчик осуществляет замеры с жесткого толкателя, а второй – с мягкого. Датчик способен производить замер ускорений по трем осям и использует интерфейс «I2C» для связи с контроллером. MPU6050 способен работать на двух логических уровнях: 3.3В и 5В. Некоторые расчеты датчик проводит самостоятельно, что снимает нагрузку с процессора контроллера. В GNU Octave был установлен пакет «instrument-control» для работы с поступающими сигналами, а также пакет «i2c-tools» для работы по интерфейсу связи «I2C». В конструкции одноплатного компьютера «Raspberry Pi 4 Model B» предусмотрены GPIO пины, которые предназначены для ввода и вывода цифровых сигналов. Подключение датчиков осуществляется через GPIO пины. Первый датчик подключается к пинам 5V и GND, которые обеспечивают питание, и к пинам SDA и SCL, которые обеспечивают передачу данных. Второй датчик подключается к тем же пинам, но дополнительно контакт акселерометра AD0 подключается к пину 3.3V. Это обусловлено тем, что при работе по интерфейсу связи «I2C» каждое подключенное устройство имеет свой адрес. Работа двух устройств с одинаковыми адресами невозможна. Подключение контакта AD0 к пину 3.3V изменяет адрес датчика со стандартного 0x68 на 0x69. Таким образом два датчика, подключенные к одним пинам, корректно функционируют. Управляющая программа в GNU Octave включает в себя загрузку пакетов «instrument-control» и «i2c-tools», инициализацию и настройку датчиков, настройку частотного фильтра, чтение данных с датчиков с предварительной фильтрацией, построение графиков и сохранение значений в текстовый файл. Частотный фильтр отсекает

высокочастотные шумы, искажающие графики. Программа строит два варианта графиков: без какой-либо обработки и с использованием функции сглаживания. Сохранение данных с датчиков производится в текстовый файл на USB-флеш-накопитель для анализа результатов моделирования. В текстовый файл сохраняется 2000 значений, количество сохраняемых значений задано в управляющей программе. Так как толкатель движется поступательно, то ускорение замеряется только по одной оси, совпадающей с направлением движения звена.

Стенд оборудован вставным 7-дюймовым сенсорным дисплеем для микрокомпьютера. Использование сенсорного дисплея исключает необходимость использования клавиатуры и мыши для работы со стендом, это значительно снижает габариты устройства и повышает удобство эксплуатации. Дисплей подключается к одноплатному компьютеру через USB-кабель, который осуществляет питание, и HDMI-кабель, который передает видеосигнал.

Для экрана было необходимо разработать корпус и подставку. Моделирование корпуса выполнено в САПР «Компас-3D» [3]. Модель корпуса представлена на рис. 3.

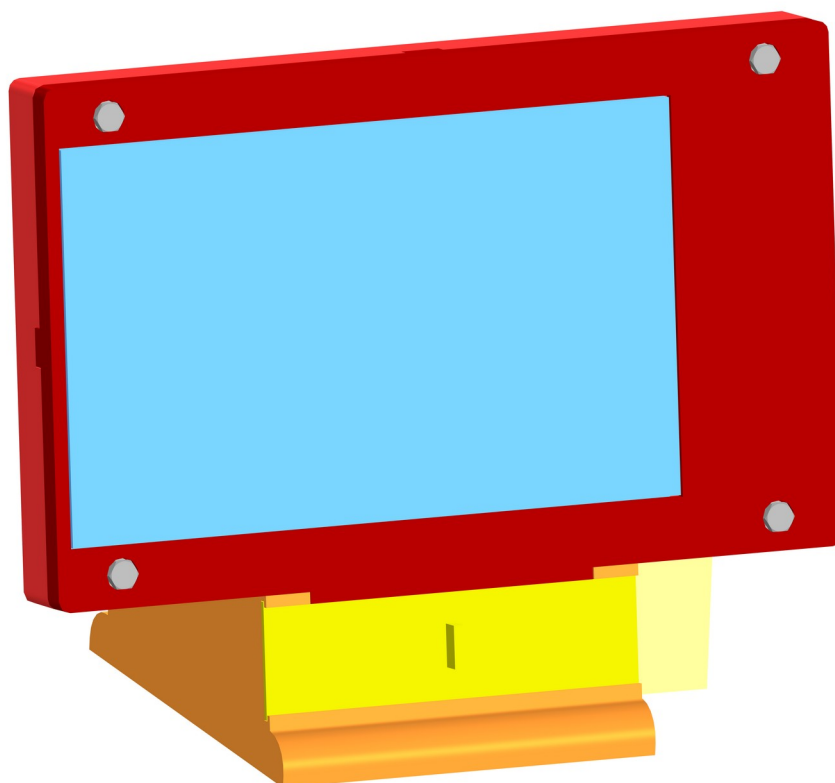


Рис. 3. Модель корпуса для экрана и контроллера

На рис. 4 представлен вид сзади модели корпуса.

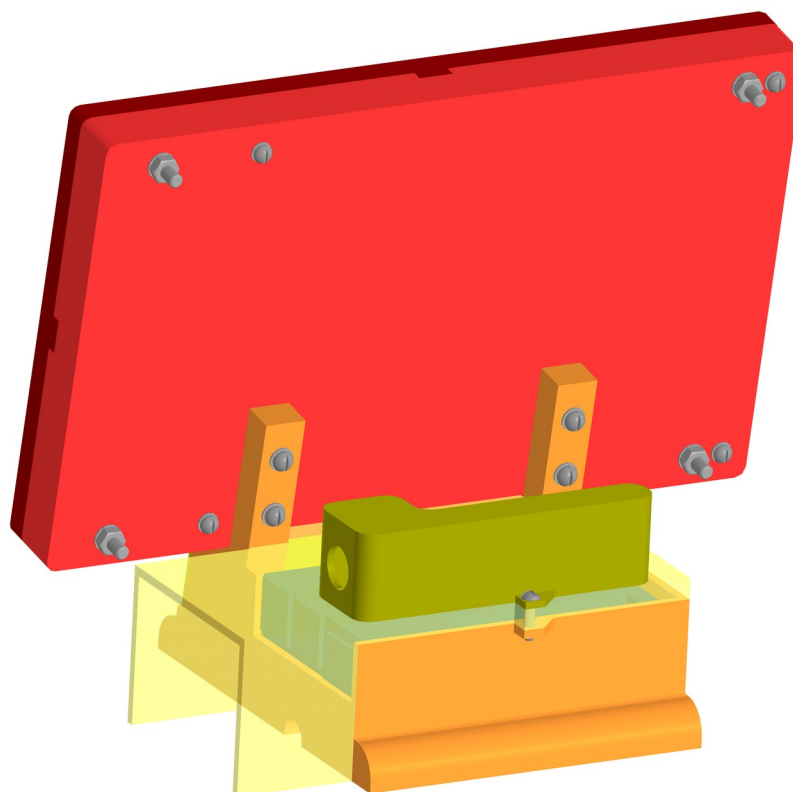


Рис. 4. Вид модели сзади

Подставка для экрана была разработана таким образом, чтобы внутри нее размещался одноплатный компьютер вместе с идущими от него к экрану проводами. Такая компоновка делает устройство мобильным и удобным в использовании. Экран и контроллер жестко фиксируются внутри корпуса. Для доступа к контроллеру предусмотрена задвижная дверца (рис. 5). Таким образом, чтобы подключать или отключать провода нет необходимости извлекать контроллер из корпуса.

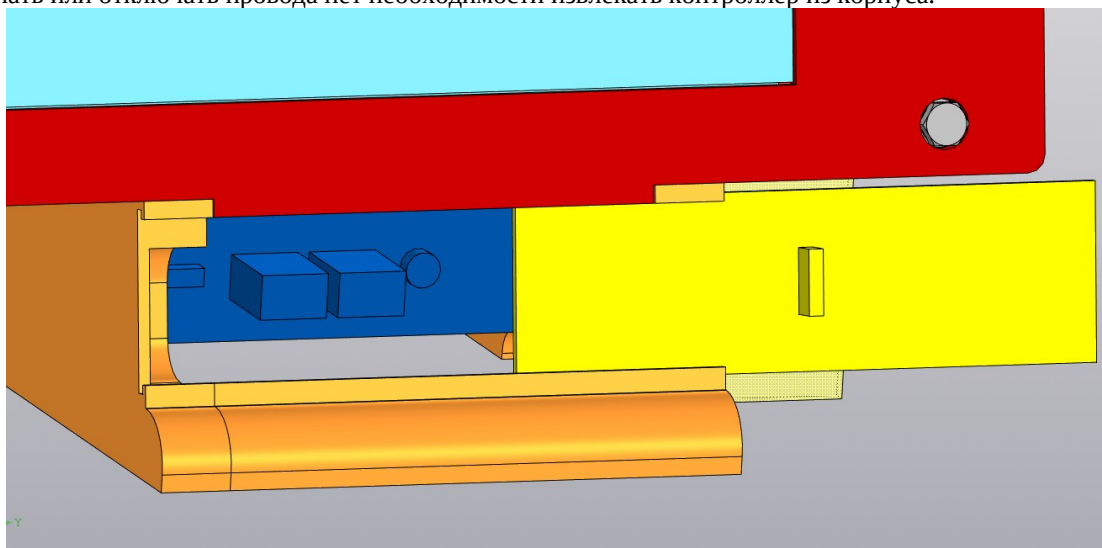


Рис. 5. Задвижная дверца

Для удобного подключения датчиков к контроллеру было разработано крепление для разъема. Одна часть разъема подключается к необходимым GPIO пинам на контроллере и фиксируется в корпусе (рис. 6), а другая часть соединяется с датчиками на экспериментальном стенде.

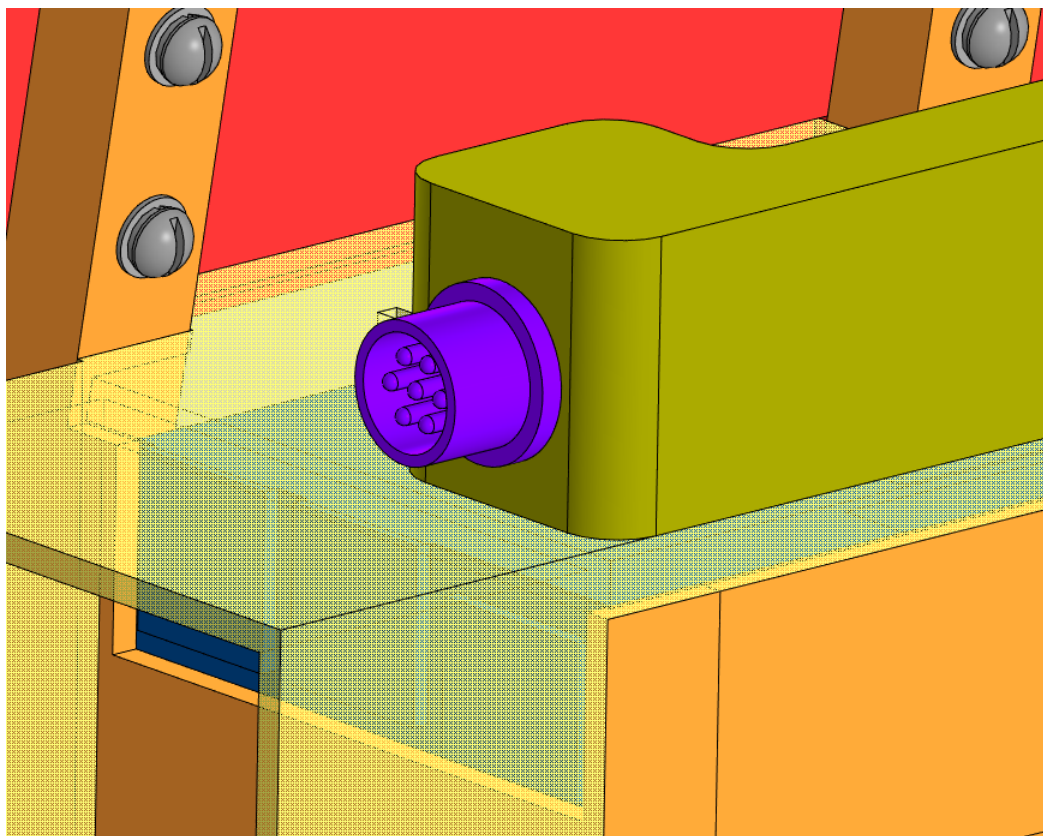


Рис. 6. Разъем для подключения датчиков

Графики ускорений мягкого и жесткого толкателя представлены на рис. 7.

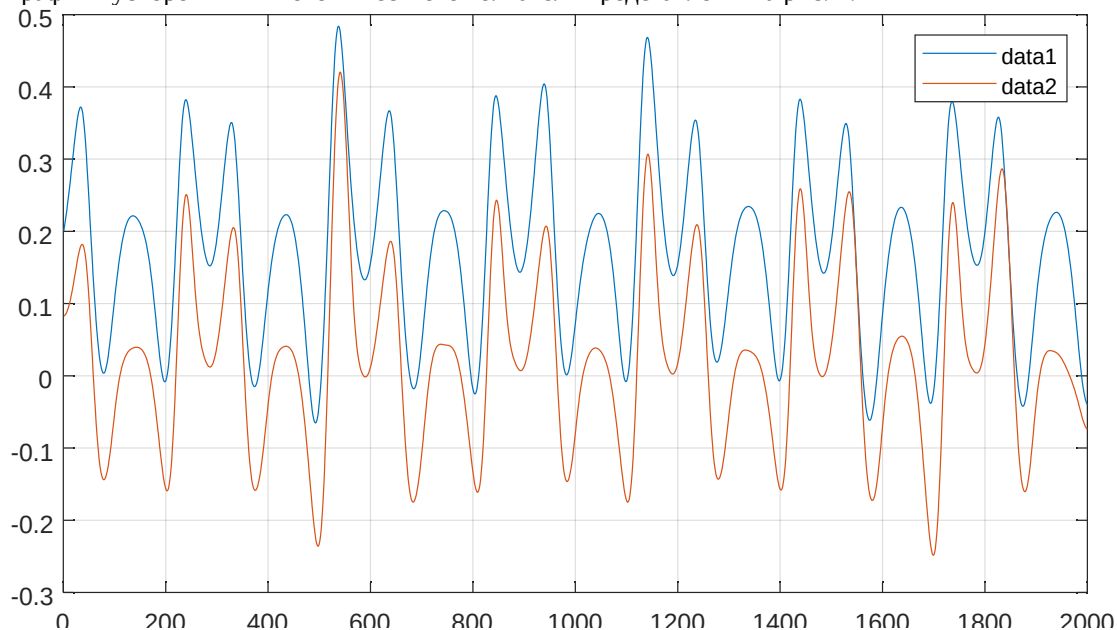


Рис. 7. Графики ускорений жесткого и мягкого толкателя

По оси X отсчитываются номера получаемых значений. По оси Y отсчитываются величины ускорений. График «data 1» описывает ускорение жесткого толкателя. График «data 2» описывает движения мягкого толкателя, упруго-диссипативные элементы оказывают влияние на ускорение. На основе полученных графиков можно сделать выводы о влиянии упругих и диссипативных элементов в конструкции механизма. В дальнейшем планируется выполнить тарировку датчиков, а также установить на валу кулачка датчик угла поворота.

Все разработанные 3D-модели напечатаны на 3D-принтере «AnyCubic 4 max pro 2.0» из пластика PLA и PETG. Разработанный стенд используется в учебном процессе для исследования динамики кулачковых механизмов.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры машиноведения Блохин М.Ю.*

*Scientific supervisor: Senior Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Blokhin M. Yu.*

#### **Список литературы**

1. Вульфсон И. И. Динамика цикловых машин - СПб: Политехника, 2013. - 425 с.: ил.
2. Монк С. Мейкерство. Arduino и Raspberry Pi. Управление движением, светом и звуком: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2017. - 336 с.
3. Большаков В.П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. Практикум: учебное пособие. СПб: БХВ-Петербург, 2010. 496 с.

#### **References**

1. Vul'fson I. I. Dinamika ciklovyh mashin - SPb: Politekhnik, 2013. - 425 s.: il.
2. Monk S. Mejkerstvo. Arduino i Raspberry Pi. Upravlenie dvizheniem, svetom i zvukom: Per. s angl. - SPb.: BHV-Peterburg, 2017. - 336 s.
3. Bol'shakov V.P. Sozdanie trekhmernih modelej i konstruktorskoj dokumentacii v sisteme KOMPAS-3D. Praktikum: uchebnoe posobie. SPb: BHV-Peterburg, 2010. 496 s.

УДК 004.942

**А.А. Квятковский, Н.М. Бабкина**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРУППЫ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ**

*В данной статье описывается использования системы симуляционного моделирования Anylogic, с целью построения имитационной модели для исследования пассажиропотока группы пассажирских лифтов и влияния различных факторов на него с выводом таких ключевых параметров как: среднее время ожидания пассажира, пассажиропоток, длина пути лифта, максимальное время ожидания пассажира. Приведено описание последовательности построения имитационной модели в среде симуляционного моделирования Anylogic с целью получения ключевых параметров.*

**Ключевые слова:** Anylogic, моделирование, симуляция, пассажиропоток, программирование, лифтовое оборудование, движение кабины лифта, движение пассажиров

**A.A. Kvyatkovskiy, N.M. Babkina**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design

191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **METHODOLOGY OF SIMULATION MODELING OF A GROUP OF PASSENGER ELEVATORS**

*This article describes the use of the Anylogic simulation modeling system in order to build a simulation model to study the passenger traffic of a group of passenger elevators and the influence of various factors on it, with the output of key parameters such as: average passenger waiting time, passenger traffic, elevator path length, maximum passenger waiting time. The sequence of constructing a simulation model in the Anylogic simulation environment is described in order to obtain key parameters.*

**Keywords:** Anylogic, modeling, simulation, passenger flow, programming, elevator equipment, elevator car movement, passenger movement

Проектирование вертикального транспорта, представляющее собой процесс определения числа, грузоподъемности и параметров лифтов, обеспечивающих нормативный уровень транспортной комфортности пассажиров, начинается на ранних стадиях проектирования здания с учетом назначения, заселенности и других характеристик, определяющих потребность в обслуживании пассажиропотоков лифтами. Активное развитие высотного строительства в городах ставит задачи рационального зонирования лифтовых групп в зданиях и определения алгоритмов управления ими.

При определении числа, параметров и размеров лифтов для зданий (конфигурации лифтов), используется ГОСТ 34758-2021, который включает в себя два основных метода проектирования: расчётный метод и метод моделирования.

Критериями транспортной комфортности при этом являются: нормативные значения расчетной потребности в транспортировании пассажиров (расчетный пассажиропоток), интервал движения лифтов и нормативное время движения лифта между крайними обслуживаемыми этажами [1].

При реализации расчетного метода в качестве задаваемых используются следующие параметры: расчётный пассажиропоток, нормативный интервал движения лифтов, нормативное время движения лифта на всю высоту подъёма. Данный метод не позволяет оценить критерии транспортной комфортности при изменении исходных данных без перерасчета.

При применении метода моделирования используется меньшее количество критериев: расчётный пассажиропоток и нормативное среднее время ожидания. Помимо этого, метод моделирования позволяет выделить прямую связь между входными критериями и критериями транспортной комфортности, а также появляется возможность быстрого расчёта данных и поиска оптимального решения при проектировании.

Последовательность реализации расчетного метода подробно описана в ГОСТ 34758-2021. Этапы выполнения работы при использовании метода моделирования, следующие:

- 1) получение сведений о здании;
- 2) моделирование будущего здания;

- 3) подбор входных критериев;
- 4) внедрение объектов (лифты, пассажиры, зоны ожидания и т. д.);
- 5) написание программы логики вызова лифтов;
- 6) сбор статистики, написание выводов.

Процесс моделирования выполняют для каждого вида пассажиропотока (движение пассажиров вверх или вниз) в здании и установленных требований к выполнению функций вертикального транспорта с соблюдением следующих условий:

- а) каждое моделирование начинается с одинаковых некоторых условий (все кабины не загружены, начало движения кабин осуществляется с основного посадочного этажа и т. д.)
- б) пассажиропоток генерируют для каждого пассажира независимо;
- в) этажи отправления и назначения определяются с учетом заселенности этажей;
- г) кабины лифтов загружаются до установленного предела.

В качестве результатов имитационного моделирования пассажиропотока для вновь проектируемого здания ставится задача получения рекомендаций по выбору конфигурации лифтов и алгоритма управления их движением (группой лифтов).

Группа лифтов – это два или более лифта одинакового назначения, объединенные системой группового управления, обслуживающие, как правило, одни и те же этажи здания и имеющие общие холлы или этажные площадки.

Имитационное моделирование позволяет построить прямую зависимость между определёнными условиями или параметрами и пассажиропотоком, это в свою очередь ускоряет процесс получения данных из моделирования [1].

Модель формируется с помощью симуляционной среды AnyLogic, в которой программа составляется автоматически на языке программирования Java на основе построения логической блок-схемы. AnyLogic позволяет сгенерировать графическое изображение объекта моделирования (здания) и получать в режиме реального времени статистические данные о работе модели.

В качестве заявок на обслуживание будут использоваться элементы модели AnyLogic – агенты. Агенты могут моделировать: автомобили, города, животных, товары, в том числе и пассажиров, поэтому, для описания действий пассажиров в модели будут использоваться агенты.

Предложенная имитационная модель строится из блоков (рис. 1), которые отражают поведение появляющихся агентов, данные блоки также аккумулируют статистику прошедших агентов и имеют возможность запускать фрагменты кода при различных сценариях, таких как: при входе / выходе, при ожидании и т. д.

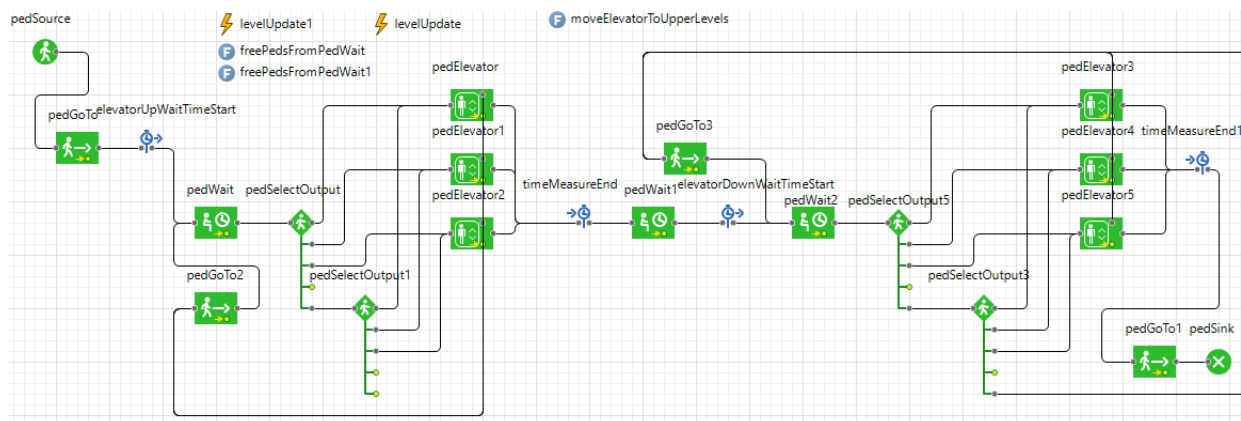


Рис. 1. Построенная имитационная модель

Принцип работы:

Агент появляется в блоке `pedSource` (рис. 1) [2], обеспечивающий появление агентов по экспоненциальному закону распределения:  $\text{exponential}(\lambda, \text{min})$  – встроенный математический метод AnyLogic [2], где  $\lambda$  – параметр формы,  $\text{min}$  – минимальное значение  $x$ . В нашем случае, используется экспоненциальное распределение с параметрами:  $\lambda = 3$ ,  $\text{min} = 1$ , т. е. агент появляется со случайным межинтервальным временем от 3 до 1 минут.

При появлении, агенту задается целевая функция, то есть агенту назначается точка следования к определённой зоне, которая выбирается для каждого агента случайно из массива зон (`shopAreas`) (рис. 2), при этом пассажир выбирает любой свободный лифт, построенный через функцию `pedElevator` [3]. Массив зон состоит из зон, которые равномерно распределены по всем 10-ти этажам имитируемого здания.

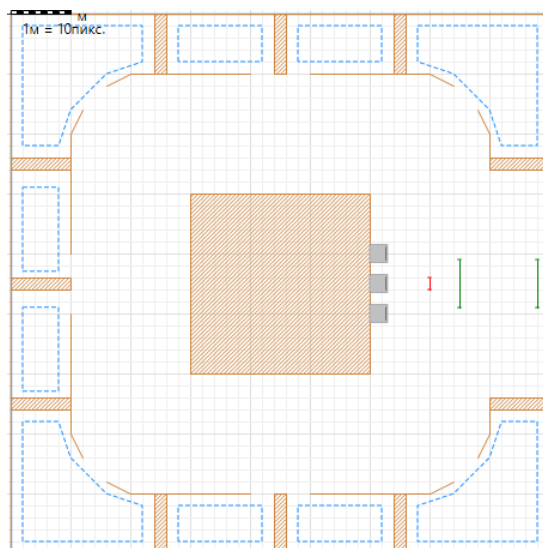


Рис. 2. План первого этажа (целевая зона обозначена пунктирной линией)

Агент после появления двигается к зоне ожидания лифта (`pedWait`) с помощью блока `pedGoTo`. При подходе агента к зоне ожидания, включается таймер среднего времени ожидания (`elevatorUpWaitTimeStart`) (см. рис. 1) [2].

В зоне ожидания лифта, агент ожидает лифта, который должен быть на том же этаже что и прибывший агент, если лифт присутствует на 1-ом этаже, то агента выходит из блока ожидания при помощи функции `free`, в ином случае вызывается лифт на первый этаж с помощью функции `moveElevatorToLevel`: запускается цикл поиска лифта, который соответствует следующему условию (1.1) для отправки на первый этаж.

Условие 1.1: лифт находится на нулевом этаже или один из лифтов перемещается на нулевой этаж.

В случае, если условие не выполняется, вызывается цикл по всем трём лифтам, где проверяется следующее условие (1.2) для отправки одного лифта на нижний этаж.

Условие 1.2: находится ли итерируемый лифт на нулевом этаже.

Если условие (1.2) не выполнено, то идёт возвращение к циклу для следующей итерации. При успешном выполнении условия включается дополнительный цикл проверки (1.3) для определения наиболее оптимального решения отправки лифта на нулевой этаж.

Условие 1.3: итерируемый лифт бездействует и находится ниже чем остальные лифты.

Цикл с проверкой условия (1.3) итерируется такое количество раз, равное количеству лифтов в лифтовой группе, до первого выполнения условия. Лифт, который отвечает всем условиям, отправляется на нулевой этаж к агентам.

После того, как лифт прибыл на нулевой этаж, заново проверяется условие (1.1), после удовлетворительного результата, все агенты из блока `pedWait` выходят и заходят в прибывший лифт, который развозит всех агентов по этажам, на которых находятся целевые зоны. После выхода из лифта, агенты идут к своим целевым зонам, одновременно отключая таймер среднего ожидания лифта на подъём (`timeMeasureEnd`) (см. рис. 1) [2].

Агент прибывшие на нужный этаж, проходят в свою целевую зону и начинают ожидать (`pedWait1`), время ожидания выбирается случайно по нормальному закону распределения с помощью функции: `triangular(10, 20, 15)`, где: 10 - минимальное возможное значение (`min`), мин.; 20 – максимальное возможное значение (`max`), мин.; 15 – наиболее вероятное значение (`среднее`) [2].

После истечения времени ожидания в `pedWait1`, агент переходит к зоне ожидания лифта на спуск `pedWait2` (см. рис. 1), попутно запуская таймер измерения времени (`elevatorDownWaitTimeStart`), после, идёт запуская проверка:

Условие 1.4: лифт перемещается вниз.

Если условие 1.4 удовлетворительно, то запускается функция вызова лифта на этаж, где находится агент. Данная функция содержит в себе цикл проверки следующих условий (1.5):

Условие 1.5: текущая высота итерируемого лифта ниже чем высота агентов, вызвавшего лифт, и отсутствует текущее направление лифта.

Если условие 1.5 не выполняется, проверяется следующее условие 1.6:

Условие 1.6: высота итерируемого лифта выше чем высота этажа агента, вызвавшего лифт, и вместимость итерируемого лифта больше чем количество агентов на этаже, откуда был сделан вызов лифта.

При невыполнении условия 1.6, выполняется проверка условия 1.7.

Условие 1.7: направление движения итерлируемого лифта вверх и есть ли в итерлируемом лифте агенты.

Если один из итерлируемых лифтов отвечает одному из условий: 1.5, 1.6, 1.7, то он направляется к агентам, вызвавшим лифт. В противном случае, отправляется первый итерлируемый лифт.

После прибытия заново проверяется условие 1.4, если данное условие не выполняется, то для посадки агентов в лифт запускается цикл проверки наличия лифта на этаже, где был осуществлён вызов, в цикле проверяется следующее:

Условие 1.8: итерлируемый лифт находится на том же этаже, что и агент вызвавший данный лифт.

После чего лифт перемещает агентов на основной посадочный этаж, выпускает агентов, после чего агенты выходят к точке исчезновения из модели. По результатам работы модели был выполнен протокол испытаний:

Цели испытаний:

1. Проверить влияние количества лифтов и логики вызова этих лифтов на пассажиропоток в 10-этажном здании, построить три варианта имитационной модели одного здания.

2. Проверить имитационную модель лифтовой группы в высотном здании, а именно, получить и сравнить такие ключевые параметры как:

- среднее время ожидания на подъём –  $t_{1cp}$ , с.;
- максимальное время ожидания пассажира на подъём –  $t_{1max}$ , с.;
- среднее время ожидания на подъём –  $t_{1cp}$ , с.;
- максимальное время ожидания пассажира на подъём –  $t_{1max}$ , с.;
- длина пути лифта за всё время –  $S$ , м;
- пассажиропоток (кол-во пассажиров, появившихся в модели и прошедших полный путь имитационной модели) –  $K$ , чел.,  $K_1$ , чел.

3. По полученным параметрам, вынести результат о более оптимальной модели с точки зрения ключевых параметров, для дальнейшей модернизации и работы.

Методика испытаний:

1. Построить имитационную модель лифта в высотном здании (10 этажей) со следующей логикой поведения пассажиров:

- 1) появление пассажиров на нулевом этаже, со случайным межинтервальным временем появления (от 3 до 1 минуты, экспоненциальное распределение). Каждый пассажир при появлении, получает случайную целевую зону из массива этих целевых зон;
  - 2) пассажир перемещается к пульту вызова лифта (зона ожидания лифта), при этом, пассажир параллельно включает таймер измерения среднего времени ожидания на подъём;
  - 3) пассажир вызывает лифт при отсутствии его на 0-м этаже или выходит из зоны ожидания и проходит в присутствующий лифт;
  - 4) лифт перемещает пассажиров на тот этаж, на котором находится их целевая зона;
  - 5) пассажир при выходе из лифта, перемещается в свою целевую зону, параллельно выключая таймер измерения среднего времени ожидания на подъём;
  - 6) включается процесс ожидания пассажира в зоне ожидания (время ожидания: от 20 до 10 минут, где среднее значение – 15 мин., распределение нормальное);
  - 7) пассажир по истечении времени ожидания в целевой зоне, проходит к пульту вызова лифта на том же этаже. Включается таймер измерения среднего времени ожидания на спуск;
  - 8) пассажир вызывает лифт при отсутствии его на этаже или пассажир выходит из зоны ожидания и проходит в лифт при его присутствии на том же этаже что и пассажир;
  - 9) пассажир на лифте перемещается на 0-й этаж;
  - 10) выключается таймер измерения среднего времени ожидания на спуск, и пассажир проходит к выходу и исчезает из модели.
2. Включить эксперимент данной модели, записать ключевые параметры в табл. 1.
  3. В имитационную модель п. 1 внедрить 2-й лифт и логику вызова лифта.
  4. Повторить п.2.
  5. В имитационную модель п. 2 внедрить 3-й лифт и внедрить его в логику вызова лифтов.
  6. Повторить п.2.

Таблица 1. Ключевые параметры модели

Ключевые параметры	Модель 1 (кол-во лифтов - 1)	Модель 2 (кол-во лифтов - 2)	Модель 3 (кол-во лифтов - 3)
$t_{ср}$ , с.;	8,37	3,73	3,93
$t_{max}$ , с.	15,52	14,15	11,4
$t_{1ср}$ , с.	10,97	7,72	7,00
$t_{1max}$ , с	21,80	19,97	18,85
S, м	182 (лифт1)	241.5 (лифт1) 220.5 (лифт2)	252.0 (лифт1) 226.0 (лифт2) 178.0 (лифт3)
K, K <sub>1</sub> чел.	46, 7	48, 13	45, 23

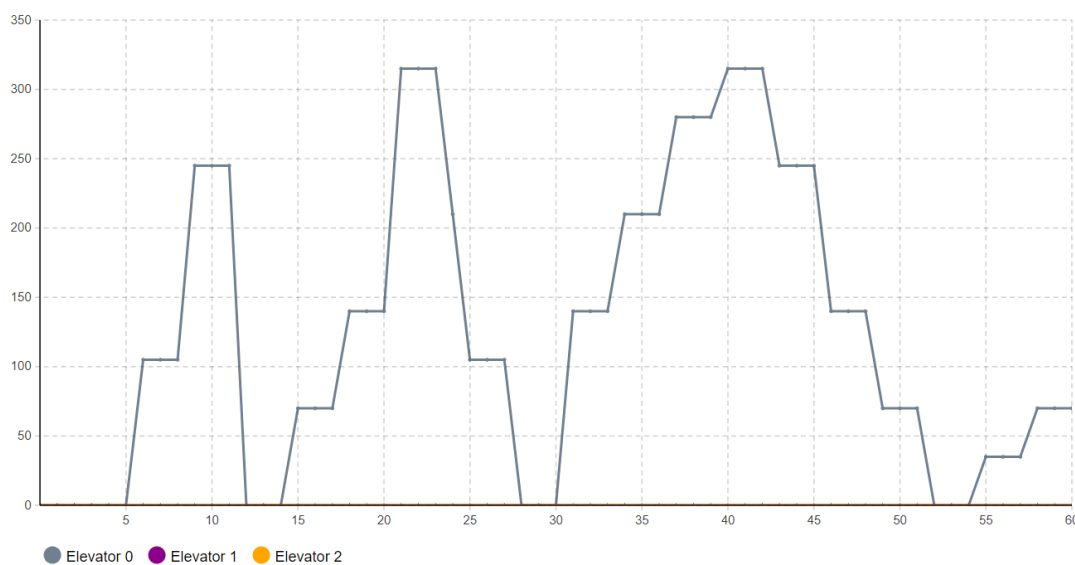


Рис. 3. График перемещения лифта в модели 1 (ось абсцисс – время от 0 до 60 мин., ось ординат – перемещение лифта, дц)

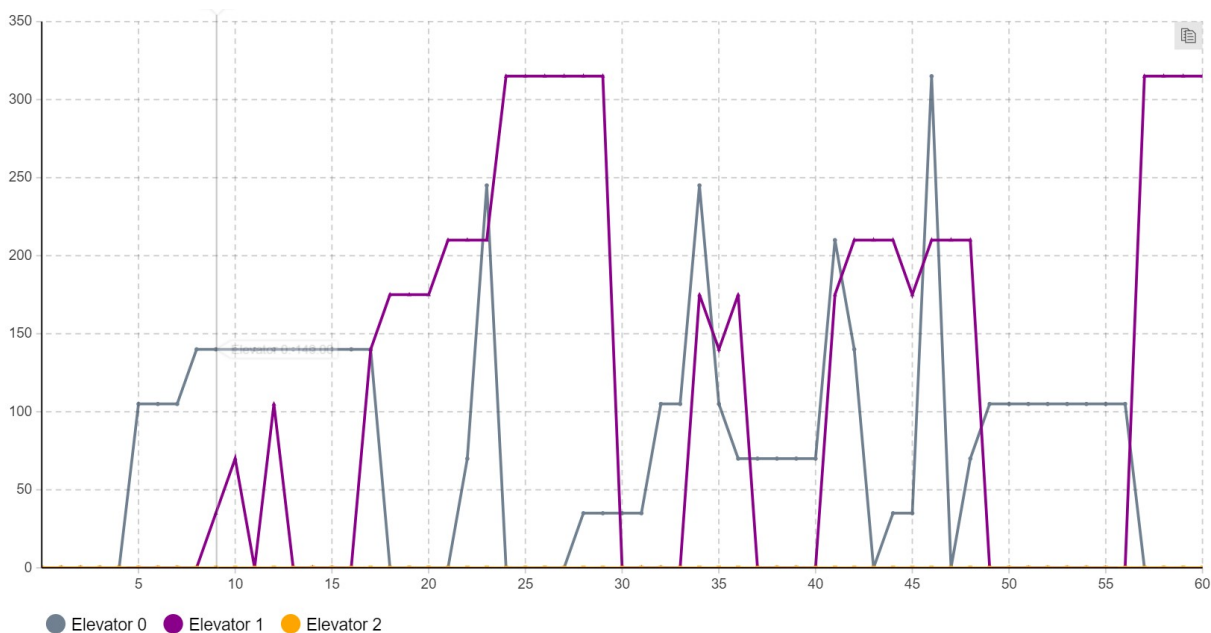


Рис. 4. График перемещения двух лифтов в модели 2 (ось абсцисс – время от 0 до 60 мин., ось ординат – перемещение лифта, дц)

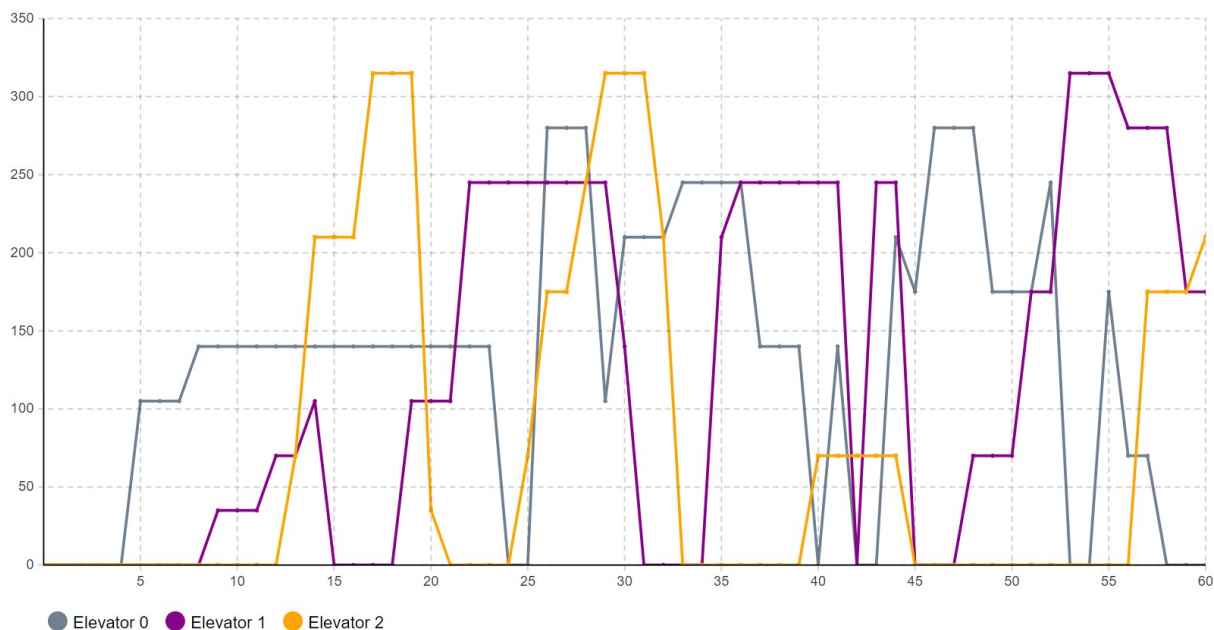


Рис. 5. График перемещения трех лифтов в модели 3  
(ось абсцисс – время от 0 до 60 мин., ось ординат – перемещение лифта, дц)

#### Вывод:

В AnyLogic была разработана имитационная модель группы лифтов, обслуживающая агентов, а именно перемещающая агентов с основного посадочного этажа на случайный верхний этаж и обратно. Для этой задачи была сформирована схема управления данными лифтами.

Данная модель показала, что, меняя входные данные, возможно выстроить прямую связь между некоторыми входными условиями и пассажиропотоком. Построенная модель соответствует необходимым условиям метода моделирования, помимо этого, с помощью данной модели, возможно применять различные конструкции зданий и шахт, для апробации различных данных.

Был составлен протокол испытаний с методикой испытаний: по данным текущим параметрам (табл. 1) и приведенным графикам (см. рис. 3–5), видно, что с увеличением кол-ва лифтов, увеличивается пассажиропоток, однако значительное уменьшение среднего ожидания пропадает уже после добавления второго лифта в модель. Это говорит нам о том, что логику вызова лифтов необходимо доработать, но данную модель можно масштабировать и использовать в дальнейшем для работы с имитационной моделью.

#### Список литературы

1. ГОСТ 34758-2021 ЛИФТЫ Определение числа, параметров и размеров лифтов для зданий различного назначения. М.: Российский институт стандартизации, 2021, 30 с.;
2. Документация AnyLogic. URL: <https://anylogic.help> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Руководство пользователя по построению лифтов в AnyLogic. URL: <https://anylogic.help/markup/elevator.html> (дата обращения: 01.03.2026);

#### References

1. GOST 34758-2021 LIFTY Opredelenie chisla, parametrov i razmerov liftov dlya zdaniy razlichnogo naznacheniya. [ELEVATORS Determining the number, parameters, and sizes of elevators for buildings of various purposes]. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 30 pp. (in Rus.);
2. Dokumentaciya AnyLogic. URL: <https://anylogic.help> [AnyLogic official documentation] (date accessed: 25.02.2026).
3. Rukovodstvo pol'zovatelya po postroeniyu liftov v AnyLogic. URL: <https://anylogic.help/markup/elevator.html> [User's Guide to building elevators in AnyLogic]. (date accessed: 01.03.2026);

УДК 621.9.014:004.89

**А.С. Морев**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НИЗКОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ДЛЯ ТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Аннотация:* С развитием технологий интеллектуального производства обрабатывающая промышленность постепенно переходит к интеллектуальному производству. В данной статье подробно представлены процесс интеллектуального принятия решений на основе глубокого обучения, процесс индивидуального проектирования инструментов с учетом конструктивных особенностей, процесс моделирования резания с учетом геометрических характеристик деталей, а также процесс мониторинга и управления обработкой с ЧПУ на основе распознавания состояния. Благодаря внедрению вышеуказанной архитектуры и ключевых технологий система режущей обработки может автоматически оптимизировать параметры резания в соответствии с рабочими условиями в режиме реального времени и корректировать собственные условия резания.

**Ключевые слова:** производство; низкая жесткость; режим резания; большие данные.

**A.S. Morev**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
18 Bolshaya Morskaya St., Saint Petersburg, 191186

**STUDY OF CUTTING MODES FOR LOW-RIGIDITY PARTS IN PRECISION MANUFACTURING**

*Abstract:* With the development of smart manufacturing technologies, the machining industry is gradually transitioning to smart manufacturing. This article details the process of intelligent decision-making based on deep learning, the process of customized tool design taking into account structural features, the process of cutting simulation considering the geometric characteristics of parts, as well as the process of monitoring and controlling CNC machining based on state recognition. Thanks to the implementation of the aforementioned architecture and key technologies, the machining system can automatically optimize cutting parameters in real time according to operating conditions and adjust its own cutting conditions.

**Keywords:** manufacturing; low rigidity; cutting mode; big data.

В последние годы цели, преследуемые рынком производства, претерпели изменения в области крупносерийного производства, низкозатратного производства, качества продукции, скорости реагирования на рынок, знаний и обслуживания, и в настоящее время постепенно трансформируются от автоматизации и информационных технологий к интеллектуализации [1]. В процессе изготовления типовых тонкостенных ключевых деталей (деталей с низкой жесткостью) основным методом является резание. Детали с низкой жесткостью характеризуются сложной конструкцией, тонкостенностью, низкой жесткостью и высокими требованиями к точности поверхности. Из-за небольшого модуля упругости деталей с низкой жесткостью, плохой теплопроводности и небольшой площади контакта с инструментом, инструмент постоянно подвергается тепловому воздействию, что приводит к его серьезному износу в процессе резания и даже вызывает поломку и отказ инструмента, что приводит к вибрации и повреждению станка и заготовки.

Цифровое моделирование включает в себя три части: проектирование нестандартного инструмента на основе конструктивных особенностей, интеллектуальное принятие решений на основе глубокого обучения и моделирование резания на основе геометрических характеристик деталей.

Проектирование индивидуального инструмента на основе конструктивных характеристик [2]. В основном из-за того, что существующие инструменты не могут удовлетворить требованиям резания деталей со специальной конструкцией и низкой жесткостью, требуются специально разработанные инструменты. Кроме того, когда характеристики существующих инструментов не являются идеальными, оптимизация их конструкции может обеспечить техническую поддержку для будущей резания таких деталей.

Интеллектуальное принятие решений на основе глубокого обучения. Данный раздел является ядром архитектуры. Благодаря обучению алгоритмической модели на основе данных об истории обработки деталей с низкой жесткостью, предоставляемых платформой больших данных, создается модель глубокого обучения, адаптированная к условиям обработки деталей с низкой жесткостью, которая обеспечивает высококачественную поддержку принятия решений для интеллектуальной обработки в рамках архитектуры.

Моделирование обработки на основе геометрических характеристик деталей. Сюда входит моделирование процесса резания и интеллектуальное планирование процесса на основе геометрических характеристик деталей. Это позволяет моделировать и визуализировать процесс резания, планировать траекторию инструмента на основе геометрических характеристик деталей, автоматически оптимизировать процесс и автоматически генерировать программы ЧПУ.

Процесс резания деталей с низкой жесткостью прогнозируется и моделируется с помощью симуляции обработки на основе геометрических характеристик деталей, включая силы резания, температуру резания, поле напряжений и поле температур, а также моделирование износа инструмента и формы стружки. Анализ результатов симуляции [3] позволяет в определенной степени скорректировать конструктивные параметры инструмента и начальные параметры резания, а также обеспечить информационную основу для прогнозирования срока службы режущего инструмента. В то же время на основе результатов моделирования можно получить обновляемую в реальном времени программу ЧПУ в соответствии с интеллектуальным решением, основанным на результатах сопоставления характеристик детали, динамических параметров резания и данных платформы больших данных, при этом осуществляется прогнозирование срока службы инструмента и подготовка к его замене. Благодаря цифровому моделированию перед фактической обработкой можно заранее выявить и решить проблемы, которые могут возникнуть при обработке деталей с низкой жесткостью, а также прогнозировать точность размеров и качество поверхности деталей и даже остаточные напряжения. В связи с наличием неконтролируемых факторов, таких как условия на производственной площадке, между измеренными данными в ходе реальной обработки и данными моделирования процесса обработки будут наблюдаться некоторые расхождения.

Вся информация обрабатывается в режиме реального времени на основе данных мониторинга и управления ЧПУ с учетом текущего состояния, а модуль интеллектуального принятия решений с помощью алгоритмов, подходящих для конкретных условий работы, прогнозирует и формирует данные о параметрах резания, которые визуализируются для пользователей, что позволяет отслеживать текущее состояние режущего процесса. Визуализация процесса обработки осуществляется с помощью модуля моделирования. В то же время, по сравнению с результатами моделирования, соответствующими времени, в режиме реального времени проводится анализ ошибок, модифицируются параметры моделирования, а затем модифицируются параметры алгоритма. Одновременно параметры резания в реальном времени и программа ЧПУ оптимизируются с помощью соответствующей алгоритмической модели, чтобы достичь цели управления обработкой с ЧПУ в реальном времени посредством восприятия состояния резания и реализовать мониторинг в реальном времени и интеллектуальное управление процессом обработки.

После того как точность обработки и шероховатость поверхности прогнозируемых деталей соответствуют требованиям, можно приступить к физической обработке. В процессе реального резания модуль мониторинга и управления ЧПУ передает информацию о силе резания, температуре резания, вибрации резания, акустической эмиссии, а также текущие данные, измеренные датчиком силы, датчиком температуры и другим оборудованием, в уровень данных реального времени модуля интеллектуального принятия решений [4], что позволяет пользователям наблюдать за изменениями параметров резания в режиме реального времени посредством цифрового моделирования. Одновременно осуществляется визуализация процесса резания, что позволяет пользователям отслеживать состояние станка, состояние инструмента и состояние заготовки, а также обеспечивает понимание состояния обработки деталей в режиме реального времени, и позволяет в любой момент изменять параметры резания или стратегии обработки в соответствии с опытом для достижения точной обработки.

Под руководством интеллектуальной части принятия решений становится возможным прогнозирование износа и повреждений режущего инструмента в режиме реального времени, прогнозирование оставшегося срока службы инструмента и отображение ожидаемого времени смены инструмента в режиме реального времени, что позволяет пользователям заранее подготовить инструмент. Кроме того, на основе больших данных проводится оценка надежности в режиме реального времени, выполняется анализ ошибок для различий в результатах моделирования, выводятся отчеты по анализу, а точность системы цифрового моделирования повышается за счет самообучения.

По завершении обработки деталей с низкой жесткостью формируется отчет по анализу результатов, включающий информацию о том, соответствуют ли точность обработки, шероховатость поверхности и т. д. ожидаемым требованиям, а информация о результатах анализа передается обратно в

систему цифрового моделирования для модификации модели интеллектуального принятия решений и модели симуляции, расширения информации платформы больших данных и обеспечения информационной поддержки для будущего оптимизированного проектирования инструмента для обработки деталей с низкой жесткостью, имеющих схожие конструктивные характеристики.

Работа цифрового моделирования и физической обработки осуществляется при поддержке платформы больших данных. Платформа содержит всю информацию, связанную с обработкой деталей с низкой жесткостью, такую как информация о заготовке, информация об инструменте, информация о станке, информация о процессе, параметры резания, характеристики обработки и стратегии обработки. Каждая библиотека экземпляров интегрирована и связана, между ними существует соотношение отображения.

Информация на платформе включает структурированные данные с одинаковым типом данных и одинаковыми значениями атрибутов (такие как информация об инструменте и информация о станке), полуструктурированные данные с одинаковым типом данных и разными значениями атрибутов (такие как геометрические характеристики деталей с низкой жесткостью) и неструктурированные данные без фиксированной структуры (такие как фотографии износа инструмента).

Для хранения и управления данными в режиме реального времени используется платформа Storm. Поступающие на платформу данные сначала очищаются с целью удаления дубликатов, аномальных значений, значений, отклоняющихся от общего распределения и т.д. В случае отсутствующих значений, полная, корректная и согласованная информация может быть занесена в хранилище данных вручную или с помощью медианы и т. п., что позволяет повысить точность результатов интеллектуального анализа данных. Гетерогенные данные из нескольких источников логически или физически централизуются для обеспечения совместного использования данных. С помощью плавной агрегации, обобщения данных, нормализации и т. д. данные преобразуются в форму, подходящую для интеллектуального анализа данных. В соответствии с информацией в хранилище данных выбираются подходящие инструменты анализа; для обработки информации применяются статистические методы, рассуждения по прецедентам, дерево решений, рассуждения по правилам, нечеткие множества, нейронные сети и генетические алгоритмы; и получается полезная аналитическая информация. Наконец, осуществляется классификационный анализ, ассоциативный анализ, кластерный анализ и прогнозный анализ соответствующих данных.

Выбор оптимальных параметров резания имеет огромное значение для повышения эффективности и точности обработки деталей, увеличения срока службы инструмента и снижения энергопотребления при обработке. Обычно оптимизация параметров резания осуществляется с использованием различных алгоритмов, при этом в качестве целей оптимизации выступают стоимость и эффективность обработки. В последние годы некоторые исследователи также стали учитывать влияние таких факторов, как энергопотребление, сила резания и шероховатость поверхности, на процесс оптимизации. Однако эти методы оптимизации не позволяют корректировать параметры резания в режиме реального времени в соответствии с состоянием обработки, что ограничивает их применимость. Большинство из них не способны обеспечить управление процессом резания в режиме реального времени и не могут взаимодействовать с информацией. Кроме того, трудно обеспечить управление в режиме реального времени с обратной связью в сложных условиях обработки, используя только сигналы мониторинга без учета геометрии и технологической информации обрабатываемой детали [5]. Поэтому синхронная корреляция геометрии, информации о процессе обработки и информации мониторинга является ключом к реализации интеллектуальной резания.

В процессе обработки деталей с низкой жесткостью происходят весьма сложные изменения состояния станков, заготовок и инструментов, которые связаны с характеристиками погрешностей станка, его динамическими характеристиками, характеристиками энергопотребления, а также несовершенством технологий обработки материалов. Под воздействием режущих сил, вибраций при резании и других факторов легко возникают деформации при обработке. Обычные математические модели затрудняют точное моделирование процесса резания, контроль точности обработки и повышение эффективности обработки. Опираясь на платформу больших данных, интеллектуальное принятие решений на основе глубокого обучения в основном включает три уровня: уровень взаимодействия с пользователем, уровень данных в реальном времени и уровень глубокого обучения:

Уровень взаимодействия с пользователем в основном используется для обмена информацией с пользователем и визуализации процесса резания. Входные данные системы передаются в уровень глубокого обучения через этот уровень. После анализа модели основная информация, такая как данные о станке и инструменте, сначала возвращается пользователю, и пользователь может самостоятельно выбрать станок и инструмент. После подтверждения пользователем слоя глубокого обучения на основе информации слоя данных реального времени, подачи в реальном времени, величины обратной резания, ширины резания, скорости резания и других данных в форме динамических кривых обеспечивает визуализацию для пользователя. В то же время благодаря поддержке слоя глубокого обучения

пользователи могут интуитивно видеть деформацию заготовки, износ инструмента, энергопотребление станка и т. д., что позволяет достичь цели мониторинга состояния заготовки, состояния инструмента и состояния станка.

Уровень данных в реальном времени представляет собой уровень подачи данных, и у него есть два источника данных. В процессе имитации резания — результаты прогнозирования, получаемые в режиме реального времени в ходе имитации резания, включая усилие резания, температуру резания, вибрацию при резании, ток, акустический сигнал и другие данные. В реальном процессе резания данные предоставляют динамометр, датчики ускорения, тепловизоры и другое сенсорное оборудование, используемое в реальном процессе резания. Включая информацию о силе резания в реальном времени, изображение температуры резания в реальном времени, информацию о вибрации резания в реальном времени, информацию о токе в реальном времени, акустическую информацию в реальном времени и т. д., которые служат источниками информации для уровня глубокого обучения.

Слой глубокого обучения является ядром интеллектуального принятия решений. Пользователи вводят характеристики заготовки и требования к обработке в слое взаимодействия и передают информацию в слой глубокого обучения для анализа признаков. При поддержке уровня обслуживания данных осуществляется интеллектуальный подбор станков для рекомендации подходящих станков, а также интеллектуальный подбор инструментов для рекомендации подходящих инструментов из имеющихся. С целью интеллектуального подбора инструментов геометрические характеристики типичных деталей с низкой жесткостью в аэрокосмической отрасли представлены в виде множества инженерных чертежей, содержащих обширную информацию, которые используются в качестве обучающих наборов для обучения алгоритмических моделей, таких как Deep Residual Network (ResNet). Устанавливается соответствующая связь между каждой особенностью обработки и каждым режущим инструментом, чтобы преобразовать выбор инструмента в задачу распознавания признаков [6]. Если подходящий инструмент не найден или эффект обработки выбранного инструмента не является идеальным, предоставляется проектная информация, связанная с инструментом, имеющая наивысшую степень соответствия, для проектирования инструмента на заказ, чтобы обеспечить теоретическую основу для проектирования инструмента, используемого при последующей обработке аналогичных деталей конструкции.

Слой глубокого обучения нацелен на снижение затрат на обработку, повышение эффективности обработки, увеличение срока службы инструмента и сокращение выбросов углерода, а в качестве ограничительных условий использует диапазон параметров резания, шероховатость поверхности и остаточные напряжения. Для обучения многослойных нейронных сетей с прямой передачей можно использовать алгоритмы глубокого обучения, такие как ограниченная машина Больцмана (RMB), многослойный перцептрон (MLP), искусственная нейронная сеть (ANN), как с краткосрочной, так и с долгосрочной краткосрочной памятью (LSTM), сверточные нейронные сети (CNN), глубокие сети убеждений (DBN) и т. д. Эти модели или оптимизационные модели, сочетающие два или более алгоритмов, могут быть разработаны для создания прогнозной модели в соответствии с процессом резания деталей с низкой жесткостью.

Для устранения структурных различий между различными типами данных можно создавать различные модели глубокого обучения в зависимости от характера каждого сигнала при резании. Модель обучается на данных истории резания деталей с низкой жесткостью, чтобы сделать ее пригодной для условий резания таких деталей.

Прогнозирование состояния станка представляет собой оценку его технического состояния. В данной статье основное внимание уделяется состоянию шпинделя станка и энергопотреблению в процессе резания. Учитывая характеристики контакта соединений «инструмент-втулка-хвостовик» и «инструмент-шпиндель» [9], а также математическую зависимость между динамическими характеристиками станка и его положением и ориентацией [7], и используя модальный анализ для оценки динамических модальных параметров процесса обработки на станке [8], сигнал может анализировать в режиме реального времени такие характерные сигналы, как сигнал вибрации, сигнал акустической эмиссии и сигнал тока, для последующего анализа. Была создана комплексная модель состояния станка на основе глубокого обучения для определения изменений характеристик системы шпинделя станка, то есть рабочего состояния системы шпинделя в режиме реального времени, а также энергопотребления станка; были проведены диагностика и предупреждение о неисправностях для определения состояния станка во время резания деталей с низкой жесткостью.

Прогнозирование состояния инструмента представляет собой оценку состояния инструмента в процессе обработки. На основе мониторинга сигналов режущего процесса, таких как сила резания, сигнал вибрации и акустическая эмиссия, применяются алгоритмы глубокого обучения, например многомасштабная сверточная модель с длинно-краткосрочной памятью (LSTM) и двунаправленная модель LSTM, для мониторинга и прогнозирования износа и повреждений инструмента, соответственно, а также для прогнозирования остаточного ресурса инструмента с целью получения информации о

состоянии инструмента в режиме реального времени при обработке деталей с низкой жесткостью.

Прогнозирование состояния заготовки представляет собой оценку состояния заготовки в процессе резания. Алгоритмы глубокого обучения, такие как DBN, применяются для анализа сигнала режущей силы, сигнала вибрации [9], сигнала тепловыделения при резании, сигнала акустической эмиссии, сигнала тока и других характеристик в сочетании с геометрическими характеристиками деталей с низкой жесткостью [8], а также для непосредственного моделирования состояния резания на основе исходных измеренных сигналов различных типов. Для получения динамических параметров резания в реальном времени была создана специальная среда для мониторинга условий резания. Одновременно с этим осуществлялось прогнозирование деформации деталей с низкой жесткостью в реальном времени, чтобы получить информацию об условиях резания таких деталей во время обработки.

После обработки, расчета и анализа данных на основе больших данных полученные результаты передаются в модуль моделирования резания с учетом геометрических характеристик деталей для моделирования процесса резания деталей с низкой жесткостью, что позволяет прогнозировать процесс обработки с ЧПУ и своевременно выявлять возможные проблемы в процессе резания.

Производительность станка и обеспечение точности обработки заготовки тесно связаны с характеристиками инструмента. В настоящее время в инструментальной промышленности методы проектирования инструмента в основном включают проектирование на основе теории резания, метод проектирования на основе опыта и экспериментов, а также метод автоматизированного проектирования инструмента.

Путем анализа условий контакта между инструментом и поверхностью произвольной формы выводится зависимость между параметрами инструмента и кривизной поверхности, а также определяется взаимосвязь между геометрией детали и геометрией инструмента [10].

В процессе интеллектуального планирования технологического процесса на основе элементов конструкции траектория инструмента при фактической обработке состоит из дискретных данных о положении инструмента в порядке движения, поэтому траекторию инструмента можно рассматривать как совокупность данных о положении инструмента. Процесс включает в себя модуляризацию элементов конструкции, дискретизацию элементов, подбор стратегии обработки, интеграцию траектории обработки и оптимизацию траектории инструмента, в результате чего автоматически формируется программа ЧПУ. В то же время система может прогнозировать время резания и остаточный ресурс инструмента, а также определять время обработки детали. Платформа больших данных обеспечивает информационную поддержку для реализации процесса интеллектуального планирования технологического процесса, включая характеристики станка, характеристики обработки, решения по обработке, технологическую информацию, параметры резания, время резания и информацию об инструменте.

Мониторинг и управление обработкой на станках с ЧПУ на основе анализа состояния осуществляется при поддержке платформы больших данных. В процессе резания деталей с низкой жесткостью силы резания, вибрации, тепловыделения, тока и акустической эмиссии измеряются с помощью датчиков, таких как динамометр, датчик ускорения и тепловизор. Эти разнородные данные из множества источников сложно собирать и обрабатывать с помощью единого протокола связи.

Предложенный в данной статье режим обработки состоит из четырех частей: интеллектуальное принятие решений на основе глубокого обучения, проектирование индивидуальных инструментов с учетом конструктивных особенностей, моделирование режущей обработки на основе геометрических характеристик деталей, а также мониторинг и управление ЧПУ-обработкой на основе восприятия состояния, что позволяет реализовать интеллектуальную систему режущей обработки с замкнутым циклом.

В соответствии с заданными критериями оценки она выполняет вычисления, анализ, диагностику, оптимизацию и принятие решений, обеспечивая мониторинг в реальном времени, интеллектуальную оптимизацию и адаптивное управление процессом резания деталей с низкой жесткостью.

Режим обработки постоянно пополняет базу знаний о процессе резания, обладает определенной способностью к самообучению, может анализировать, оценивать и планировать свое собственное поведение, а также способствует эффективной работе цифрового производственного процесса.

*Научный руководитель: профессор, д.т.н., Сугачева В.В.*

*Research Supervisor: Professor V.V. Sigacheva, Ph.D. in Engineering*

#### **Список литературы**

1. **Безъязычный, В. Ф.** Основы технологии машиностроения : учебник для вузов / В. Ф. Безъязычный. – Москва : Юрайт, 2023. – 565 с.

2. **Васильев, А. С.** Направленное формирование свойств изделий машиностроения в процессе их изготовления / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С. А. Клименко. – Москва : Машиностроение, 2015. – 352 с.
3. **Гудфеллоу, Я.** Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль ; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
4. **Жарков, И. Г.** Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. **Лолаев, А. Б.** Повышение точности обработки маложестких валов на станках с ЧПУ / А. Б. Лолаев // Вестник машиностроения. – 2021. – № 4. – С. 45–49.
6. **Никольский, О. К.** Интеллектуальные системы управления электротехническими комплексами / О. К. Никольский, Н. П. Воробьев. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2024. – 212 с.
7. **Панкратов, П. А.** Применение нейронных сетей для оптимизации режимов резания / П. А. Панкратов, С. В. Сергеев // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 8. – С. 12–15.
8. **Ратмиров, В. А.** Управление станками гибких производственных систем / В. А. Ратмиров. – Москва : Машиностроение, 1987. – 272 с.
9. **Сосонкин, В. Л.** Программное управление технологическим оборудованием / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – Москва : Машиностроение, 2005. – 512 с.
10. **Шитиков, А. Н.** Моделирование процесса обработки нежестких деталей в условиях автоматизированного производства / А. Н. Шитиков // СТИН. – 2023. – № 2. – С. 30–34.

УДК 677.051.125.272

**Н.Ю. Новожилов, И.М. Беспалова**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬЕРНОГО КОМПЛЕКТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАМИДНЫХ НИТЕЙ В СИСТЕМЕ КОМПАС-3D**

*В статье описывается использование системы КОМПАС-3D для решения задачи автоматизированного проектирования фильерного комплекта для формования полиамидной нити. Приведено описание последовательности действий конструктора при получении трехмерной модели фильерного комплекта.*

**Ключевые слова:** фильерный комплект, автоматизированное проектирование

**N.Y. Novozhilov, I.M. Bespalova**

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

### **DESIGNING OF THE SPINNERET SET FOR FORMING POLYAMIDE FIBER IN THE КОМПАС-3D SYSTEM**

*This article describes the use of the КОМПАС-3D system to solve the problem of computer-aided design of the spinneret set for forming polyamide fibers. The description of the sequence of actions of the constructor for obtaining the 3D-model of the spinneret set is presented in the article.*

**Keywords:** spinneret set, automatized engineering.

Фильерные комплекты предназначены для закрепления фильеры в рабочем положении, для равномерного распределения потока расплава, подаваемого дозирующим насосом, по всей поверхности фильеры, а также для окончательной очистки расплава от посторонних примесей перед формованием нитей.

В состав фильерного комплекта входит гильза, в которую закладывают фильеру, металлические фильтрующие сетки, опорную решетку, корпус с отверстием для подачи расплава и крышку с нажимными болтами, которые предназначены для уплотнения деталей фильерного комплекта.

Количество расплава полимера, проходящее через фильерный комплект, определяется видом формуемой нити и частотой вращения привода дозирующего насоса, который создает необходимое давление расплава.

Расплав полимера из расплавопровода поступает в корпус фильерного комплекта, проходит через фильтрующий материал, фильтрующие сетки и отверстия опорной решетки. Затем расплав продавливается через капилляры фильеры с образованием тонких струек, которые на выходе из фильеры под воздействием потока воздуха в обдувочной шахте охлаждаются и затвердевают, образуя элементарные нити.

Корпус предназначен для присоединения фильерного комплекта к расплавопроводу формовочной машины и для подвода расплава к фильере. Фильтрующий материал, помещаемый внутри корпуса, задерживает сгустки расплава, не допуская их поступления к капиллярам фильеры. Опорная решетка поддерживает фильтрующий пакет и разгружает фильеру.

Фильера является наиболее ответственным элементом фильерного комплекта. Фильеры для формования полиамидных нитей представляют собой пластины из коррозионно-стойкой стали, в которых выполнены формующие отверстия (капилляры) [1].

Разработка конструкции фильерного комплекта предполагает использование современных компьютерных технологий автоматизированного проектирования и систем инженерных и научных расчетов для поиска оптимальных конструктивных решений и компьютерного моделирования.

В данной статье описан порядок разработки 3D-моделей и конструкторской документации фильерного комплекта для полиамидной нити с использованием системы КОМПАС-3D.

Расчет конструктивных параметров элементов конструкции выполняется на ЭВМ в системе MATLAB. По результатам работы программы получены параметры круглой фильерной пластины, определены размеры капилляров, а также выполнено равномерное распределение капилляров по концентрическим окружностям. Наружный диаметр фильерной пластины составляет 160 мм, толщина

пластины – 25 мм, количество капилляров – 280, диаметр капилляра 0,25 мм, капилляры фильеры расположены на девяти concentрических окружностях.

Разработка конструкции начинается с построения 3D-модели фильеры. Для построения фильерной пластины строится эскиз в виде окружности, диаметр которой составляет 160 мм (рис. 1). Затем с использованием операции «Выдавливание» формируется круглая пластина толщиной 25 мм.

На поверхности полученной пластины строится эскиз concentрических канавок (рис. 2), в которые поступает расплав полимера. Канавки формируются с помощью операции «Вырезать выдавливанием».

На дне канавок располагаются направляющие отверстия для расплава полимера, которые имеют цилиндрическую форму и соединяются с капиллярами переходными конусами. Построение направляющих отверстий и капилляров осуществляется с помощью операций «Отверстие» и «Массив по concentрической сетке», как показано на рис. 3. Готовая 3D-модель фильеры представлена на рис. 4.

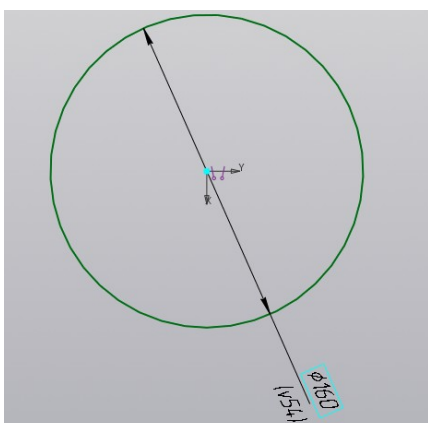


Рис. 1. Эскиз фильеры

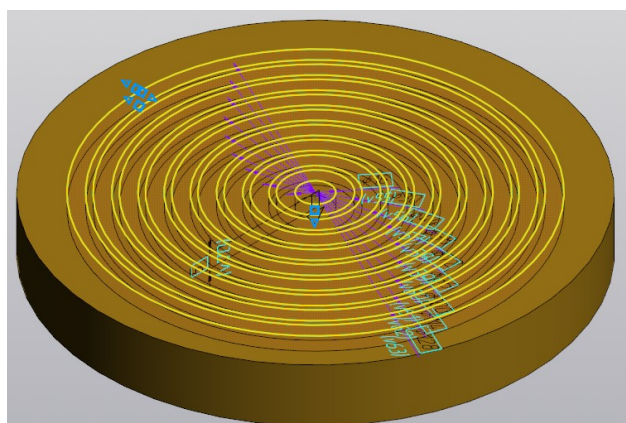


Рис. 2. Эскиз канавок

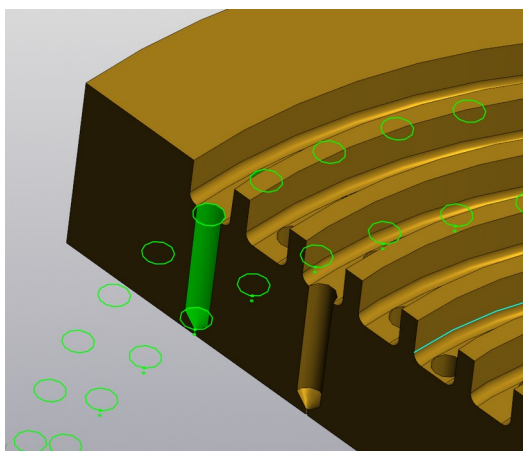


Рис. 3. Построение отверстий

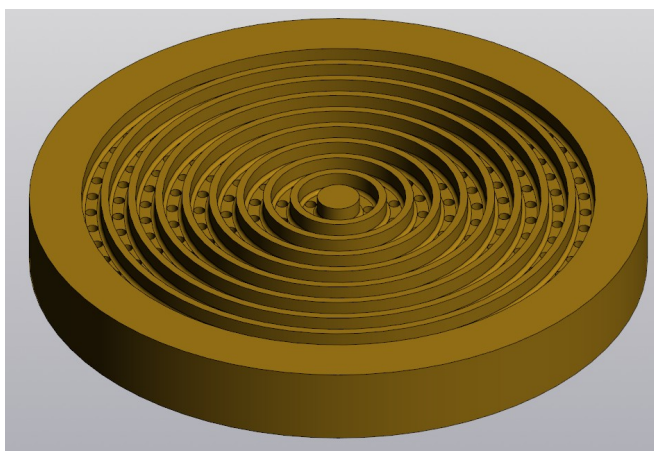


Рис. 4. 3D-модель фильеры

Для разработки 3D-модели гильзы создается эскиз, представленный на рис. 5. Эскиз строится по размерам, полученным в ходе расчета параметров фильерного комплекта с учетом необходимости размещения внутри гильзы основных элементов конструкции: фильеры, фильтрующих сеток, опорной решетки, корпуса и крышки. В нижней части гильзы имеется внутренний кольцевой выступ, на который опираются элементы фильерного комплекта.

Для полученного эскиза выполняются операции «Элемент вращения» и «Фаска». В стенках верхней части гильзы выполнены прямоугольные прорезы для прохода выступов корпуса и крышки при сборке фильерного комплекта. Результат построения 3D-модели гильзы показан на рис. 6.

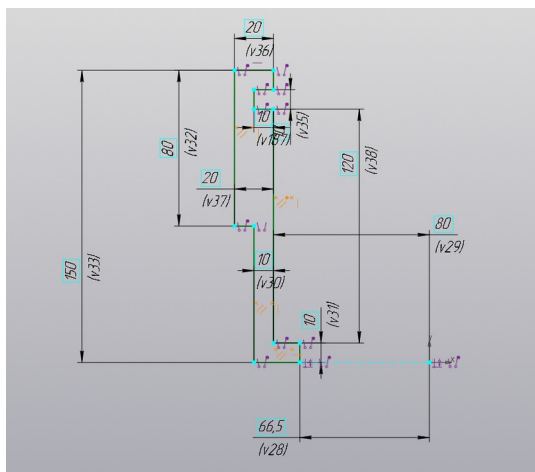


Рис. 5. Эскиз гильзы

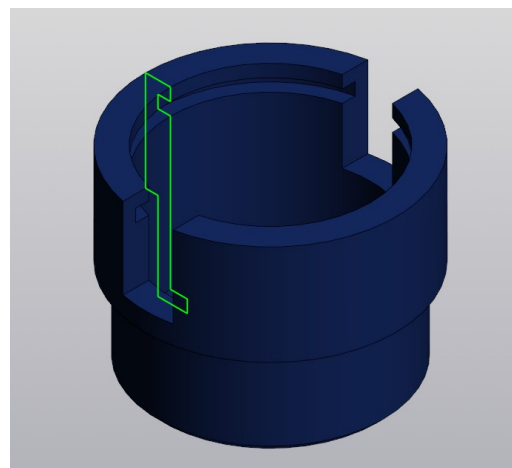


Рис. 6. 3D-модель гильзы

Опорная решетка представляет собой круглую перфорированную пластину. Отверстия решетки выполняются с фасками с целью увеличения площади активной поверхности решетки, обращенной к фильтрующей сетке. По эскизу, представленному на рис. 7 с использованием операции «Выдавливание» формируется круглая пластина диаметром 160 мм, на поверхности которой формируются отверстия. 3D-модель опорной решетки представлена на рис. 8.

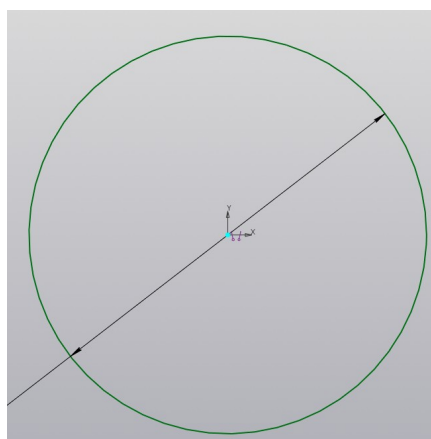


Рис. 7. Эскиз опорной решетки

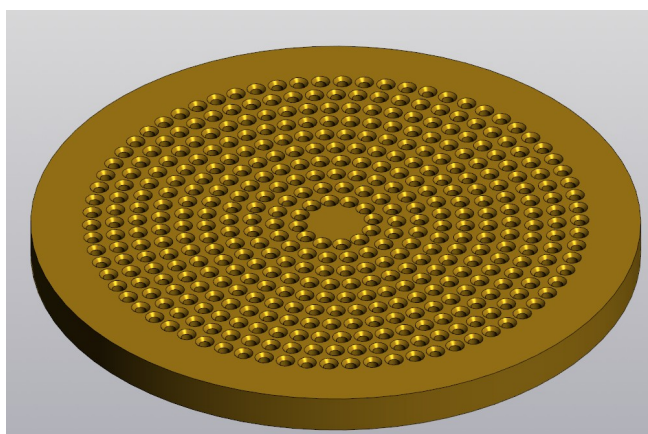


Рис. 8. 3D-модель опорной решетки

Фильтрующие сетки изготавливают из коррозионно-стойкой стальной проволоки с оправой из алюминия по контуру. Наружный диаметр сетки соответствует наружному диаметру фильеры.

3D-модель фильтрующей сетки разрабатывается по эскизу оправы, изображенному на рис. 9. Для построения оправы используются операции «Элемент вращения». Затем строится условная модель сетки с помощью операции «Элемент выдавливания». Полученная 3D-модель представлена на рис. 10.

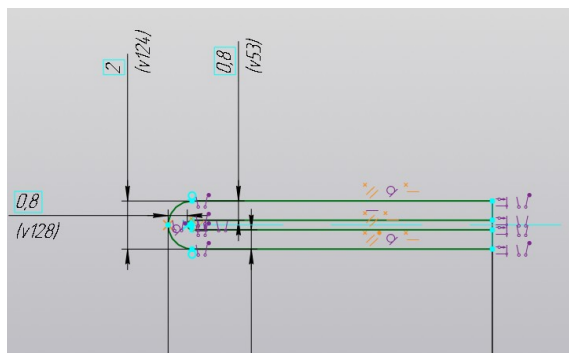


Рис. 9. Эскиз оправы для сетки

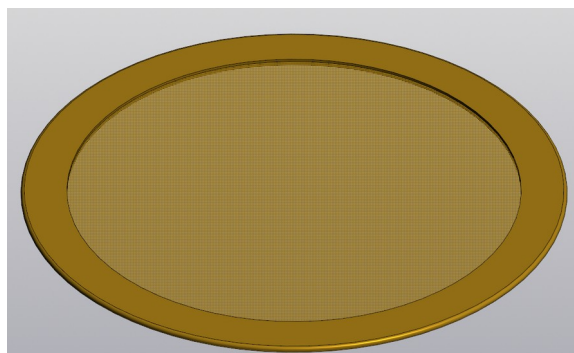


Рис. 10. 3D-модель сетки

Разработка 3D-модели корпуса начинается с создания эскиза, представленного на рис. 11. Затем с использованием операции «Элемент вращения» получается форма корпуса. После этого с помощью операции «Касательная плоскость» строятся эскизы выступов корпуса (рис. 12) с двух сторон, в одном из выступов формируется отверстие для подачи расплава от расплавопровода. Готовая 3D-модель корпуса в разрезе представлена на рис.13.

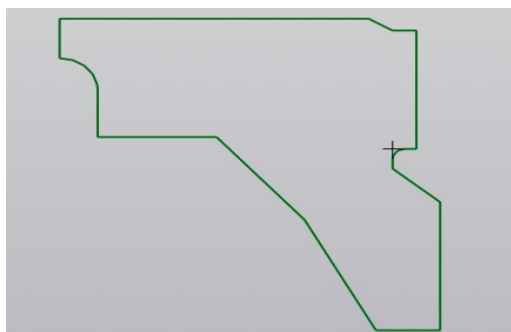


Рис. 11. Эскиз корпуса

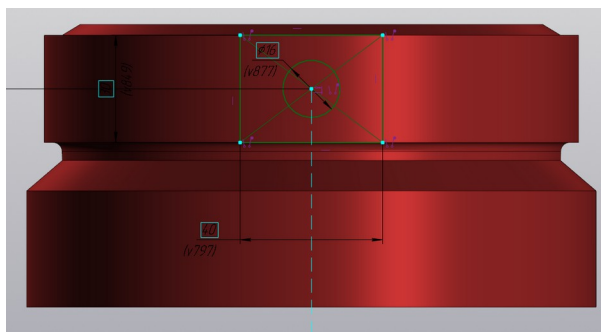


Рис. 12. Эскиз выступов корпуса

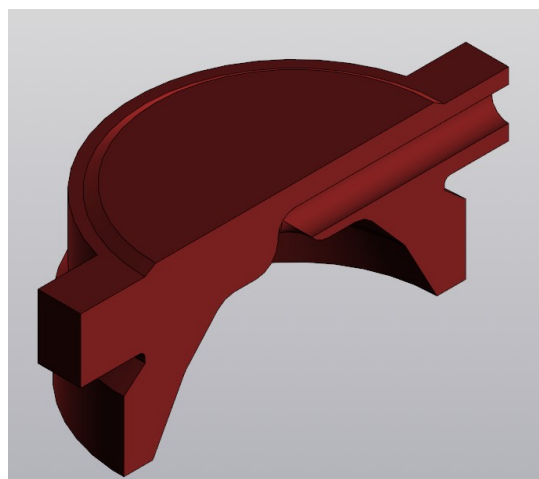


Рис. 13. 3D-модель корпуса в разрезе

Построение детали крышка начинается с эскиза, представленного на рис. 14. Деталь имеет байонетный способ соединения с гильзой, поэтому на ней присутствуют выступы, которые заходят в прорези и кольцевую канавку гильзы при сборке. С помощью операции «Элемент выдавливания» формируется поверхность крышки, на которой ней строится эскиз выступа. Выступ формируется с помощью операции «Элемент выдавливания». Отверстия под крепежные болты выполняются с помощью операции «Отверстие» и «Массив по концентрической сетке» (рис. 16). Готовая модель представлена на рис. 17.

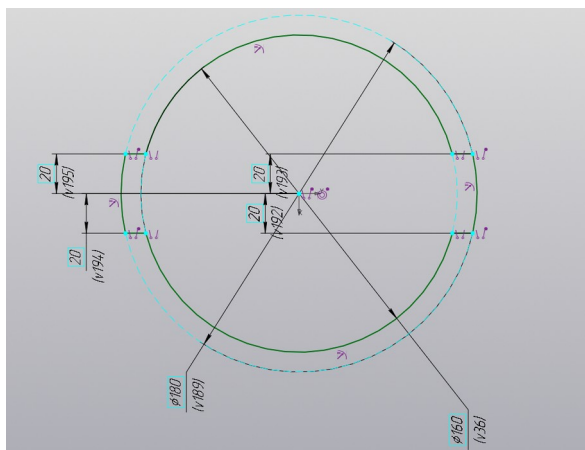


Рис. 14. Эскиз крышки

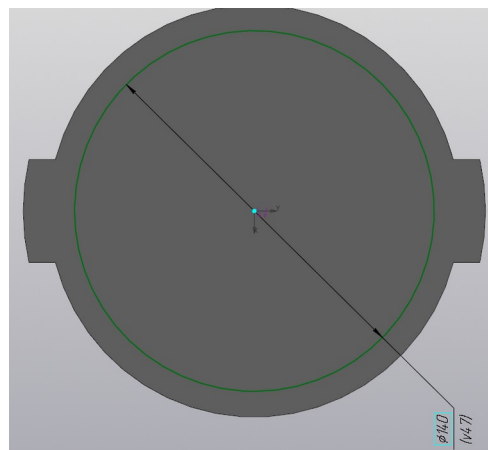


Рис. 15. Эскиз выступа на крышке

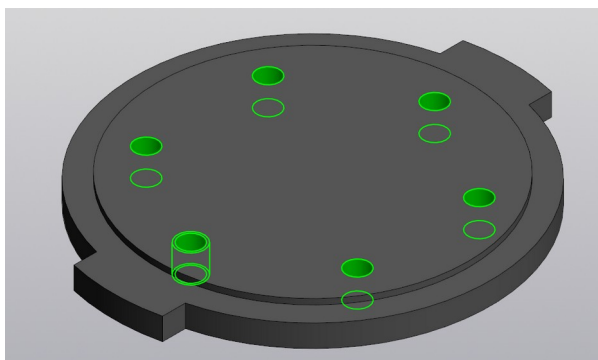


Рис. 16. Построение отверстий под болты

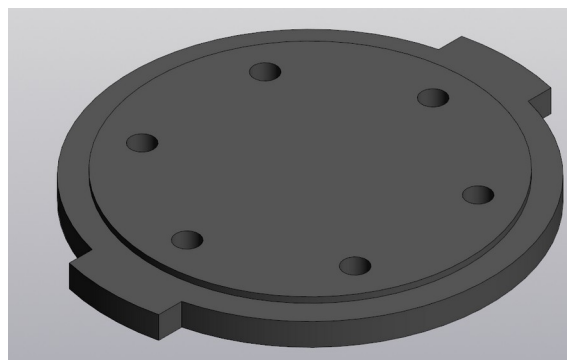


Рис. 17. 3D-модель крышки

После разработки 3D-моделей деталей фильерного комплекта строится 3D-модель сборки. Для построения сборки создается файл «Сборка» и с использованием команды «Добавить компонент из файла» добавляются разработанные детали.

Вначале добавляется деталь «Гильза». Затем добавляется деталь «Фильера», которая с помощью операции «Совпадение» и «Соосность» устанавливается на внутренний кольцевой выступ в нижней части гильзы. Аналогично над фильерой устанавливаются фильтрующая сетка, опорная решетка и вторая фильтрующая сетка. Сверху добавляется деталь «Корпус». Крышка с помощью операции «Совпадение» и «Соосность» устанавливается выступами в канавку гильзы.

Затем с помощью команды «Справочник стандартных изделий» добавляются крепежные изделия с использованием сопряжения «Совпадение» к поверхности корпуса и сопряжения «Соосность» к отверстиям крышки. Готовая сборка фильерного комплекта в разрезе показана на рис. 18.

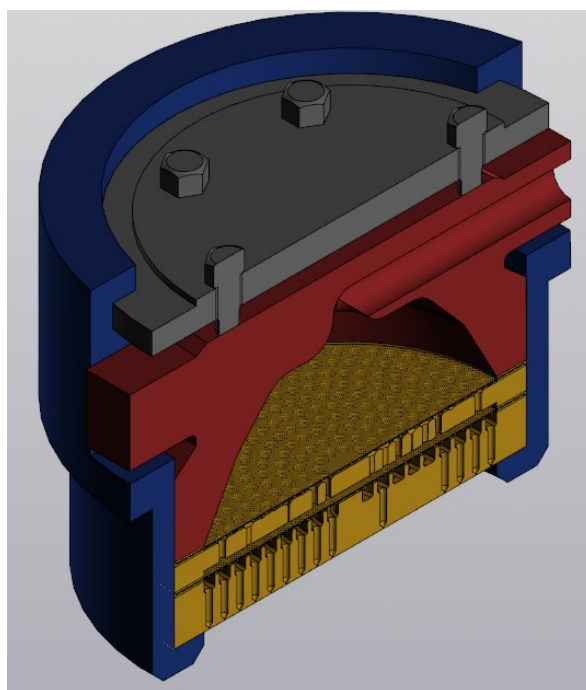


Рис. 18. Сборка фильерного комплекта

Применение автоматизированного проектирования при разработке конструкций фильерных комплектов позволит сократить затраты средств и времени на проектирование. Результаты работы могут быть использованы при разработке и модернизации оборудования для производства химических волокон из расплавов полимеров.

#### Список литературы

1. Прошков А.Ф. Расчет и проектирование машин для производства химических нитей и волокон. М.: РИО МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2001. 497 с.
2. Герасимов А. А. Самоучитель КОМПАС-3D V23. СПб.: БХВ-Петербург, 2025. 672 с.с.

### References

1. Proshkov A.F. Raschet i proektirovanie mashin dlja proizvodstva himicheskikh nitej i volokon [Calculation and design of machines for the production of chemical filaments and fibers]. M.: RIO MGTU im. A.N.Kosygina, 2001. 497 pp. (in Rus.).
2. Gerasimov A. A. Samouchitel' KOMPAS-3D V23 [Self-instruction manual KOMPAS-3D V23]. SPb.: BKHV-Peterburg, 2025. 672 pp. (in Rus.).

Научное издание

# **ПРОМТЕХДИЗАЙН**

**Естественные и технические науки**

Сборник статей всероссийской научной конференции  
молодых ученых с международным участием  
Часть 2

Оригинал-макет подготовил А. М. Шванкин

Подписано в печать \_\_. \_\_. 2026 г. Формат 60×84 1/16.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 16,5. Тираж 125 экз. Заказ 172

Электронный адрес: [imn\\_dni\\_nauki@sutd.ru](mailto:imn_dni_nauki@sutd.ru)

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»  
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26