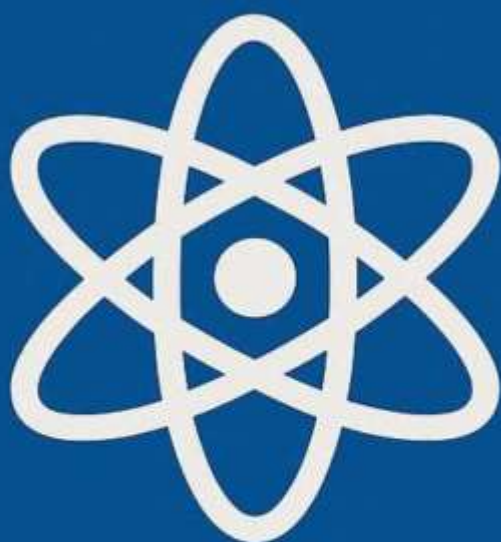


ПРОМТЕХДИЗАЙН

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 3

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 3 / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026. – 243 с.

ISBN 978-5-7937-3000-6

ISBN 978-5-7937-2998-7

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 978-5-7937-2998-7

УДК 009+67/68(063)

ББК 6/8+37.2я43

© ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

А.О. Орлова АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СКРЕПЛЕНИЯ КАРТОННОЙ УПАКОВКИ	7
Н.В. Рокотов, А.С. Козачук СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМ БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ	13
Д.Х. Туан, Н.В. Рокотов ПРОЦЕСС ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЛИСТРУКТУРНОГО НАМОТОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ	19
А.Э. Козлов, Б.С. Михайлов ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ	24
Д.А. Стыдненко, Т. Н. Буторова, И.А. Прохорова, Н.С. Цыбизова ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ШПАЛЕРНОГО ТКАЧЕСТВА. ОТ ШПАЛЕРЫ ДО ТАПИСЕРИЙ	29
А.С. Николаева ВЫШИВАЛЬНЫЕ НИТКИ И ИХ СВОЙСТВА	36
Смирнов Г.П., Гусарова А.С. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ ПЛЕНКИ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ВТОРИЧНОЙ ПОДЛОЖКИ ТАФТИНГОВОГО НАПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ	43
А.П. Акулов, Т.Л. Егорова ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ	49
И.А. Букшин, Т.Л. Егорова ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ	54
И.А. Букшин, В.Ю. Иванов ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СКЛАДСКИХ ОПЕРАЦИЙ	58
А.В. Буслаева, Т.Л. Егорова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ RPA И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТРУКТУРИРОВАННОЙ И НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	63
Гаммель Я.В., Егорова Т.Л. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	68
Гаммель Я.В., Энтин В.Я. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОВОЙ КАМЕРЕ	75
А.Д. Кезь, Т.Л. Егорова РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ И ЗАДЫМЛЕНИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO С SMS-УВЕДОМЛЕНИЕМ	79

ОГЛАВЛЕНИЕ

А.Д. Кезь, В.Ю. Иванов РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО РОБОТА ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА И РАЗМЕЩЕНИЯ ПАЛЛЕТ НА СКЛАДЕ	84
И.С. Луцкан, Т.Л. Егорова ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЛАДИЛЬНОГО ПРЕССА ДЛЯ ВЛАЖНО-ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ	88
И.С. Луцкан РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ВТО ОДЕЖДЫ НА ГЛАДИЛЬНОМ ПРЕССЕ	92
Е.М. Любичкая, В.Ю. Иванов РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА БАЗЕ ИК-ПРИЕМНИКА	96
А.Э. Мужипова, Т.Л. Егорова ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	101
Пастухов М.В., Егорова Т.Л. ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АСИММЕТРИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА	110
Пресняков В.В., Энтин В.Я. МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭВАКУАЦИИ ПОСТРАДАВШИХ В ЗОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	114
Н.А. Солонуха, Т.Л. Егорова СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (MOTION CONTROL) В ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ: ИНЖИНИРИНГ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПРИВОДОВ	120
А.Г. Черданцев, А. Б. Кикин О ПРИМЕНЕНИИ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ВЫСОКИХ КЛАССОВ ДЛЯ ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	125
Шубин Д.Э., Егорова Т.Л. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ПРОМЫШЛЕННОМ ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ (IIOT)	130
Н.Н. Голубцов, Н.И. Пригодина, Е.М. Ермолаева РАЗРАБОТКА ХУДОЖЕСТВЕННОГО ПРОЕКТА АВТОРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРИКОТАЖА	134
В.А. Ежевская, Е.М. Ермолаева ХУДОЖЕСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ АРТ-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИНТЕРЬЕРА	146
Е.А. Мохова, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРНАМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН	155
В.О. Акимова, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева РАЗРАБОТКА КОЛЛЕКЦИИ ТРИКОТАЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ КИТАЙСКОЙ СИМВОЛИКИ	164

ОГЛАВЛЕНИЕ

Л.С. Хозяйкина, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева РАЗРАБОТКА КОЛЛЕКЦИИ ТРИКОТАЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ УДМУРТСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОСТЮМА	173
П.А. Поплавская, Н.А. Мальгунова Название не определено	182
П.В. Никитина, С.В. Макаренко ИССЛЕДОВАНИЕ РИСУНЧАТЫХ	185
Е.А. Соколова, О.А. Вигелина РАЗРАБОТКА ФОРМЫ ИЗДЕЛИЯ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖА	190
С.Д. Ермолаева ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕДИАСФЕРЕ	196
Д. Г. Стасюк, В. Ю. Антонова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СТИХОТВОРНЫХ ТЕКСТОВ	201
Е.М. Сочина, Е.И. Чалова ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ЖКХ	205
Г.Д. Набиев, Г.А. Зюганов СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕРМИНОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	209
Е.М. Сочина, Е.И. Чалова РАЗВИТИЕ УМНЫХ ГОРОДОВ: ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ	214
С. Н. Шемякова, А. С. Гусев СОСТАВ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ	220
С.А. Ковалёв, С.Н. Гугняева СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ (F1J) И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ (LLM) ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ КОНФЛЮЭНТНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРЫ	225
К.О. Белоусова, Е.В. Бызова ИНФОРМАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРЁХ ТРАДИЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ МАТРЕШЕЧНОГО ЦЕНТРА: КОДЫ РОСПИСИ И ФОРМЫ	233
И.В. Дербин, Е.Н. Дресвянина СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ТРЕБОВАНИЙ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕ	238

УДК 676.826

А.О. Орлова

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

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СКРЕПЛЕНИЯ КАРТОННОЙ УПАКОВКИ

© А.О. Орлова

В статье приведены результаты анализа технологии клеевого скрепления картонной упаковки, определены наиболее важные этапы формирования клеевого шва на фальцевально-склеивающих машинах. Рассмотрены основные виды разрывов клеевого соединения при склеивании двух волокнистых материалов. Определен вид разрыва, при котором скрепление считается прочным. Выделены и проанализированы основные факторы, влияющие на прочность клеевого скрепления, даны рекомендации для их комплексной оценки.

Ключевые слова: клеевое скрепление, картонная упаковка, клеевая композиция, впитывание, шероховатость

A.O. Orlova

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

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE ADHESIVE BOND STRENGTH OF CARDBOARD PACKAGING

The article presents an analysis of the adhesive bonding technology for cardboard packaging, identifying the most critical stages in forming the adhesive joint on folding-gluing machines. The primary types of adhesive joint failures during the bonding of two fibrous materials are examined. The type of failure at which the bonding is considered strong is determined. The main factors influencing the strength of the adhesive bonding are identified and analyzed, and recommendations are provided for their comprehensive evaluation.

Keywords: adhesive bonding, cardboard packaging, adhesive, penetration, roughness

Введение

В настоящее время происходит значительная переориентация фокуса полиграфической отрасли на производство широкого спектра различных видов упаковки. Упаковка во многом является функциональным изделием, основная цель которого - защита, хранение и удобная транспортировка помещенной в нее продукции. Следовательно, особое внимание при проектировании и производстве упаковки уделяется ее прочностным и эксплуатационным характеристикам. В связи с этим появляется огромное количество новых материалов и оборудования, совершенствуются технологии, а с ними – растут требования к качеству.

Значительную часть упаковочной продукции составляет картонная упаковка, одной из основных операций производства которой является операция склейки. На прочность клеевого скрепления оказывает влияние целый комплекс факторов, таких как: тип клеевой композиции, свойства картона, особенности используемых технологических процессов (вид печати и послепечатной обработки), а также агрегаты, которые способны эффективно реализовать процесс склеивания.

При оценке качества сформированного изделия в целом на первый план выходят его механические свойства (прочностные и деформационные), которые должны учитывать в том числе анизотропию свойств используемых материалов. Поэтому целью данной статьи является выявление особенностей оценки качества клеевого соединения волокнистых материалов водно-дисперсионной клеевой композицией. В статье проведен анализ технологии клеевого скрепления картонной упаковки на фальцесклеивающих линиях, рассмотрены факторы, которые могут оказывать влияние на прочность клеевого скрепления, выделены основные моменты, которые необходимо учитывать при разработке комплексной методологии и оборудования для оценки качества клеевого скрепления.

Анализ технологии клеевого скрепления картонной упаковки

По ГОСТу 33781–2016 упаковку в зависимости от способа скрепления элементов конструкции и способов сборки можно разделить на две большие группы: требующие склейки и самосборные [1].

Самосборные коробки не требуют склейки, технология их создания может включать в себя всего два этапа: печать и вырубку. В процессе вырубki с помощью вырубных ножей изделие приобретает определенную форму, а с помощью биговальных линеек на материале создаются прямолинейные бороздки, облегчающие последующее складывание и сборку коробки.

Большую часть картонной упаковки составляют коробки со склейкой, которые можно классифицировать по количеству участков (точек), на которые наносится клей. Основным преимуществом склеенных картонных коробок является прочность конструкции, простота сборки, скорость фасовки. При этом для производства таких коробок требуется дополнительная послепечатная операция, а именно – фальцесклейка, во время которой вырубленное изделие подвергается предварительной фальцовке (сгибанию) по местам биговок, а затем на боковой шов-клапан наносится клеевая композиция, после чего происходит финальная фальцовка с формированием клеевого шва и прессование. Операция фальцесклейки производится на специальных фальцевально-склеивающих машинах (ФСМ) [2], которые представляют собой конвейерную линию. Готовая картонная коробка упаковывается в сложенном, плоском виде и передается заказчику.

Для облегчения раскрытия и формирования коробок на автоматических фасовочных линиях машинное направление волокна (MD) всегда выбирается перпендикулярно основным фальцам для увеличения жесткости конструкции. Клеевой шов при создании коробок со склейкой за редким исключением формируется внахлест (рисунок 1). На клеевой клапан наносится клей, затем происходит финальная фальцовка и соединение клапана с противоположной стороной картонной заготовки.

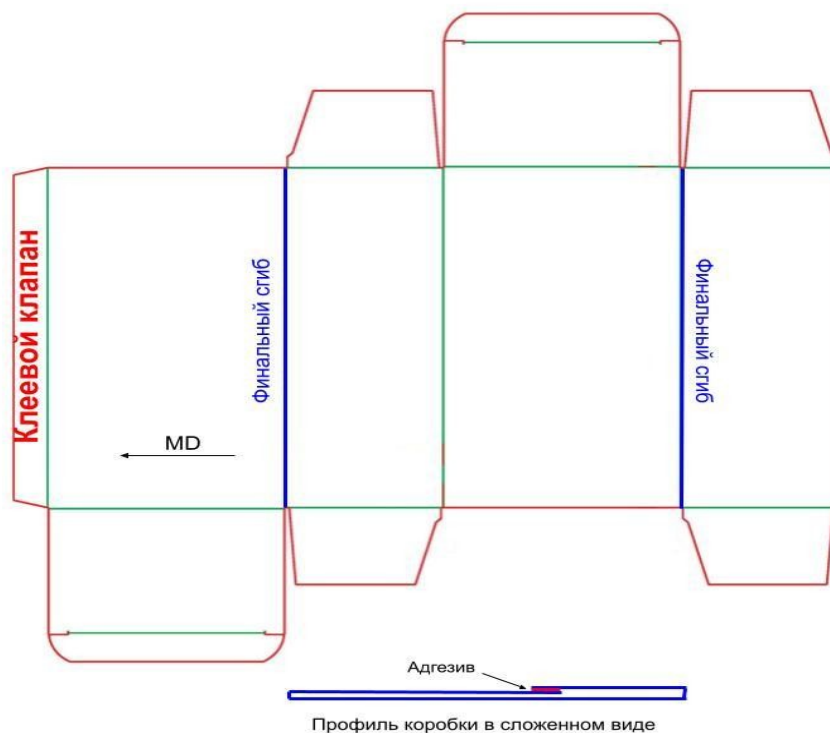


Рис. 1. Крой коробки с одной точкой склейки

В качестве адгезива (рис. 1) при склейке картонных коробок могут использоваться горячие или холодные клеевые композиции. Клеевая композиция подбирается в зависимости от поверхности, которая должна быть склеена.

Встречаются следующие способы нанесения клея в ФСМ:

- с помощью диска;
- с помощью форсунки или сопла.

При нанесении с помощью диска последний «купаются» в клеевой ванне и наносит полосу клеевой композиции на клапан. Верхний прижимной ролик создает давление, для обеспечения нанесения клея на материал. Анализ технических характеристик различных видов фальцесклеивающих машин, показал, что для нанесения клея используются диски толщиной 3–5 мм, гладкие или с насечками. При увеличении ширины диска, очевидно, увеличивается клееперенос и, следовательно, расход клея.

Дисковая система в ФСМ используется для нанесения холодного клея. Кроме диска, клей можно наносить с помощью форсунок, то есть путем распыления капель. При этом форсунки можно настроить на

определенный размер капли и различную длину клеевой дорожки. Форсуночная или сопловая система может быть использована для нанесения как холодного, так и горячего клея.

Завершающий этап процесса фальцесклейки - усиленное прессование. Секция прессования представляет собой транспортер, состоящий из двух резинотканевых лент, между которыми зажимаются склеенные коробки. Финальное прессование необходимо для лучшего распределения клея в клеевом клапане, обеспечения времени для частичного впитывания растворителя и образования прочного клеевого соединения.

Анализ факторов, влияющих на прочность клеевого скрепления

Говоря о прочности картонной коробки, имеющей точки склейки, в первую очередь имеют в виду прочность клеевого шва, то есть клеевого соединения. Клеевое соединение – это процесс, при котором две поверхности прочно соединяются друг с другом с помощью адгезива (клея). В процессе склеивания вначале происходит схватывание, которое характеризуется временем, прошедшем от момента нанесения клея на поверхность материала до образования достаточно прочного их соединения без самопроизвольного разъединения. Полное закрепление происходит при переходе клея в прочное твёрдоэластическое состояние [3]. Прочность клеевого соединения зависит от сил адгезии между клеем и поверхностью и сил когезии внутри материала.

В связи с тем, что картон, наиболее часто представляет собой многослойный материал с одно- или двухсторонним мелованием разрушение клеевого соединения может происходить по четырем сценариям (рис. 2):

- адгезионный разрыв: разрыв сцепления между клеем и склеиваемым материалом;
- когезионный разрыв: разрыв внутри адгезива;
- разрыв по волокну: разрушение одного из двух склеиваемых материалов;
- смешанный. [4]

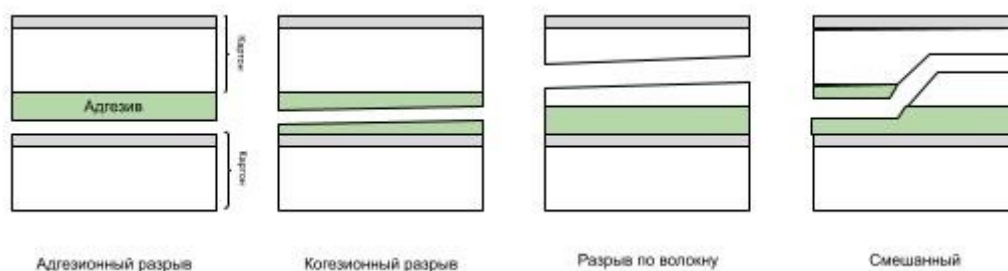


Рис. 2. Виды разрывов клеевого соединения двух картонов одностороннего мелования

Критерием оценки прочности клеевого скрепления является многофакторная оценка процесса разрушения клеевого шва. При хорошем клеевом соединении двух волокнистых материалов разрыв должен происходить по волокну при определенном усилии.

Многие авторы научных работ (например Дор Ц. А. и Хирн У.) отмечают, что механизм формирования прочного клеевого соединения пористых волокнистых материалов, является достаточно сложным, так как необходимо учитывать множество дополнительных параметров, например шероховатость поверхности, смачиваемость, проникновение клея в субстрат и т.д. Анализируя технологию клеевого скрепления картонной упаковки, можно сделать предварительный вывод, что наиболее важными факторами для достижения качественной склейки являются:

- тип адгезива (клеевой композиции);
- характеристики целевого материала (картона);
- виды печати и послепечатной обработки поверхностей;
- параметры ФСМ.

Клеевые композиции. Для обеспечения прочного скрепления картона клеевые композиции должны хорошо смачивать материал и обладать достаточно высокой адгезией, т.е. образовывать пленку, прочно соединенную со склеиваемыми материалами (обладать клеящей силой). Наиболее распространенными клеевыми композициями, используемыми для скрепления картонной упаковки, являются дисперсии поливинилацетата (ПВАД), этиленвинилацетата (ЭВАД), а также клеевые композиции на основе синтетических смол.

Все вышеперечисленные адгезивы являются водными дисперсиями, то есть растворителем является вода. В связи с этим особенно остро встает вопрос вязкости. Клей должен быть достаточно жидким для оптимального дозирования, но при этом должен иметь достаточное содержание сухого остатка для формирования устойчивой пленки. Кроме этого, повышенное содержание воды в клеевой композиции может приводить к нарушению механической прочности картона, расслаиванию и снижению прочности клеевого шва. Исходя из этого, при проектировании клеенаносящей системы для лабораторного

оборудования следует обратить внимание не только на параметры клеенаносящего диска, но и обеспечить закрытую клеевую ванну для предотвращения испарения воды и повышения вязкости клея.

Упаковочные картоны. Как уже упоминалось выше, картон — это многослойный гидрофильный волокнистый материал, который может состоять из нескольких слоев. Анализируя механизмы формирования клеевого шва и свойства адгезива выделяют несколько важных параметров данного материала, а именно:

- впитываемость;
- гладкость (шероховатость);
- влагопрочность;
- механическая прочность.

Впитываемость, или проникновение клея, имеет важное значение для процесса склеивания на двух этапах: во-первых, хорошее впитывание обеспечивает прочное сцепление, поскольку увеличивается площадь поверхности склеивания, во-вторых, волокнистая структура бумаги укрепляется за счет связующего [5]. На впитывающую способность картонов влияет их состав по волокну, а также степень проклейки. По составу волокна различают 3 основных типа картонов: чистоцеллюлозный, древесномассный (с содержанием древесной массы) или по-другому из первичных волокон и макулатурный (с содержанием вторичного сырья) [6]. Различные типа волокна имеют различную скорость набухания, что может влиять на процесс склеивания.

На гладкость поверхности картона оказывается влияние степень размола волокон, а также наличие или отсутствие мелованного слоя. В основной литературе по склеиванию подчеркивается, что шероховатая поверхность увеличивает площадь склеивания и способствует механическому сцеплению с клеем, что одновременно усиливает сцепление. Клей заполняет углубления, проникает в поры склеиваемого материала и волокон и, затвердевая, образует связанную систему [7]. Однако, в некоторых публикациях указывается, что шероховатая поверхность способствует разрушению основы, то есть при разрыве разрушение основы происходит со стороны картона с меньшей гладкостью.

Влагопрочность – это способность бумаги сохранять прочность при увлажнении. Как отмечалось выше, при нанесении водно-дисперсионной клеевой композиции происходит процесс впитывания растворителя (воды) в поверхность картона. Этот процесс состоит из двух этапов: увлажнение поверхности и набухание волокна. При этом может происходить снижение прочности картона и его расслаивание. Для оценки изменения прочностных свойств картона при увлажнении может применяться метод сопоставления результатов измерения прочности на разрыв картона с нормальной влажностью и после воздействия влаги.

Прочностные свойства или механические свойства картона, которые могут оказывать влияние на прочность клеевого скрепления – это прежде всего прочность на разрыв, сопротивление раздиранию и прочность к расслаиванию. Прочностные свойства картона определяются его составом по волокну, степенью проклейки, массой 1м^2 и толщиной. С увеличением массы 1м^2 прочность увеличивается. Прочностные свойства, особенно прочность на разрыв и раздирание, отличаются в зависимости от направления волокна в машинном направлении они обычно выше, чем в поперечном. Как уже отмечалось выше, клеевой шов, как правило, формируется перпендикулярно машинному направлению, следовательно, при разработке методологии и оценки прочности готовой упаковки следует обратить особое внимание на результаты именно в этом направлении.

В связи с тем, что формирование клеевого соединения происходит с помощью водно-дисперсионной клеевой композицией можно предположить, что при выборе материала для упаковки следует опираться на сорбционные свойства, представленные производителем. Однако, взаимодействие пары «картон/вода» не является тождественным взаимодействию пары «картон/клеевая композиция», что необходимо учитывать при разработке комплексной методологии оценки прочности клеевого скрепления.

Виды печати и послепечатной обработки поверхностей. Важно учитывать, что на адгезию клея к картону могут оказывать влияние используемые виды печати, применяемые краски и различные виды отделки. Наличие в области клеевого шва масляной краски, различных видов лака или ламинационного покрытия существенно изменяют поверхность материала, что может негативно влиять на прочность клеевого шва и приводить к адгезионному разрыву. Этот фактор учитывается при производстве упаковки: клеевой клапан, как правило, не покрывается краской или лаком, а при наличии ламинационной пленки выполняется перфорация или коронирование места склейки. С одной стороны, казалось бы, можно не учитывать данный фактор при разработке комплексной методологии оценки прочности клеевого скрепления картонной упаковки и использовать в качестве образцов чистый картон без печати. С другой стороны, было бы интересно и полезно оценить степень влияния данных факторов.

Параметры ФСМ. Последняя группа факторов, которые могут оказывать влияние на прочность клеевого скрепления – это технологические параметры процесса фальцесклейки. В первую очередь – это способ нанесения клея. При нанесении клея с помощью диска появляются такие дополнительные параметры как: ширина клеевого слоя, толщина клеевого слоя, внешнее воздействие. При этом возникает

вопрос о влиянии количества наносимого клея на прочность клеевого шва. Опрос работников типографий показал, что при выборе вида диска и количества наносимого клея чаще всего опираются на эмпирические данные, а не на какую-то конкретную методологию. При проведении эксперимента в лабораторных условиях необходимо тщательно контролировать количество наносимого клея и равномерность усилия прижима. Клей, нанесенный под действием внешнего давления, может больше растекаться по поверхности бумаги и быстрее проникать в нее [5], что может повлиять на результаты исследования.

Другим важным параметром технологического процесса клеевого скрепления картонной упаковки является финальное прессование. Следует обратить внимание на то, что образование устойчивого фальца в поперечном направлении затруднительно даже с учетом биговки, так как волокна картона под действием сил упругости будут стремиться вернуться в исходное состояние и для закрепления деформации изгиба требуется длительное прессование. Так как машинное направление волокна перпендикулярно клеевому шву, силы упругости при недостаточной адгезии могут приводить к адгезионному разрыву клеевого соединения при первичном схватывании. Таким образом, за время, которое склеенная коробка проходит через прижимной транспортер, растворитель из клея должен успеть впитаться в картон, а связующее обеспечить достаточную адгезию и механическое сцепление волокон бумаги. Однако скорость движения транспортера секции усиленного прессования не регламентирована, а влияние ее на качество склейки достаточно не изучено.

Заключение

В статье рассмотрена и проанализирована технология клеевого скрепления картонной упаковки. Выявлены основные этапы формирования клеевого шва, а именно: предварительная фальцовка, нанесение клея, финальная фальцовка и усиленное прессование. Отмечено, что каждый из перечисленных этапов оказывает влияние на формирование клеевого шва. Важным фактором, влияющим на прочность клеевого скрепления, являются технологические режимы нанесения клея: ширина клеевой полоски, толщина клеевого слоя, внешнее давление. Обязательным этапом является финальное прессование готовой упаковки, необходимое для формирования устойчивого соединения. Отмечено, что при выборе данных параметров операторы оборудования и технологи опираются прежде всего на личный опыт, нежели на конкретную методологию.

Анализ факторов, которые влияют на качество клеевого скрепления волокнистых материалов, свидетельствует об их сложности и многообразии. Важно учитывать не только свойства используемых материалов, но и технологические режимы и конструктивные особенности используемого оборудования.

При разработке методологии и оборудования для оценки качества клеевого скрепления картонной упаковки необходимо применять системный подход.

Научный руководитель: *доцент кафедры Технологии полиграфического производства, доцент, к.х.н. Гнатюк С.П.*

Scientific supervisor: Associate professor of the Printing technology department, docent, PhD Gnatiuk S.P.

Список литературы

- ГОСТ 33781–2016. Упаковка потребительская из картона, бумаги и комбинированных материалов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2016, 38 с.
- Захаржевский, Ю.В. Без единого гвоздя: от заготовки до коробки [Электронный ресурс] // Publish, 2013. URL: https://www.publish.ru/articles/201309_200131 (дата обращения: 01.04.2026)
- Поциус, А. В. Клеи, адгезия, технология склеивания [Текст] / А. В. Поциус ; пер. с англ. Ю. А. Гаращенко ; под ред. Г. В. Комарова. – СПб. : Профессия, 2007. – 373 с.
- Кирван, Марк Дж. (ред.) Упаковка на основе бумаги и картона [Электронный ресурс] / Марк Дж. Кирван (ред.); пер. с англ. – В. Ашкинази; науч. ред. Э. Л. Аким, Л. Г. Махотина // eLIBRARY. – СПб.: Профессия, 2008 – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19612186> (дата обращения: 01.04.2026)
- Dohr C. A., Hirn U. Influence of paper properties on adhesive strength of starch gluing // Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2022, v. 37 (1), P. 120-129
- ГОСТ 7933-89. Картон для потребительской тары. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1990, 11 с.
- Ершова, О.В., Чупрова, Л.В., Муллина, Э.Р., Мишурина, О.А. Технологические решения по улучшению качества адгезии склеиваемых картонов [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – М. 2015. – № 1–1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18922> (дата обращения: 01.04.2026)

References

- GOST 33781–2016. *Upakovka potrebitel'skaya iz kartona, bumagi i kombinirovannykh materialov. Obshchie tekhnicheskie usloviya*. [Consumer package of paperboard, paper and composite materials. General specifications]. М.: Standartinform, 2016, 38 pp. (In Rus.)

2. Zakharzhevskiy, Yu. V. *Bez odinoḡo ḡvozdy: ot zaḡotovki do korobki*. [Without a Single Nail: From Blanks to Boxes] // Publish, 2013. URL: https://www.publish.ru/articles/201309_200131 (date accessed: 01.04.2026)
3. Pozius, A. V. *Klei, adgeziya, tekhnologiya skleivaniya* [Adhesion and Adhesives Technology] / A. V. Pozius; transl. from English by Yu. A. Garashchenko; ed. by G. V. Komarov. – St. Petersburg: Professiya, 2007. – 373 p. (In Rus.)
4. Kirvan, Mark Dzh. (Ed.). *Upakovka na osnove bumagi i kartona* [Paper- and Board-Based Packaging] / Mark Dzh. Kirvan (Ed.); transl. from English by V. Ashkinazi; scientific ed. E. L. Akim, L. G. Makhchina. // eLIBRARY. SPb.: Profession, 2008 – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19612186> (date accessed: 01.04.2026)
5. Dohr C. A., Hirn U. Influence of paper properties on adhesive strength of starch gluing // Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2022, v. 37 (1), P. 120-129
6. GOST 7933-89. *Karton dlya potrebitel'skoy tary. Obshchie tekhnicheskie usloviya*. [Consumer container board. General specifications] M.: IPC Standards, 1990, 11 pp. (In Rus.)
7. Ershova, O. V., Chuprova, L. V., Mullina, E. R., Mishurina, O. A. *Tekhnologicheskie resheniya po uluchsheniyu kachestva adgezii skleivaemykh kartonov* [Technological solutions for improving the quality of adhesion of bonded cartons] // Modern Problems of Science and Education. – M. 2015. – № 1–1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18922> (date accessed: 01.04.2026)

УДК 67.017

Н.В. Рокотов, А.С. КозачукСанкт-Петербургский Государственный университет Промышленных Технологий и Дизайна
191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМ БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

© Н.В. Рокотов, А.С. Козачук, 2026

В статье рассмотрены разновидности гофрированных воздушных фильтров и приведены расчеты их эффективности. Представлены принципиальные чертежи фильтров. Сделаны выводы об оптимальных диаметрах гофрированной шторы. По результатам расчетов определена наиболее эффективная форма гофрирования.

Ключевые слова: воздушный фильтр, качество фильтрации, гофрированные фильтры, эффективность фильтрации, расчет эффективности.

N.V. Rokotov, A.S. KozacukSt. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
18 Bolshaya Morskaya St., St. Petersburg, 191186.**COMPARATIVE ANALYSIS OF PAPER FILTER ELEMENT SHAPES**

The article discusses the types of corrugated air filters and provides calculations of their effectiveness. The basic drawings of the filters are presented. Conclusions are drawn about the optimal diameters of the corrugated curtain. Based on the calculation results, the most effective form of corrugation has been determined.

Keywords: air filter, filtration quality, corrugated filters, filtration efficiency, efficiency calculation.

1. Введение

Фильтрация газовой смеси — это процесс удаления из воздуха или газа твердых частиц, аэрозолей, пыли, а также вредных химических соединений.

Основными методами фильтрации выделяют «сухую» фильтрацию (применяются циклоны и картриджные фильтры), «мокрую» фильтрацию (скрубберы, трубы Вентури), метод абсорбции (скрубберы, абсорберы), метод адсорбции (адсорберы с активированным углем, цеолитами), каталитическую очистку (каталитические реакторы) и электрофильтрация (электрофильтры).

Наиболее распространенный метод это - «сухая» фильтрация. Она особенно эффективна на производствах с большим количеством пыли: цементные заводы, деревообработка, сельское хозяйство, пищевая и химическая промышленность. Такой способ обладает такими преимуществами как отсутствие жидких стоков, простота конструкции, низкие эксплуатационные расходы, меньший риск коррозии оборудования и отсутствия образования шлама и пульпы.

В картриджных фильтрах в процессе фильтрации основную функцию выполняет фильтр-элемент. Важнейшими параметрами такого фильтра является качество очистки, пропускная способность при заданном перепаде давления на фильтрующий элемент и ресурс или срок службы. Первые два параметра определяются в основном структурой и свойствами фильтрующего материала, из которого изготовлен фильтрующий элемент. Например, фильтр-бумага или полимерные ткани. Количество (площадь) фильтрующего материала определяет в основном его ресурс (срок службы), а также перепад давления при заданном расходе через фильтрующий элемент. Увеличение площади фильтрующего элемента при неизменных размерах фильтрующего элемента приводит к улучшению его характеристик [1].

Фильтрующие материал может быть представлен в различных геометрических исполнениях, например, в таких как «многолучевая звезда», «гармошка» и «складка». Различия в геометрии фильтрующей шторы и способа ее укладки влияет на количество фильтрующего материала на единицу площади и, соответственно, качество очистки фильтруемой среды. В ходе расчетов количества фильтрующего материала на единицу площади, были проанализированы несколько вариантов гофрирования и определен наиболее эффективный.

Горизонтальное сечение большинства воздушных фильтров представляет собой круг. Хотя существуют экспериментальные формы типа «многогранник» и «прямоугольник», широкого применения они не нашли. На это есть несколько причин. Во-первых, нестандартная форма усложняет производство

таких фильтров и, как следствие, себестоимость готового изделия. Во-вторых, эффективность фильтров таких форм незначительно отличается от распространённых «круглых» фильтров.

2. Расчет эффективности фильтра с формой гофры типа «многолучевая звезда»

Определение оптимального соотношения между наружным D и внутренним d диаметрами фильтрующего элемента можно вычислить из решения задачи оптимизации с учетом ограничений.

Площадь фильтрующей поверхности определяется по формуле

$$S = 2 * N * \frac{D - d}{2} * H, \quad (1)$$

где N – количество складок, H – высота фильтр-элемента, D – внешний диаметр, d – внутренний диаметр фильтр-элемента.

Количество складок определяется по формуле:

$$N = \frac{\pi * d}{2\delta + \Delta}, \quad (2)$$

где δ – толщина бумаги, Δ – минимальный зазор необходимый для прохода воздуха.

Подставляя формулу 2 в формулу 1, получаем:

$$S = \frac{\pi * d}{2\delta + \Delta} * (D - d) * H.$$

При $d \rightarrow D$ уменьшается размер складки. При $d \rightarrow 0$ увеличивается размер складки, но уменьшается их количество. Максимальное значение S

достигает при $\frac{dS}{dd} = 0$. Тогда формула нахождения площади бумаги примет следующий вид:

$$\frac{dS}{dd} = \frac{\pi}{2\delta + \Delta} * D * H - \frac{\pi * d}{2\delta + \Delta} * H$$

или

$$\begin{aligned} 2d &= D, \\ d &= 0,5. \end{aligned}$$

В результате решения этой задачи установлено, что наружный и внутренний радиусы фильтрующего элемента находятся в отношении 2:1. Это отношение обеспечивает максимальную площадь фильтрующего материала.

Принципиальный чертёж фильтра формой гофры типа «многолучевая звезда» представлен на рис. 1.

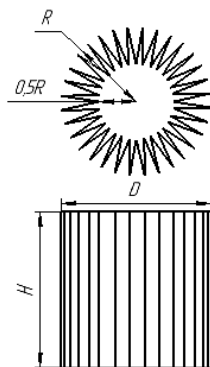


Рис 1. Фильтр формы «многолучевая звезда»

Так как основным критерием эффективности фильтра является количество фильтр-материала на единицу площади фильтра. Для расчета этого количества первоначально определяют количества гофр по формуле:

$$N = \frac{2\pi * 0.5R}{2(\delta + \Delta)},$$

где R – внешний радиус фильтра, δ – толщина бумаги, Δ – зазор между гранями.

Площадь гофры вычисляется по следующей формуле:

$$F = 2 * 0.5R * (R - 0.5R) * H,$$

где R – наружный радиус фильтра, H – высота фильтра. Тогда площадь всех гофр можно вычислить:

$$S = 2 * \frac{\pi * 0.5R}{\delta + \Delta} * (R - 0.5R) * H$$

или

$$S = \frac{\pi * 0.5R^2}{\delta + \Delta} * H.$$

Для сравнительного анализа, переменным были присвоены следующие значения: $R = 0,5$ м, $H = 1$ м, $\delta = 0,0015$ м, $\Delta = 0,002$ м. Результат вычислений получаем следующий:

$$S = \frac{\pi 0,5R^2}{\delta + \Delta} * H = \frac{3,14 * 0,25^2}{0,0015 + 0,002} = 56,1 \text{ м}^2.$$

3. Расчет эффективности фильтра со спиралевидной формой гофры.

Далее, был произведен расчет эффективности фильтра-элемента со спиралевидной формой гофрированной шторы [2].

Принципиальный чертеж элемента представлен на рис. 2.

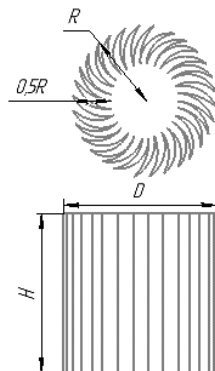


Рис 2. Фильтр-элемент со спиралевидной формой

Для расчета эффективности данной формы фильтра, справедливы формулы для нахождения площади гофры и количества гофр для многолучевой звезды

Формула расчета количества гофр:

$$N = \frac{2\pi r}{2(\delta + \Delta)}, \quad (3)$$

где r – внутренний радиус фильтра, δ – толщина бумаги, Δ – зазор между гранями.

Формула расчета размера гофр («б» – большие, «м» – малые):

$$L_b = 0,5r * \varphi^2, \quad (4)$$

$$L_m = 0,5r \left(\varphi^2 - \frac{\delta + \Delta}{r} \right), \quad (5)$$

где L – длина эвольвенты, R – наружный радиус фильтра, r – внутренний радиус фильтра, δ – толщина бумаги, Δ – зазор между гранями, $\varphi = \text{tg arccos} \left(\frac{r}{R} \right)$.

Используя (3) и подставляя ее в (4) и (5), получаем:

$$\Delta L = 0,5r \left(\varphi^2 \left(\varphi - \frac{\pi}{N} \right)^2 \right).$$

Приведем пример и допустим, что $r = 100$ мм, а $R = 200$ мм. Тогда:

$$L_b = 0,5 * 100 * \text{tg arccos} \left(\frac{100}{200} \right)^2 = 50 * 3 = 150.$$

$$L_m = 0,5 * 100 \left(\text{tg arccos} \left(\frac{100}{200} \right)^2 - \frac{3,14(3)}{3,14 * 100r} \right) = 50(3 - 0,03) = 148,5.$$

Результаты вычислений показывают, что сторона гофра шторы почти на 50% больше разности радиусов этой шторы.

Тогда, принимая эффективность данного фильтра, равной 150% по отношению к форме «многолучевая звезда», общую площадь фильтр-материала можно вычислить:

$$S = 1,5 * \frac{\pi 0,5R^2}{\delta + \Delta} * H.$$

При присвоении переменным следующих значений: $R = 0,5$ м, $H = 1$ м, $\delta = 0,0015$ м, $\Delta = 0,002$ м, площадь фильтрующего материала будет находится по формуле:

$$S = 1,5 * \frac{\pi 0,5R^2}{\delta + \Delta} * H = 1,5 * \frac{3,14 * 0,25^2}{0,0015 + 0,002} = 84,15 \text{ м}^2.$$

4. Фильтр с формой гофры типа «гармошка»

Существует несколько экспериментальных форм фильтра. Одна из них фильтрующий элемент типа «гармошка». Ее принципиальный чертеж и фото опытного образца представлен на рис. 3.

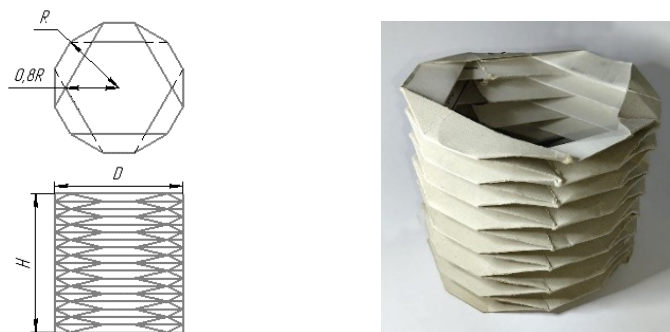


Рис 3. Принципиальный чертеж и фото опытного образца фильтра типа «Гармошка»

Для определения площади гофры данного типа, необходимо из площади наружного радиуса R вычесть площадь внутреннего радиуса r фильтра. С учетом особенностей геометрии гофра шторы, радиус $r = 0,8R$, то есть справедлива следующая формула:

$$F = \pi R^2 - \pi 0,8R^2,$$

где R – наружный радиус фильтра. Количество гофр можно вычислить:

$$n = \frac{H}{2(\delta + \Delta)},$$

где H – высота фильтра, δ – толщина бумаги, Δ – зазор между гранями.

Опытным путем был рассчитан коэффициент эффективности, показывающий отношение полезной площади фильтра к полной площади, равный 0,87.

Тогда, общую площадь фильтр-материала, используемого для фильтра, можно рассчитать:

$$S = 0,87 * F * 2 * n.$$

Соответственно, при присвоении значений: $R = 0,5\text{м}$, $H = 1\text{м}$, $\delta = 0,0015\text{м}$, $\Delta = 0,002\text{м}$, получаем следующие результаты:

$$S = 0,87 * F * 2 * n = 0,87 * 0,283 * 2 * 142,9 = 70,04\text{м}^2.$$

5. Фильтр с формой гофры типа «складка»

Еще одна экспериментальная форма фильтра получила название «складка». Она представлена на рис. 4.



Рис 4. Принципиальный чертеж и фото экспериментальной формы фильтра типа «складка»

Расчет эффективности данного фильтра будет производиться по тем же формулам, что и в случае с фильтром типа «гармошка». Коэффициент эффективности у данной форм был получен экспериментальным путем, равным 0,85. Тогда, общую площадь фильтр-материала можно вычислить по формуле:

$$S = 0,85 * F * 2 * n.$$

При присвоении значений: $R = 0,5\text{м}$, $H = 1\text{м}$, $\delta = 0,0015\text{м}$, $\Delta = 0,002\text{м}$, получаем следующие результаты:

$$S = 0,85 * F * 2 * n = 0,85 * 0,283 * 2 * 142,9 = 68,67\text{м}^2.$$

6. Расчет эффективности фильтра с формой гофры типа «треугольная ячейка»

За основу проектируемого фильтра был взят патент американской компании Dondaldson Company, Ink. US 2011/0297611 A1.

По форме, в горизонтальном сечении, фильтр представляет собой спираль, где расстояние между витками заполнены равносторонними треугольниками (ячейками). Длина стороны ячейки принята $a = 0,005\text{ м}$. В центре спирали расположен конструкционный круглый элемент (опора) радиусом $r = 0,02\text{ м}$. Радиус фильтра $R = 0,5\text{ м}$. Высота фильтра равна $H = 1\text{ м}$. Все элементы фильтра, кроме опоры, выполнены из фильтрующего материала. Толщина фильтрующего материала $\sigma = 0,0015\text{ м}$.

В рамках настоящего анализа, ячейки имеют правильную форму и погрешности, связанные с деформациями фильтрующего материала, не учитываются.

Высота одной ячейки находится по формуле определения высоты для равностороннего треугольника, м:

$$h = \frac{a\sqrt{3}}{2} = \frac{0,005\sqrt{3}}{2} = 4,33 \cdot 10^{-3}.$$

Количество витков спирали можно определить по формуле:

$$N = \frac{R - r}{h + \sigma} = \frac{0,5 - 0,02}{4,33 \cdot 10^{-3} + 0,0015} = 82,33.$$

Полученное значение округляется до ближайшего целого числа. Длину спирали можно определить по формуле расчета Архимедовой спирали, м:

$$L = \pi * N * \frac{R - r}{2} = 3,14 * 82 * \frac{0,5 - 0,02}{2} = 62,08.$$

Зная длину спирали, можно определить количество ячеек во всем фильтре.

$$N_{\text{яч}} = \frac{L}{a} = \frac{62,076}{0,005} = 1,242 \cdot 10^4.$$

Количество фильтрующего материала, используемого на одну ячейку, можно рассчитать по формуле, м:

$$S_a = 3 * a * \sigma = 3 * 0,005 * 0,0015 = 2,25 \cdot 10^{-5}.$$

Тогда, количество бумаги во всем фильтре можно найти по формуле, м²:

$$S = \frac{(S_a * N_{\text{яч}}) * H}{\sigma} = \frac{(2,25 \cdot 10^{-5} * 1,242 \cdot 10^4) * 1}{0,0015} = 186,23.$$

7. Выводы

По результатам анализа проведенных расчетов можно сделать следующие выводы. Экспериментальные формы гофрированного фильтра типа «гармошка» и «складка» не показали высокой эффективности по причине своей геометрии, то есть малой разницей между внешним и внутренним радиусом фильтра. Форма фильтра с существующим опытным образцом и с максимальным количеством фильтрующего материала на единицу площади, оказался фильтр со спиралевидной формой гофры. Он эффективнее фильтра с формой «гармошка» на 20%, типа «складка» на 22% и фильтра с формой «многолучевая звезда» на 50% соответственно.

Отдельно стоит отметить, что спроектированный фильтр с формой гофры типа «треугольная ячейка» хоть и имеет высокие показатели эффективности, данная конструкция не имеет опытной модели. В связи с этим, результаты эффективности реального экземпляра могут отличаться от расчетного.

Для удобства, результаты представлены в виде таблицы ниже.

Таблица 1. Сравнение фильтроэлементов различной формы

Наименование фильтра	Площадь используемого фильтр-материала, м ²	Эффективность, %
Фильтр с формой гофры «многолучевая звезда»	56,1	100
Фильтр с формой гофры типа «складка»	68,67	122,4
Фильтр с формой гофры типа «гармошка»	70,04	124,9
Фильтр со спиралевидной формой гофры.	84,15	150,0
Фильтр с формой гофры типа «треугольная ячейка»	186,23	331,9

Список литературы

1. Фукс, Н.А. Механика Аэрозолей / Н.А. Фукс. – Москва: Академия наук, 1955. – 353 с.
2. Патент № RU2108845C1, МПК В01D27/06. ФИЛЬТРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ: № 94026728/25: заявл. 08.07.1994; опубл. 20.04.1998 / Рокотов Н.В. Гросман М.Ш. – 10 с.

References

1. Fuchs, N.A. Mechanics of Aerosols / N.A. Fuchs. – Moscow: Academy of Sciences, 1955. – 353 p.
2. Patent No. RU2108845C1, IPC B01D27/06. FILTER ELEMENT: No. 94026728/25: application 08.07.1994: publ. 04/20/1998/Rokotov N.V. Grosman M.Sh. – 10 p.

УДК 677-67.06

Д.Х. Туан, Н.В. РокотовСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРОЦЕСС ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЛИСТРУКТУРНОГО НАМОТОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ**

© Д.Х. Туан, Н.В. Рокотов, 2026

Аннотация. В статье представлен метод 3D-моделирования полиструктурного намоточного изделия на основе пучка плоских осевых сечений. Метод обеспечивает точное воспроизведение внешней и внутренней структуры. Разработанный алгоритм и методы оптимизации снижают вычислительную сложность при сохранении точности. Это расширяет возможности анализа, проектирования и контроля качества в промышленных приложениях.

Ключевые слова: 3D-моделирование, полиструктурное намоточное изделие, планарные сечения, алгоритм моделирования, вычислительные ресурсы, визуализация структуры.

D.H.Tuan, N.V. RokotovSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

Abstract. The article presents a method for 3D modeling of a polystructural winding product based on a bundle of flat axial sections. The method ensures accurate reproduction of both external and internal structures. The developed algorithm and optimization techniques reduce computational complexity while maintaining accuracy. This enhances the capabilities for analysis, design, and quality control in industrial applications.

Key words: 3D modeling, polystructural winding product, planar sections, simulation algorithm, computational resources, structural visualization.

Введение. Сложность геометрии цилиндрических полиструктурных намоточных изделий требует применения высокоточных инструментов вычислительного моделирования для оптимизации проектирования и производства. Данная статья посвящена решению актуальной проблемы моделирования пространственного взаимодействия нитей. Предлагаемый метод базируется на трёх взаимодополняющих инновационных решениях: (1) алгоритм позиционирования нитей с автоматической коррекцией граничных условий, (2) эффективная интеграция данных в САД-среду (КОМПАС-3D), и (3) оптимизация вычислительных процедур, достигающая 90%-ного сокращения времени обработки.

Расчетная модель и методология. Методология построения 3D-модели реализуется через три последовательных этапа: генерация поперечных сечений, соединение витков нити и твердотельное моделирование в САПР. Модель строится в цилиндрической системе координат (OZYφ) с использованием системы секущих полуплоскостей $\alpha_k (k = \overline{1, N})$ [1]. Разработанная модель опирается на теоретические основы построения намоточных структур, изложенные в работе [2]. Рассматривается многонитевая система с нитями диаметрами d_1 и d_2 . Модель предполагает, что нить располагается в виде спирали с постоянным шагом, деформации не учитываются, а сечения нитей моделируются как окружности.

Математическая модель для первых витков: Координаты центров сечений первого витка ($i = 1$ для d_1 , $i = 1$ для d_2) в сечении k определяются как:

$$z_{11}^k = (\phi_k * H_1) / 2\pi, \quad y_{11}^k = (D_H + d_1) / 2, \quad (1)$$

$$z_{21}^k = (\phi_k * H_2) / 2\pi, \quad y_{21}^k = (D_H + d_2) / 2. \quad (2)$$

При выполнении условия взаимного перекрытия сечений витков: $|z_{11}^k - z_{21}^k| < (d_1 + d_2) / 2$ координата y_{21}^k корректируется: $y_{21}^k = y_{11}^k + (d_1 + d_2) / 2$. Если условие перекрытия не выполняется, применяется стандартное значение: $y_{21}^k = (D_H + d_2) / 2$.

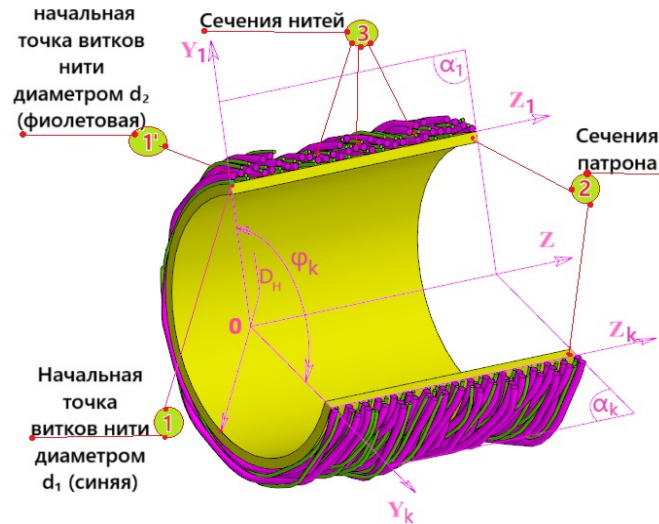


Рис. 1. Расчётная схема намоточного изделия цилиндрической формы

Моделирование последующих витков: Положение витков $(i+1)$ вдоль оси OZ определяется рекуррентными соотношениями:

$$z_{1i+1}^k = z_{1i}^k + S_1 * H_1, \quad z_{2i+1}^k = z_{2i}^k + S_2 * H_2, \quad (3)$$

где $S_i = \pm 1$ – параметр направления намотки.

Обработка граничных условий: При выходе координаты Z за пределы области укладки $[0, B]$ активируется процедура коррекции, где B – заданная ширина области раскладки. Для границы $z = B$:

$$z_{\text{новое}} = 2B - (H_m + z_{\text{предыдущее}}). \quad (4)$$

Для границы $z = 0$:

$$z_{\text{новое}} = H_m - z_{\text{предыдущее}}, \quad (5)$$

где $m = 1, 2$. Одновременно инвертируется параметр направления намотки S_i .

Алгоритм расчета радиальной координаты Y : Координата Y текущего витка рассчитывается исходя из взаимодействия с соседними витками (того же и другого типа) с целью избежания пересечений. Алгоритм предполагает поиск двух ближайших витков-«конкурентов», оказывающих максимальное влияние на текущее положение. Условие перекрытия: $|z_{\text{Тек}} - z_{\text{Сос}}| < (d_{\text{Тек}} + d_{\text{Сос}})/2$.

Расчет прироста Δy : Для каждого из двух найденных витков-«конкурентов» вычисляется необходимый вертикальный сдвиг, обеспечивающий касание:

$$\Delta y = \sqrt{((d_{\text{Тек}} + d_{\text{Сос}})/2)^2 - (\Delta z)^2}, \quad (6)$$

где Δz – осевое расстояние между центрами.

Финальное значение Y : Рассчитывается новое положение центра как $y_{\text{нов}} = y_{\text{Сос}} + \Delta y$. Из двух кандидатов выбирается максимальное значение, гарантирующее отсутствие пересечений со всеми соседями. Если взаимодействий нет, используется базовое значение $y = (D_2 + d)/2$. Данный универсальный алгоритм заменяет собой шесть частных случаев, подробно описанных в оригинальной статье для нитей d_1 и d_2 .

Реализация и оптимизация в CAD. После расчета массивов координат для всех сечений и витков в MATLAB, данные импортируются в КОМПАС-3D. 3D-модель создается операцией «Элемент по траектории»: окружности диаметрами d_1 и d_2 экструдируются вдоль сгенерированных сплайн-траекторий, представляющих центральные оси нитей.

Трёхмерное моделирование полиструктурных намоточных изделий осуществляется в САПР-системах, поддерживающих твердотельное моделирование, таких как Autodesk Inventor, AutoCAD и КОМПАС-3D. В данном исследовании для построения 3D-модели применяется программный комплекс КОМПАС-3D, который обеспечивает требуемую точность проектирования и реализацию современных методов моделирования, способствуя оптимизации проектного процесса и повышению эффективности производства [1]. Для построения 3D-модели полиструктурного намоточного изделия (диаметры нитей d_1 и d_2) в КОМПАС-3D операция «Элемент по траектории» применяется независимо к каждой нити. Операция создаёт трёхмерные твердотельные объекты перемещением двумерных сечений (окружности $\odot d_1$ и $\odot d_2$), выполненных на плоскости α_i , вдоль соответствующих 3D-спиралей. Спирали отражают расположение центров поперечных сечений витков в теле паковки. Сечение нити d_1 позиционируется в точке $(0, D_n + 0,5d_1, 0)$, нити d_2 – в точке $(0, D_n + 0,5d_2, 0)$ плоскости α_i . Метод обеспечивает точное воспроизведение геометрии и моделирование пространственной структуры изделия. Построение 3D-спиралей для двух нитей основано на разработанном алгоритме. Рассчитанные в MATLAB массивы координат центров сечений витков сохраняются в виде таблиц Excel. В дальнейшем эти данные импортируются в КОМПАС-3D, где преобразуются в сплайны (сначала для первой нити, затем для второй). Визуализация итоговых сплайнов (рис. 2) четко отображает их пространственное распределение (нить 1 — синяя, нить 2 — красная).

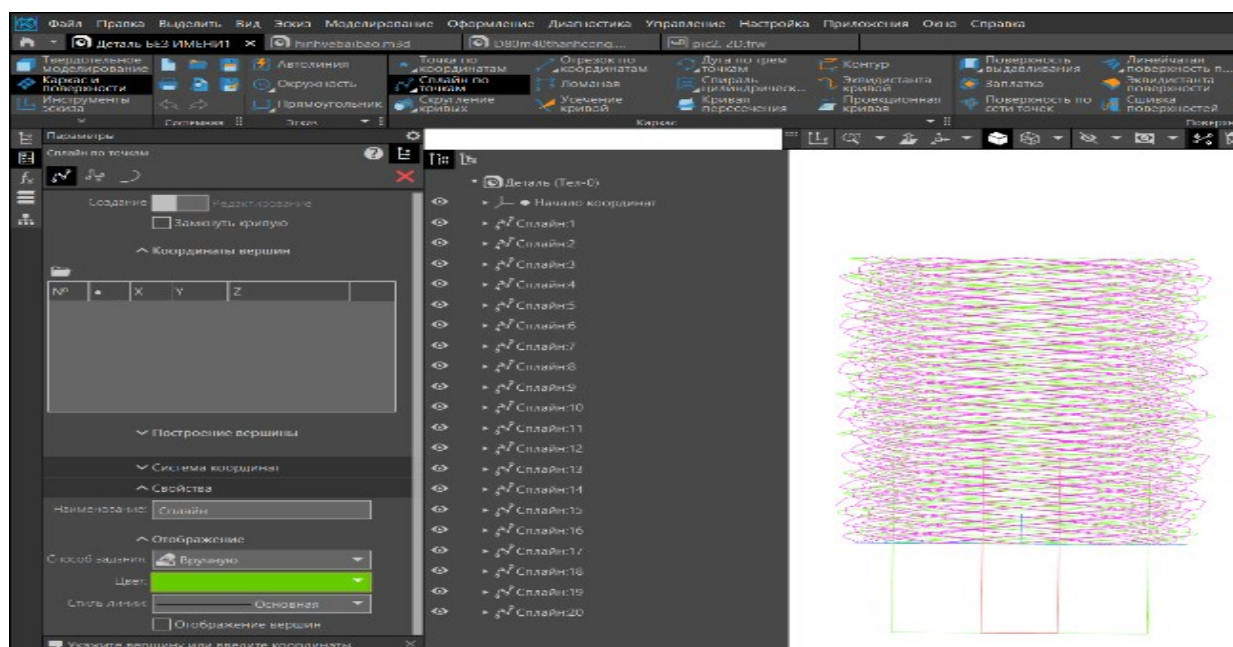


Рис. 2. Построение 3D спирали в пакете КОМПАС-3D

Оптимизация вычислительных процедур. Прямое преобразование крупных массивов координат (например, 21 600 точек) в сплайн требовало ~60 минут [1]. Предложена оптимизация путем фрагментации исходного массива на блоки размером ≤ 8000 точек с их независимым преобразованием. Это сократило время обработки до 10 минут и позволило работать с массивами $>10^7$ точек, преодолев ограничения Excel.

Результаты и обсуждение. 2D-анализ структуры: на рис. 3 представлены 2D-модели поперечных сечений, демонстрирующие пространственное распределение нитей для двух различных наборов параметров (табл. 1).

Таблица 1. Параметры для 2D-моделей поперечных сечений, представленных на рис. 3

Параметр	общие параметры			Параметры нити 1		Параметры нити 2	
	B	D_H	φ	d_1	H_1	d_2	H_2
Размерность	мм	мм	°	мм	мм	мм	мм
Рис. 2, а	80	80	18	1	1	2	3
Рис. 2, б	80	80	1	1	11	2	25

Для количественной оценки структурной плотности и неоднородности использовался метод триангуляции Делоне. Рассчитывается индекс неоднородности $\delta = \mu_A / \sigma_A$, где σ_A - стандартное отклонение площадей ячеек Вороного, μ_A - средняя площадь. Меньшее значение δ указывает на более равномерную укладку и коррелирует с меньшей вероятностью механических дефектов[3].

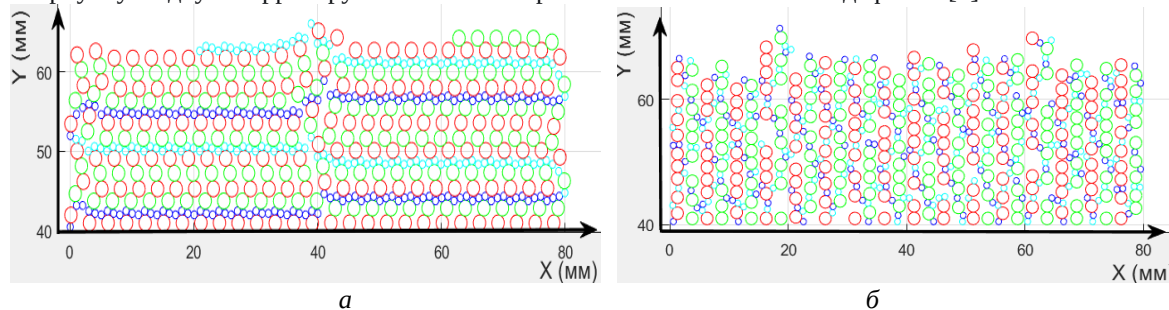


Рис. 3. 2D-модели поперечных сечений структуры паковки полиструктурного намоточного изделия

3D-модель: на рис. 4 представлена итоговая компьютерная 3D-модель полиструктурной паковки, построенная с использованием разработанной методики для параметров, приведенных в табл. 2.

Таблица 2. Параметры для построения итоговой 3D-модели

Параметр	общие параметры				Параметры нити 1		Параметры нити 2	
	B	D_H	m	φ	d_1	H_1	d_2	H_2
Размерность	мм	мм		°	мм	мм	мм	мм
Значение	80	50	70	1	1	11	2	25

Модель достоверно воспроизводит геометрию и взаимное расположение нитей. Визуализация сплайн-траекторий (нить d_1 : синяя, нить d_2 : фиолетовая) и итоговой твердотельной модели подтверждает адекватность подхода.

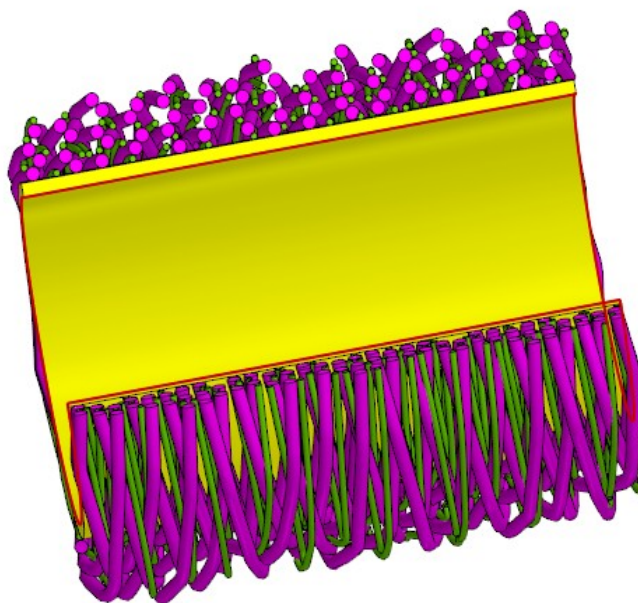


Рис. 4. Компьютерная 3D-модель паковки

Выводы:

1. Разработана интегрированная вычислительная платформа для построения точных 3D-моделей полиструктурных намоточных изделий, объединяющая алгоритмы на основе пучкового сечения, программное обеспечение на базе MATLAB и методику работы в CAD-системе КОМПАС-3D.

2. Предложен и реализован универсальный алгоритм позиционирования нитей с автоматической коррекцией граничных условий, который исключает пересечения витков и заменяет множество частных случаев.

3. Внедрена оптимизация вычислительных процедур (фрагментация массивов данных), что позволило сократить время построения 3D-модели с ~60 минут до 10 минут и работать с массивами данных объемом свыше 10^7 точек.

4. Показано, что генерируемые 3D-модели и 2D-сечения являются эффективным инструментом для анализа параметров намотки, количественной оценки структурной плотности и неоднородности укладки, а также создают основу для последующего конечно-элементного анализа механических свойств изделий, что согласуется с исследованиями влияния схемы намотки на механические характеристики [4].

Литература

1. Рокотов Н.В., Томилова О.В., Марковец А.В., Пономарь А.А. Разработка 3D-модели намоточного изделия // Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. 2022. С. 25–30.

2. Рокотов Н.В. Теоретические основы разработки намоточных механизмов для получения изделий с заданными свойствами и структурами. — Санкт-Петербург, 2018. — 31 с. [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна : сайт. — URL: https://sutd.ru/upload/iblock/Rokotov_avtoreferat.pdf (дата обращения: 04.05.2024).

3. Рокотов Н.В., Смелкова В.В., Беспалова И.М. Критерии оценки неравномерности распределения нитей в теле паковки // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки: Издательство СПГУТД, 2017. №2. С. 101-105.

4. Ходакова Н.Н., Блазнов А.Н., Самойленко В.В., Краснова А.С., Гребнев С.С., Родионов И.А. Влияние схемы намотки на формирование механических свойств изделий из композитов в продольном и поперечном направлении // Южно-Сибирский научный вестник. 2016. №4 (16). С. 17-25.

References

1. Rokotov N.V., Tomilova O.V., Markovets A.V., Ponomar A.A. *Razrabotka 3D-modeli namotochnogo izdeliya* [Development of a 3D model of a wound product]. Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. 2022. pp. 25–30. (in Russ.)

2. Rokotov N.V. *Teoreticheskie osnovy razrabotki namotochnykh mekhanizmov dlya polucheniya izdeliy s zadannymi svoystvami i strukturami* [Theoretical foundations of the development of winding mechanisms to obtain products with specified properties and structures]. Saint Petersburg, 2018. 31 p. URL: https://sutd.ru/upload/iblock/Rokotov_avtoreferat.pdf (accessed: 04.05.2024). (in Russ.)

3. Rokotov N.V., Smelkova V.V., Bepalova I.M. *Kriterii otsenki neravnomernosti raspredeleniya nitey v tele pakovki* [Criteria for assessing the uneven distribution of threads in the body of the package]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2017. No. 2. pp. 101–105. (in Russ.)

4. Khodakova N.N., Blaznov A.N., Samoylenko V.V., Krasnova A.S., Grebnev S.S., Rodionov I.A. *Vliyanie skhemy namotki na formirovanie mekhanicheskikh svoystv izdeliy iz kompozitov v prodol'nom i poperechnom napravlenii* [Influence of the winding scheme on the formation of mechanical properties of composite products in the longitudinal and transverse direction]. Yuzhno-Sibirskiy nauchnyy vestnik. 2016. No. 4 (16). pp. 17–25. (in Russ.)

УДК 67.017(679.7)

А.Э. Козлов, Б.С. МихайловСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ**

© А.Э. Козлов, Б.С. Михайлов, 2026

В работе рассматриваются вопросы проектирования свойств хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения. Обосновывается актуальность точного прогнозирования физико-механических характеристик пряжи (прочности, равномерности, крутки, ворсистой) для обеспечения качества готовой текстильной продукции. Подробно анализируется формула профессора А. Н. Соловьева для расчета удельной разрывной нагрузки пряжи, включая поправочные коэффициенты на крутку и состояние оборудования. Отмечается, что данная эмпирическая формула, выведенная в 1950-е годы, не в полной мере учитывает современные изменения свойств хлопкового волокна (снижение прочности, рост засоренности и содержания коротких волокон, поражение болезнями). Критически оценивается формула для определения неровности пряжи по разрывной нагрузке. Дополнительно в работе представлен уточненный расчет доли ворсистой на 1 метр пряжи, исправляющий логическую ошибку исходной формулы (получение отрицательного значения влияния ворсистой). Предложенный автором подход позволяет корректно определить величину S_y , при которой условие $(1 - S_y) > 0$ выполняется.

Ключевые слова: хлопчатобумажная пряжа, кольцевое прядение, проектирование свойств, удельная разрывная нагрузка, формула Соловьева, крутка, ворсистость, штапельная длина, линейная плотность, физико-механические свойства, неровнота пряжи, хлопковое волокно.

A.E. Kozlov, B.S. MikhailovSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DESIGNING THE PROPERTIES OF COTTON YARN**

The paper considers the issues of designing the properties of cotton yarn of the ring spinning method. The relevance of accurate forecasting of the physico-mechanical characteristics of yarn (strength, uniformity, twist, fluffiness) to ensure the quality of finished textile products is substantiated. The formula of Professor A. N. Solovyov for calculating the specific breaking load of yarn, including correction factors for twisting and equipment condition, is analyzed in detail. It is noted that this empirical formula, derived in the 1950s, does not fully take into account modern changes in the properties of cotton fiber (decreased strength, increased clogging and content of short fibers, disease damage). The formula for determining yarn unevenness by breaking load is critically evaluated. Additionally, the paper presents an updated calculation of the proportion of fluffiness per 1 meter of yarn, correcting the logical error of the original formula (obtaining a negative value of the influence of fluffiness). The approach proposed by the author allows us to correctly determine the value of S_y , at which the condition $(1 - S_y) > 0$ is fulfilled.

Keywords: cotton yarn, ring spinning, design of properties, specific breaking load, Solovyov formula, twist, napiness, staple length, linear density, physico-mechanical properties, yarn unevenness, cotton fiber.

Хлопчатобумажная пряжа является одним из наиболее распространенных видов текстильного сырья, используемого для производства тканей, трикотажа и различных нетканых материалов. Качество готовой текстильной продукции напрямую зависит от физико-механических свойств пряжи, таких как прочность, равномерность, крутка и ворсистость. В условиях современного рынка особую актуальность приобретает задача не просто контроля этих параметров, но и их точного проектирования на этапе производства.

Кольцевой способ прядения, несмотря на появление новых методов формирования пряжи, остается одним из самых распространенных благодаря высокому качеству получаемой нити. Однако процесс кольцевого прядения является сложным и многофакторным, что требует глубокого понимания зависимостей между характеристиками хлопкового волокна и параметрами готовой пряжи.

Целью данной работы является анализ и систематизация методов проектирования свойств хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения.

Проектирование свойств хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения

В прядении хлопка одной из наиболее известных является формула профессора А. Н. Соловьева, которая связывает удельную разрывную нагрузку пряжи, получаемую на кольцевых прядильных машинах, со штапельной длиной, разрывной нагрузкой, линейной плотностью волокон и линейной плотностью пряжи, круткой пряжи, а также с коэффициентом состояния оборудования.

Удельная разрывная нагрузка пряжи:

$$P_{уд} = \frac{P_{\epsilon}}{T_{\epsilon}} \left(1 - 0,0375 H_0 - \frac{2,65}{\sqrt{\frac{T_n}{T_{\epsilon}}}} \right) \left(1 - \frac{5}{L_{\epsilon}} \right) K_0 K \quad (1)$$

где $P_{уд}$ – удельная разрывная нагрузка пряжи, сН/текс;

P_B – разрывная нагрузка волокна, сН;

T_B – линейная плотность волокна, текс;

L_B – штапельная длина волокна, мм;

T_{Π} – линейная плотность пряжи, текс;

H_0 – коэффициент, характеризующий качество технологического процесса при различных системах прядения (для гребенного прядения $H_0 = 3,5-4\%$, для кардного – $4,5-5\%$);

K_0 – коэффициент, характеризующий состояние оборудования (0,95–1,1);

K – поправка на крутку, которую определяют по разности:

$$X = (\alpha_{\phi} - \alpha_{кр}),$$

α_{ϕ} – фактический коэффициент крутки;

$\alpha_{кр}$ – критический коэффициент крутки:

$$\alpha_{кр} = 0,316 \left(\frac{(1120 - 70 P_{\epsilon}) P_{\epsilon}}{L_{\epsilon}} + \frac{57,2}{\sqrt{T_n}} \right).$$

$$K = -0,0009774x^2 + 0,0038x + 1, \text{ если } x \leq 0,$$

$$K = -0,0092x + 1,023, \text{ если } x > 0.$$

Однако прошедшая за 60 лет после вывода формулы сортосмена хлопкового волокна, широкое внедрение машинного сбора, изменения в технологии хлопкоочистки и хлопкопрядения и другие причины повлиял на свойства хлопка и на свойства вырабатываемой пряжи. Особенно резкие изменения произошли в последние годы:

- уменьшилась разрывная нагрузка волокна на 5–9 %;
- увеличилось процентное содержание пороков и сорных примесей в 1,2–2 раза;
- увеличилось процентное содержание коротких волокон (пуха) в 2–3 раза;
- возросло количество случаев поражения хлопкового волокна медовой росой и бактериальными заболеваниями в 5–10 раз.

Кроме этого, в условиях рыночной экономики часто возникает необходимость составления и переработки нетипичных сортировок из волокон разной длины.

К недостаткам формулы (1) можно отнести то, что в нее не введен показатель засоренности волокнистой смеси. Входящий в формулу коэффициент H_0 , который характеризует разницу между кардной и гребенной системами прядения, имеет достаточно большой разброс и, варьируя его величину, можно получать различные результаты.

А. Н. Соловьев предложил также формулу для определения неровноты пряжи по разрывной нагрузке:

$$C_p = 1,25 \left(H_0 + \frac{70,7}{\sqrt{\frac{T_n}{T_{\epsilon}}}} \right).$$

По формуле C_p зависит только от линейной плотности волокна и пряжи, в ней не учитываются другие важные свойства волокон, поэтому она не нашла практического применения.

В 90-е годы профессор К. И. Корицкий предложил следующие формулы для определения свойств пряжи кольцевого способа прядения:

Таблица 1. Формулы профессора К. И. Корицкого для определения свойств пряжи кольцевого способа прядения

Показатель	Система прядения	
	Кардная	Гребенная
1. Удельная разрывная нагрузка одиночной нити, сН/текс	$P_o = \left(3,05 - \frac{3}{\sqrt{T_n}}\right) * \Delta^{\frac{2}{3}}$	$P_o = \left(2,3 - \frac{1,4}{\sqrt{T_n}}\right) * \Delta^{\frac{3}{4}}$
2. То же, пасмы	$P_n = (1,16 - 0,026 * C_p) * P_o$	
3. Разрывное удлинение, %	$E = (11,6 + 0,063 * T_n) \Delta^{\frac{-1}{3}}$	$E = (8,9 + 0,11 * T_n) \Delta^{\frac{-1}{4}}$
4. Коэффициент вариации по сечению нити (min), %	$C_{min} = \frac{109}{\sqrt{n}}$	$C_{min} = \frac{102}{\sqrt{n}}$
5. То же, по Устеру, %	$C_y = \frac{1470}{\Delta * \sqrt{T_n}}$	$C_y = \frac{1170}{\Delta * \sqrt{T_n}}$
6. То же, по разрывной нагрузке, %	$C_p = \frac{400}{\Delta * \sqrt[4]{T_n}}$	$C_p = \frac{460}{\Delta * \sqrt[4]{T_n}}$
7. То же, по линейной плотности пряжи, %	$C_T = 0,5 \sqrt{C_p^2 - C_{min}^2}$	
8. Коэффициент критической крутки	$\alpha_{кр} = 31,6 * \sqrt{\frac{60}{\Delta * \sqrt[4]{T_n}}}$	$\alpha_{кр} = 31,6 * \sqrt{\frac{55}{\Delta * \sqrt[4]{T_n}}}$
9. Коэффициент Δ	$\Delta = 0,1 * L_e * (1 - 0,01 * n_k) \frac{z}{\sqrt{T_e}}$	

Где n_k – процент коротких волокон, %;

z – коэффициент зрелости волокна,

$z = 0,345 * P_B + 0,42$ – для средневолокнистого хлопка;

$z = 0,308 * P_B + 0,725$ – для тонковолокнистого хлопка.

Поправка на крутку пряжи вычисляется по формуле:

$$K = 1 - \left(\frac{a_{кр} - a_{ф}}{76 - a_{кр}} \right)^2.$$

К. И. Корицкий вывел формулы для многих свойств пряжи. Недостатками формул К. И. Корицкого является то, что формулы для расчета свойств пряжи, полученные для разных систем прядения, отличаются лишь значениями численных коэффициентов.

Определение прочности хлопчатобумажной пряжи

При определении влияния ворсистости S волокна на прочность пряжи показано, что S равна суммарной длине волокон, выходящих за границы тела пряжи на единице длины (рис. 1).

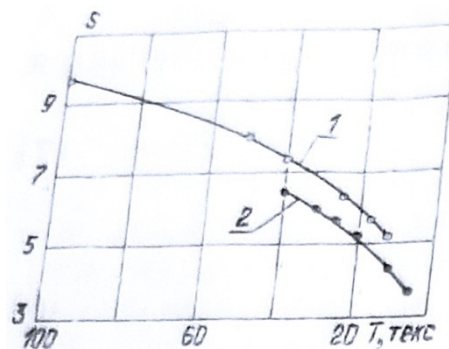


Рис. 1. Зависимость ворсистости от линейной плотности пряжи:
1 – кардная пряжа, 2 – гребенная пряжа

$$S = a + b * \ln T_{np}. \quad (2)$$

где $a = 3,2$ и $b = 0,77$ – коэффициент пропорциональности для гребенной пряжи; $a = 0,22$ и $b = 2,02$ – для кардной пряжи.

Допустим, что сумма длин всех волокон на 1 м, не участвующих в прочности пряжи, составляет 8 м, а длина волокон, содержащихся в 1 м пряжи, 100 м. Тогда процент длины этих волокон на указанной длине равен частному от деления этой суммы на сумму длин волокон в 1 м пряжи. Следовательно, доля ворсистости равна результату деления длины ворсистых волокон на число волокон в сечении пряжи (без учета крутки), а после кручения единицы пряжи $(1 - K_y)$, где K_y – коэф. укрутки пряжи. Тогда:

$$S_y = \frac{S}{(1 - K_y)n}. \quad (3)$$

С учетом формул из статьи Раха [2] и (3) получаем формулу для расчета прочности пряжи:

$$P_p = P_e n \left[1 - 0.0375 H_0 - \frac{2.44}{\sqrt{n}} \right] \left(1 - 0.75 \frac{l_{ck}}{l_{um}} \right) X_k (1 - S) \eta, \quad (4)$$

где η – коэффициент состояния оборудования, который для машин, выпущенных после 1980 г., составляет 1, а для машин до 1980 г. – 0,9.

$X_k = f(a_m - a_{kp})$ – коэффициент, определяемый по таблицам [2];

a_m – коэффициент фактической крутки пряжи;

a_{kp} – критический коэффициент крутки.

В своей статье [2], Раха поясняет и расписывает важность уточнения ворсистости пряжи при определении прочности однониточной кольцевой хлопчатобумажной пряжи.

Найдем число волокон в сечении пряжи:

$$n = \frac{T_{np}}{T_e}.$$

Подставим числовые значения используя таблицы представленные в [3]: $T_{np} = 25$ текс, $T_e = 0,15$ текс, тогда:

$$n = \frac{25}{0,15} = 166,7,$$

$$S_y = \frac{S}{(1 - K_y) * n},$$

где S – ворсистость пряжи;

S_y – доля ворсистость на 1 метр пряжи;

K_y – коэффициент укрутки пряжи.

Зная, что $K_y = 0,98$ [3], тогда $1 - K_y = 0,22$:

$$S_y = \frac{S}{(1 - K_y) * n} = \frac{5 \text{ м}}{(1 - 0,98) * 166,7} = 1,5 \text{ м}^2.$$

$(1 - S_y)$ – влияние ворсистости пряжи на единицу длины.

Однако приводя формулу (4) мы видим неточность в ее вычислении. Получается, что: $(1 - S_y) < 0$, что в действительности не может быть. Так как, если значение S будет больше 1, то значение разрывной нагрузки будет отрицательным.

Рассмотрим отрезок пряжи в 1 метр, на нем есть группы волокон с длиной l .

Число групп волокон на 1 метр пряжи:

$$K = \frac{1 \text{ м}}{l_{\text{мм}}} = \frac{1000 \text{ мм}}{l_{\text{мм}}}.$$

Тогда число групп крученых волокон на 1 метр можно выразить как:

$$K = \frac{1 \text{ м}}{l * K_y}.$$

Доля ворсистость на 1 метр пряжи, тогда можно представить как:

$$S_y = \frac{S}{\sum l}.$$

$\sum l$ – сумма длин групп волокон.

$$\sum l = K * (l * n) = \frac{1 \text{ м}}{l * K_y} * (l * n) = \frac{1 \text{ м} * n}{K_y}. \quad (5)$$

С учетом (2) и (5) получаем формулу для расчета доли ворсистости на 1 метр пряжи:

$$S_y = \frac{S}{\sum l} = \frac{S_m * K_y}{1 \text{ м} * n};$$

$$S_y = \frac{5 \text{ м} * 0,98}{1 \text{ м} * 166,7} = 0,03.$$

Представленная нами формула для нахождения S_y является более правдоподобной, так как $(1 - S_y) > 0$.

Подводя итог

Существующие классические методы проектирования свойств хлопчатобумажной пряжи требуют существенной корректировки с учетом изменившегося качества современного хлопкового волокна, технологических инноваций и использование нетипичных сортировок. Необходимо введение дополнительных показателей (например, засоренности) в расчетные формулы. Предложенная уточненная методика расчета ворсистости повышает достоверность прогнозирования прочности пряжи.

Список литературы

1. Бакустина Р.С. Компьютерное проектирование свойств пряжи: Методические указания для магистров, 2017.
2. Раха И. М. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1994. № 5.
3. Широков В.П., Владимиров Б.М. Справочник по хлопкопрядению, Легкая и пищевая промышленность, 1985.

References

1. Bakustina R.S. Computer-aided design of yarn properties: Guidelines for masters, 2017.
2. Rakha I. M. // Izvestiya vuzov. Technology of the textile industry. 1994. No. 5.
3. Shirokov V.P., Vladimirov B.M. Handbook of cotton spinning, Light and food industry, 1985.

УДК 677.024.1: 74.01/.09

Д.А. Стыдненко, Т. Н. Буторова, И.А. Прохорова, Н.С. Цыбизова

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

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ШПАЛЕРНОГО ТКАЧЕСТВА. ОТ ШПАЛЕРЫ ДО ТАПИСЕРИЙ

В статье представлены аналитический обзор сюжета, композиции, техники исполнения исторических шпалер и гобеленов, позволивший определить место современного гобелена в искусстве и выделить основные категории, которые необходимо учитывать при проектировании технологии и художественного проектирования гобелена.

Ключевые слова: шпалера, гобелен, история искусства, стиль, композиция.

D.A. Stydnenko, T. N. Butorova, I.A. Prokhorova, N.S. Tsybizova

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

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF TRELIS WEAVING. FROM TRELIS TO TAPISERIES

The article presents an analytical review of the plot, composition, and technique of historical tapestries and tapestries, which allowed us to determine the place of modern tapestry in art and identify the main categories that must be taken into account when designing technology and artistic tapestry design.

Keywords: tapestry, art history, style, composition.

Введение. Исследование предметов искусства текстиля как одного из древнейших видов художественной деятельности человека, имеет большое значение в постижении культурного наследия разных периодов времени и неизменно является темой, имеющей как научный, так и практический интерес не только для искусствоведов, но и для инженеров-технологов, занимающихся вопросами проектирования и создания художественного текстиля [1, 2, 3].

Приступая к работе над выпускной квалификационной работой, связанной с разработкой и проектированием технологии выполнения гобелена в материале, мы задали себе следующий вопрос: «Гобеленовое ткачество – это ремесло или искусство?». Если ремесло, то какими профессиональными навыками должен обладать ткач? Если искусство, то в чем оно заключается? Ответ на этот вопрос позволит правильно подойти к разработке сюжета и композиции современного гобелена, его художественного и технологического проектирования. Попробуем ответить на поставленный вопрос, проанализировав ретроспективу развития шпалерного ткачества, начиная с глубокой древности и кончая 18 в.

Актуальность. Современный ткачество – это интереснейшая отрасль, непрерывно развивающаяся во времени и впитавшая в себя все достижения науки и техники прошлых лет. Современное ткачество многопланово. Его можно рассматривать как результат народного творчества, как предмет декоративно-прикладного искусства, как промышленный продукт и как современный многофункциональный продукт дизайна. Особая роль здесь принадлежит гобеленам, интерес к которым неизменно растет как среди профессионалов технологов, так и среди искусствоведов и просто творческих и увлеченных гобеленовым ткачеством людей. Более глубокое знакомство с историей создания гобеленов позволит расширить знания инженера по истории декоративно-прикладного искусства и проявить творческое начало в технологии производства гобеленов.

Новизна данного исследования заключается в разработке комплексного подхода к технологии проектирования современного гобелена, основанного на анализе знаковых исторических шпалер и гобеленов, их техник исполнения и стилевых направлений моды и дизайна, господствующих в искусстве в настоящее время.

Целью настоящего исследования явилось изучение истории развития шпалерного ткачества на примерах и аналогиях предметов мирового искусства, необходимого для последующего создания проектов современного гобелена.

Объектом исследования является история развития декоративно-прикладного искусства на примере гобеленов от древних времен до современности.

Предметом исследования являются каноны построения сюжета и композиции в исторических предметах искусства, технологии художественного и технического проектирования гобелена.

Методы и средства исследования. В работе используются общепринятые в научных исследованиях методы исследования, позволяющие получить достоверную информацию об изучаемом объекте. Это методы анализа, синтеза, абстрагирования, обобщения, аналогии, классификации, являющиеся основой научного познания.

Задачи исследования. Определить роль и место гобелена в искусстве и выявить основные категории, необходимые для проектирования сюжета и композиции современного гобелена.

Обсуждение результатов. Аналитический анализ исторических шпалер и гобеленов. Одним из самых древних предметов декоративно-прикладного искусства текстиля, обнаруженным при раскопках Пятого Пазырыкского кургана в Алтайском крае, является пазырыкский ковер, датируемый V-IV в. до н. э. Этот предмет ДПИ не относится к шпалерам, т. к. он выткан хоть и вручную, но в технике ворсового ткачества, и его композиция построена на орнаментации различных геометрических фигур. Однако стоит о нем упомянуть, т.к. это древнейший артефакт текстиля, хранящийся в Эрмитаже, который сейчас является уже предметом искусства, а не предметом утилитарного назначения. Его историческую ценность увеличивают следующие характеристики: большой для того времени размер ковра – 1,83×2,00 м; высокая плотность узлообразования – число узлов 1 дм² достигает 3600 узлов; богатая цветовая гамма – используются нити охристых, красных, зеленых, желтых цветов. Эти факты свидетельствуют о большей первоначальной яркости и колористическом богатстве данного предмета, о мастерстве и художественном вкусе ткачей. Оригинальна композиция орнамента ковра, которая заключается в узорчатых прямоугольных фрагментах, вытканых как бы один в одном. Такая орнаментация использовалась у мастеров древнего Востока, а в Древнем Иране такие ковры применялись вместо седел для лошадей, что позволяет предположить о возможном иранском происхождении пазырыкского ковра [4].

Коптские ткани Древнего Египта. Гобеленовое ткачество имеет многовековые традиции и своими корнями уходит в Древний Египет. Древнейшими артефактами ткачества, сохранившимися до нашего времени, историки считают коптские ткани, вытканые вручную в виде медальонов и аппликаций для одежды [5, 6]. Это всевозможные элементы, украшающие одежду, мебель, также используемые в качестве настенных украшений (обоев). Для нас важно отметить, что в сюжетах, вытканых на этих тканях, прослеживается связь между античной и христианско-византийской культурами. Композиция построена по аналогии композиции узоров пазырыкского ковра: вытканый сюжет помещен в орнаментированную раму. Эти образцы древнейших «мини-гобеленов» уже можно считать предметами искусства ткацкого мастерства. В технике ткачества копты тоже были искусным мастерам: применяли различные приемы ткачества известные и в настоящее время. Самой распространённой техникой была техника гобеленового плетения – это обычное полотняное переплетение с использованием цветных уточных нитей. Уточные нити прокладывались в технике, известной сегодня как техника штриховки [3].

Раннее средневековье. Изучая хронологию шпалерного ткачества в Европе, мы убедились том, что оно зародилось в раннем средневековье в Германии, а не во Франции, как принято это считать. По времени они соответствуют романовскому периоду в истории искусства. Сохранившиеся в музеях Европы древнейшие шпалеры подтверждают этот факт. В холодных и влажных условиях северного региона Европы модная в то время в Италии фресковая стенопись, применявшаяся для украшения храмов и домов, например, в Германии и тем более в Скандинавских странах была не жизнеспособна. Но мода на украшение своего дома, храма или замка фресковой живописью, зародившаяся в Италии, в северных странах Европы способствовала появлению другого способа для украшения своего жилья и в то же время утепления стен в доме. Шпалера выполняла роль «шерстяной фрески», выполняя фактически ту же функцию, что и настенная живопись. Шпалеры этого времени имели в большей степени функциональное назначение и использовались не как предмет украшения помещения, а скорее всего как предмет, сохраняющий тепло в каменных не обогреваемых помещениях. Отметим, что сюжетно-композиционное решение в шпалерах этого периода имело преимущественно религиозную тематику, как и в других произведениях искусства того времени (например, в живописи), что соответствовало господствующему в это время стилю эпохи – романовскому. Шпалеры ткали главным образом ткачи-монахи в монастырях. Это были в основном предметы бытового назначения, не лишённые художественной ценности: алтарные завесы (антепендиумы), шпалеры для церковных скамей и другие предметы утилитарного назначения. Ткачи черпали сюжеты из Библии: изображали святых, сцены из Евангелия, эпизоды Ветхого Завета и Апокалипсиса (как позднее в известной французской серии шпалер «Анжерский Апокалипсис»).

Среди сохранившихся до наших дней произведений искусств шпалерного ткачества (а они уже стали предметами декоративно-прикладного искусства хотя бы по причине давности лет) этого периода согласно хронологии следует отметить следующие.

«Гобелен из Байё» [7] (так называют его искусствоведы) – образец средневекового европейского искусства , созданный XI в. в нормандскими ткачами. Выполнен в редкой технике лоскутной аппликации по льняному полотну с применением вышивки, вошедшей в историю как «вышивка из Байё». Размер ковра 70,3 × 0,5 м., т.е. ковер подобие ленты, на которой последовательно изображены происходящие по сюжету события. Когда последовательно рассматриваешь картины, изображенные на этой тканной ленте, создается впечатление, что читаешь книгу. Отметим, что такой прием в повествовании сюжета шпалеры-ковра, используется и во многих более поздних по происхождению средневековых шпалерах. Сюжет ковра из Байё – исторический, а композиция построена на чередовании сцен, описывающих ход сражения при Гастингсе (1066 г) воинов короля Англии Гарольда и норманнского герцога Вильгельма.

В ранней истории декоративно-прикладного искусства романовского периода известны несколько шпалер, сотканных в стиле шпалера-икона. Среди них самые знаковые, дошедшие до нашего времени, это «Богоматерь на троне, Христос на троне и двенадцать апостолов в медальонах» [8] и «Гестия, подательница благословений» [9], датируемых приблизительно VI в. н. э. Сюжет этих шпалер заимствован из образцов византийских средневековых тканей и книжных миниатюр средневековой Европы. Шпалеры служили своеобразными иконами, которые предполагали культовые религиозные службы. Дева Мария и апостолы изображены в торжественных позах по иерархии, предусмотренной религиозными канонами. В ткачестве, чтобы подчеркнуть их святость, использовались золотые и серебряные нити. Композиция также заимствована из имперского византийского искусства: дева Мария – царица небесная – изображена сидящей на украшенном драгоценностями троне с младенцем Христом как бы на небесах в окружении архангелов Михаила и Гавриила и апостолов.

На шпалере «Гестия, подательница благословений» присутствуют реминисценции античной культуры Древней Греции (сюжет взят из античной древнегреческой мифологии). Но каноны композиционного построения фигур на шпалере те же, что и в шпалере-иконе «Богоматерь на троне». Обе эти шпалеры явно являлись символом религиозного поклонения, также имели эстетическое и культурное предназначение, но более чем утилитарное.

Среди произведений шпалерного декоративно-прикладного искусства более позднего периода средневековья наиболее представительны и известны во всем мире две серии шпалер – «Дама с единорогом» [10] и «Анжерский апокалипсис» [11]. Ограничимся анализом только этих двух всемирно известных произведений, характеризующих развитие шпалерного ткачества данного периода.

Отметим сначала, что мода на шпалеры-ленты в этот период уже прошла, но, чтобы сохранить целостность сюжета, который не всегда ограничивался одной сценой, шпалеры стали ткать сериями. Предполагалось, что они будут висеть на одной стене или хотя бы в одном помещении.

Серия шпалер «Дама с единорогом» состоит из семи шпалер. Шесть шпалер сохранилось до наших дней, а седьмая была утеряна. Французская писательница Жорж Санд обнаружила семь шпалер в замке г. Буссак (Франция) и подробно описала их в 1844 г. в своем романе «Жанна» и в журнальных статьях. Эта серия шпалер создана во Франции на рубеже XV и XVI веков. По времени создания – это уже начало эпохи Возрождения в искусстве Франции. Но судя по технике исполнения (техника *mille-fleur*, фр.) и костюму персонажей просматриваются реминисценции, присущие готическому стилю. Но здесь не следует не принимать во внимание некую «жизненную заторможенность», присущую людям во все времена, чем и объясняется изображение готического костюма персонажей несмотря на то, что мода в одежде и стиль в искусстве уже сменились. XV и XVI вв. во Франции – это уже начало эпохи Возрождения.

Серия шпалер «Дама с единорогом» – это серия шпалер, которые аллегорически изображают пять чувств: зрение, слух, вкус, обоняние, осязание. Аллегоризм и символизм присутствуют практически во всех сюжетах. Шестая шпалера называется «По моему единственному желанию», и является доминантой в идеологическом замысле сюжета. Кстати, название каждой из шпалер (кроме седьмой шпалеры) выткано на самой шпалере сверху. Название самой серии этих семи шпалер даны уже искусствоведами в наше время. По факту шпалеры не имели ни названия, ни сюжета, а лишь одну идею – отказ от мирских соблазнов в пользу духовного выбора, что как финал представлено в композиции седьмой, утерянной шпалеры.

Несмотря на отсутствие сюжета, объединяющего историю, изображенную на семи шпалерах, отметим главное, что характерно для искусства этого времени – отказ от религиозных библейских сюжетов и стремление запечатлеть на шпалере образ дамы рыцарского романа и светскую жизнь того времени. В это период шпалер такого содержания было выткано не мало и их всех искусствоведы объединяют под названием – «Из жизни сеньоров».

Всемирно известная серия шпалер «Анжерский апокалипсис», созданная по заказу Людовика I герцога Анжуйского и выткана французскими ткачами в Париже между 1377 и 1382 гг. Изначально серия включала 90 шпалер, разделённых на 7 частей. Каждая часть состояла из 14 шпалер. Композиция всех шпалер построена следующим образом. Шпалеры разделенных на два ряда: верхний посвящён

небесным событиям (вытканы на синем фоне), нижний – земным (вытканы на красном фоне). Контраст красного и синего фона визуально и символично подчёркивал их противостояние и в то же время связь земного и небесного. Выбор сюжета связан с историческими событиями этой эпохи. XIV век в Европе ознаменовался Столетней войной, чумой и голодом, что и способствовало в искусстве интересу к апокалиптическим темам. Конкретно сюжет данного произведения построен на основе событий, описанных в Откровениях евангелистом Иоанном Богословом сцен Апокалипсиса от воскресения Христа и его победы над злом. Здесь изображены четыре всадника Апокалипсиса, семь печатей, труб и чаш гнева, падение Вавилона и другие эпизоды апокалипсиса, завершающиеся триумфом добра. Шпалеры до сих пор удивляют любого зрителя мастерством, художественным замыслом и техникой исполнения. Недаром для французского художника-новатора 20 в. Ж. Люрса шпалеры «Анжерского апокалипсиса» явились полнейшим удивлением и откровением, желанием вновь возродить это утерянное мастерство художественного ткачества в 20 в.

Техника ткачества шпалер «Анжерского апокалипсиса» традиционная – полотняное переплетение, а вот цветовая палитра отличается богатой гаммой цветов, состоящей из шести основных цветов и примерно тридцати оттенков этих цветов. Это многообразие цветов и оттенков, используемых в шпалерном ткачестве, позволило ткачам приблизить изображаемую в шпалере композицию к картине, а именно, создать перспективу и иллюзию объема. Хотя в этой работе еще явно отсутствует профессионализм в умении ткачей передавать объем предметов и фигур, но зритель уже может оценить последовательность происходящих сцен и понять их временные рамки. Символизм, характерный для произведений искусства этого времени просматривается не только в образах и действиях персонажей, но и в использовании цвета. Каждый цвет на шпалере имеет символическое назначение, несёт в себе богословские и аллегорические смыслы. Символизм в изображениях, цветах, мелких деталях шпалеры – играл огромную роль в реализации и понимании композиции шпалеры для людей этого времени.

Гобелены Фландрии и Франции эпохи Возрождения. Наиболее интересные тенденции развития гобеленового ткачества можно проследить в эпоху Возрождения. Это время настоящего расцвета гобеленового ткачества. В это время в разных странах Европы возникают шпалерные мануфактуры, но фактически ведущее место занимают Фландрия и Франция. Если в других государствах Европы инициатива производства шпалер принадлежала королям и влиятельным синьорам, то во Франции это было национальное производство (достаточно отметить Королевскую гобеленовую мануфактуру), хорошо организованное в масштабах государства. Здесь ткачи объединялись в городские корпорации, продукция которых господствовала на европейских рынках. Самым крупным центром производства шпалер во Фландрии был город Брюссель. Изделия этого центра отличались своеобразными композициями искусно сотканными, что сближало шпалерное ткачество с живописью эпохи Возрождения, но не утрачивало специфики шпалерного искусства. Во Франции, также как и во Фландрии, производство стеновых ковров развивается в отходе от художественных принципов средневековья. Для композиции шпалер этого периода характерно объемное изображение фигур, небольшая перспектива в виде мелкого архитектурного пейзажа в верхнем углу или на заднем плане гобелена, тщательность исполнения и высокая плотность нитей основы – 8 – 9 нитей/см – всё это характеризовало не только шпалеры брюссельской школы, но и парижской гобеленовой мануфактуры. Гобелен стал тканой картиной, доставлявшей эстетическое удовольствие. Рама, в которую вставляли картины, в гобеленах заменена бордюром. Трактовка бордюра была еще не очень пышной, как в более позднее время согласно господствующему стилю барокко, но уже с включением в композицию плодов, цветов и птиц и других орнаментальных предметов. Одежда персонажей и мелкие единичные цветы (техника *mille-fleur*, фр.) по фону позволяют отнести это произведение к концу 16 – началу 17 веков.

В это же время появляются шпалеры, целиком посвященные пейзажу, которые получили название *verdure*, фр., что в переводе означает – зелень. С 16 в. вердюры ткали во фламандском г. Ауденарде, в 16 – 17 вв. – славились пейзажными шпалерами брюссельские мастера, а в 17–18 вв. – французская мануфактура в г. Бове. В конце 17 в. только для одного короля здесь было произведено более 120 вердюр. В 18 в. получили известность вердюры Королевской мануфактуры г. Обюссона. Стилиевые особенности вердюр с течением времени менялись в соответствии со стилиевыми особенностями эпох. Но практически всегда излюбленным мотивом вердюр являлись романтические лесные заросли, могучие стволы деревьев переднего плана, реальные и вымышленные звери, тающие в дымке леса и поля на дальнем плане шпалеры. Иногда в вердюрах появляются геральдические мотивы. Для некоторых вердюр характерен необычайно узкий формат, что объясняется тем, что они были предназначены для простенков между окнами. Богатые заказчики украшали стены шпалерами как обоями, не оставляя свободных мест. Так появились простеночные, наддверные и другие шпалеры разнообразных форм.

Гобелены 16 – 17 веков. Стил барокко. Фландрия. Для этих гобеленов характерны монументальная композиция с крупными, объемно трактованными фигурами, живописные складки и драпировки, широкий декоративный бордюр в сочетании с интенсивным колоритом. Это отличительные

черты фламандских стенных ковров стиля барокко. Этому стилю также присущи пышность, сочность, богатство помпезность. Обладая пластичностью и динамичностью форм, остротой и смелостью орнамента, свойственных произведениям итальянских мастеров, гобеленовое искусство Фландрии отличается эффектной торжественностью, ярким колоритом, сочной орнаментацией.

Развитие стиля барокко в гобеленовом ткачестве неразделимо от имени Петра Пауля Рубенса. Подобно большинству крупных мастеров этого периода Рубенс работал в прикладном искусстве. Он и его ученики Корнелис Схют, Франс Снейдерс, Якоб Иордане, Юстус ван Эгмонт создали картоны для шпалер на мифологические, исторические и религиозные темы. Рубенс и его школа оказали большое влияние на мастеров французских шпалер. Отметим одну из серий гобеленов этого времени, созданную по картонам П. Рубенса – это серия «Триумф Евхаристии», состоящая из четырех ветхозаветных сцен: «Встреча Авраама и Мелхиседека», «Сбор манны», «Пророк Елисей получает пищу от Ангела» и «Ветхозаветная жертва», а также роскошные гобелены «Триумф веры, мудрости, науки и природы» [13].

Большую роль в развитии прикладного искусства сыграли королевские мануфактуры. Самая значительная из них была создана в 1664 году в Париже. Мануфактура, производившая ковры для королевской мебелировки, известна под названием Мануфактуры Гобеленов. Руководил ею Шарль Лебрен – придворный художник Людовика XIV.

Среди знаковых шпалер эпохи Возрождения отметим серию шпалер под названием «Деяния апостолов» [14], вытканную по картонам Рафаэля. Серия гобеленов была создана в первой трети XVI века в мастерской Питера ван Элста в Брюсселе. Эти шпалеры были приобретены кардиналом Эрколе Гонзага и впоследствии подарены палатинской базилике Санта-Барбара в Мантуе. Гобелены выполнены в стиле Высокого Возрождения, для которого характерны гармоничная композиция, детализация фигур и пейзажей, а также передача светотеневых эффектов. Рафаэль, создавая картоны для этих гобеленов, специально продумывал композиции так, чтобы они хорошо читались в текстильном исполнении: жесты фигур были выразительными, силуэты – чёткими, а основные смысловые акценты — очевидными даже с расстояния. Таким образом, серия «Деяния апостолов» стала не только украшением капеллы, но и своеобразным «визуальным катехизисом» – наглядным пособием по основам христианской веры и истории Церкви, рассчитанным на широкую аудиторию, в том числе и на тех, кто не умел читать. Среди известных гобеленов этой серии следует отметить гобелены «Передача ключей», «Исцеление хромого», «Проповедь Павла в Афинах», «Чудесный улов», «Обращение Савла», «Мученичество апостола Павла».

На рубеже XVIII и XIX столетий гобеленовое ткачество в Европе переживало тяжелые времена. Мастерским, ткавшим гобелены, необходимо было найти новые композиционные формы, способные гармонично вписаться в интерьеры помещений. Вторая половина XIX в. характеризуется господствующим в живописи стилем рококо, и это не могло не отразиться на сюжетно-композиционном решении гобеленов. Художники переосмыслили роль гобелена в интерьере. От грандиозной тканой картины он должен вернуться к своему изначальному предназначению – быть красивой шерстяной тканью, которая не только украшает, но и утепляет стену. Композиция этих гобеленов построена по аналогии модных в то время живописных картин Ф. Буше и Ж. Фрагонара, изображающих романтические сцены сельской жизни.

Отметим принадлежащую к этому периоду серию шпалер под названием «Пасторальные сцены» [15], вытканную по заказу императора Николая II в 1899 г. в мастерских братьев Бракенъ в г. Обюссон. Эта серия шпалер предназначалась для украшения Салтыковской лестницы Зимнего дворца. Сдержанные по краскам, в охристой, словно выгоревшей, гамме, они вытканы из тонких шелковых нитей с очень высокой плотностью. В результате применения тонких нитей и высокой плотности ткачества, вытканые на гобеленах сюжеты практически невозможно отличить от живописи. В настоящее время серия «Пасторальные сцены» регулярно выставляется экспозициях Главного штаба Эрмитажа.

К концу 19 в. гобеленовое ткачество приходит в упадок. Это связано с развитием промышленного выпуска узорчатых гобеленовых тканей и осложнившимися международными отношениями – Европа была грани Первой мировой войны. Возрождение гобеленового ткачества произойдет в начале 20-го века и это будет связано с именем известного французского художника-реформатора гобеленового ткачества Жана Люрса.

Выводы.

1. В результате проведенных нами аналитических исследований удалось дать ответ на поставленный в начале статьи вопрос – гобелен относится к предметам декоративно-прикладного искусства текстиля, являющегося частью искусства и развивается по тем же канонам, что и искусство вообще (рис. 1).



Рис. 1 Классификация видов искусства

2. Гобелен несет на себе отпечатки стиля эпохи и создаётся, и развивается по тем же канонам, что и искусство. Определены основные категории, которые необходимо учитывать при проектировании современного гобелена (рис. 2).



Рис. 2. Основные категории предметов искусства и декоративно-прикладного искусства текстиля

3. Современный гобелен – это симбиоз исторических стилей, различных техник исполнения, материалов и творческого начала самого автора.

Список литературы

1. Цветкова Н. Н. Искусство ручного ткачества. Санкт-Петербург: Издательство СПбКО, 2014. 217 с.
2. Газизова А. Т. История развития ручного ткачества от гобелена до таписерий // Текст научной статьи по специальности «Искусствоведение». URL: <https://example.com/4343659> (дата обращения: 30.01.2026).

3. Бойко О. В. Традиции шпалерного ткачества и творчество Жана Люрса – основоположника и классика современной шпалеры / О. В. Бойко // Текст научной статьи по специальности «Искусствоведение». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/traditsii-shpalernogo-tkachestva-i-tvorchestvo-zhana-lyursa-osnovopolozhnika-i-klassika-sovremennoy-shpalery> (дата обращения: 30.10.2025).
4. [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1845985> / Пазырыкский ковер (дата обращения 25.11.2025).
5. О. Лечицкая. Коптские ткани. Москва, 2010. Отпечатано в ОАО. Типография «Новости». Москва, ул. Фридриха Энгельса, д. 46. С. 416 с илл.
6. Орфинская, О. В. Текстильные технологии Египта: сырьевая база / О. В. Орфинская // Текст научной статьи по специальности «История и археология». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tekstilnyye-tehnologii-egipta-syriyevaya-baza> (дата обращения: 30.10.2025).
7. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Гобелен_из_Байё (дата обращения 05.12.2025).
8. [Электронный ресурс]. URL: https://www.icon-art.info/masterpiece.php?mst_id=5246 / Богоматерь на троне, Христос на троне и двенадцать апостолов в медальонах. (дата обращения 105.04.2026).
9. [Электронный ресурс]. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.3f316cb8-69d90525-8568b9d3-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Hestia_Tapestry. Гестия подательница благословений (дата обращения 04.04.2026).
10. [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/200779-muzej-kljuni-gobeleny-dama-s-edinorogom.html/> Дама с единорогом (дата обращения 20.11.2025).
11. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Анжерский_Апокалипсис (дата обращения 12.11.2025).
12. [Электронный ресурс]. URL: <https://tanjand.livejournal.com/1190891.html/> Триумф Евхаристии (дата обращения 11.04.2026).
13. [Электронный ресурс]. URL: <https://dom-gobelenov.ru/news/gobeleny-po-motivam-rafaelya.html/> Деяния апостолов (дата обращения 10.04.2026).
14. [Электронный ресурс]. URL: https://otzovik.com/review_8862842.html / Пасторальные сцены (дата обращения 10.04.2026).

УДК 677.072

А.С. НиколаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ВЫШИВАЛЬНЫЕ НИТКИ И ИХ СВОЙСТВА**

© А.С. Николаева, 2026

Аннотация: в статье подробно рассмотрены основные виды вышивальных нитей с точки зрения их физико-механических и эстетических свойств. Проведён сравнительный анализ материалов, используемых для изготовления вышивальных ниток, с целью выявления наиболее значимых критериев выбора вышивальных нитей для разных задач проведён экспертный опрос опытных мастеров вышивки. Полученные данные позволили систематизировать приоритеты специалистов, включая показатели прочности, устойчивости к сухому трению. Дополнительно выполнен анализ основных свойств вышивальных и швейных нитей аналогичного сырьевого состава. В ходе сравнения выявлены структурные особенности, принципиально отличающие эти группы друг от друга: крутка, степень прочности на разрыв. Проанализировано, как эти различия обусловлены функциональным назначением нитей: вышивальные нити ориентированы на декоративную выразительность и визуальные эффекты, тогда как швейные — на создание прочных и долговечных соединительных швов.

Ключевые слова: вышивка, вышивальные нитки, швейные нитки, разрывная нагрузка, ворсистость, устойчивость окраски, сравнение свойств ниток.

A.S. NikolaevaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**RESEARCH AND COMPARISON OF THE PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF THREADS**

Abstract: The article provides a detailed review of the main types of embroidery threads in terms of their physical, mechanical, and aesthetic properties. A comparative analysis of the materials used for embroidery threads has been conducted, and an expert survey of experienced embroidery artists has been conducted to identify the most significant criteria for selecting embroidery threads for different tasks. The data obtained have allowed for the systematization of the experts' priorities, including factors such as strength and resistance to dry friction. Additionally, an analysis of the main properties of embroidery and sewing threads with similar raw materials has been conducted. In the course of the comparison, structural features were identified that fundamentally distinguish these groups from each other: twist, degree of tensile strength. It is analyzed how these differences are caused by the functional purpose of the threads: embroidery threads are focused on decorative expressiveness and visual effects, while sewing threads are focused on creating strong and durable connecting seams.

Keywords: embroidery, embroidery threads, sewing threads, breaking strength, pile, colorfastness, comparison of thread properties.

Вышивка является неотъемлемой частью культуры разных народов. Первое упоминание этого ремесла в истории датируется периодом неолита (около 30 000 лет назад), а самому древнему образцу, найденному в Египте, более 4 500 лет. Вышивка служила украшением и обозначала статус: чем он выше, тем больше площадь вышитого узора и сложнее сюжет. Также, на внешний вид получаемого изображения влиял используемый в процессе материал. Вышитые льном изображения отличались высокой прочностью, но, из-за структурных особенностей волокна, требовали грамотной подготовки перед вышивкой. При использовании шерстяных нитей в работе можно было достичь глубокого рельефа, так как нити характеризовались высокой объемностью. Вышивка из хлопковой пряжи использовалась при создании, как простых орнаментов, так и в сложных, детализированных работах. Шелковая вышивка отличалась особым блеском и требовала от ремесленников исключительной точности.

На внешний вид готового изделия влияет не только выбор нитей, но и способ вышивки. Мастера со всего мира стремились создать узнаваемые и неповторимые сюжеты, желая украсить свой мир чем-то особенным. Вышивка крестом получила наибольшее распространение – это способ вышивания рисунка на канве с помощью иглы и цветных нитей. Кроме креста, используются и другие виды стежков:

полукрест, петит (часть креста) или бэкстич (контур). Вышивка гладью – не менее распространенный способ, в основе которого стежки наносятся на тканое полотно вплотную друг к другу, не оставляя промежутков. В этой технике часто комбинируются различные швы и приемы, и получается, так называемая, художественная гладь. Отдельно выделяют вышивку из шелка. Эта вышивка является одним из видов глади, пришедшим к нам из Китая. За основу берется шелковая ткань, на которой вышивается сюжет шелковыми нитями, обладающими повышенной прочностью, блеском и яркими оттенками. Вышитые шелком картины сочетают в себе традиционную вышивку и живопись, и за счет особенностей строения нитей десятки лет сохраняют свой первозданный вид. Вышивка канителью или золотом – еще один вид роскоши, который сегодня используется для церковного облачения, икон и женской одежды. Она считается самой трудоемкой, из-за сильной скручиваемости нитей. Отдельно выделяют вышивку с использованием бисера и лент. Считается, что название «бисер» происходит от арабского «буера», что означает, маленькие капли стекла. Бисером не только вышивают картины, но и с его помощью создается множество украшений, например, брошей, сережек, кулонов. Вышивка лентами особенно привлекательна тем, что позволяет придать вышивке объем. В вышивке могут сочетаться разные виды стежков и техник, а так же различные виды лент [1].

С появлением химических волокон в 20-е годы двадцатого столетия мир вышивки заиграл новыми цветами и материалами. Промышленная революция автоматизировала процесс создания вышивальных узоров, расширив их появление на рынке и доступность в цене. Сегодня каждый может познакомиться с различными школами и направлениями, создать уникальную работу, благодаря сохраненным техникам великих мастеров. Многие торговые марки ориентированы исключительно на создание нитей для вышивания. Оправдано ли такое разнообразие материалов? Почему мастера не используют при вышивании, например, швейные нити? Зачастую они производятся из тех же материалов, имеют схожие показатели линейной плотности, но при этом еще и во много раз превышают показатели прочности, по чему можно прогнозировать долговечность использования готового изделия.

Для проведения исследования и установления понимания, есть ли разница, важно разобраться в видах вышивальных нитей. Различают вышивальные нити для ручной и машинной вышивки. В зависимости от особенностей технологии выработки вышивки, нить, используемая в процессе должна отвечать определенным физико-механическим характеристикам. Так, при создании ручной вышивки большее значение имеет внешний вид материала, из которого сделана нить, тогда как при создании машинной вышивки необходимо учитывать такие показатели как гладкость, низкая обрывность и величина электризуемости волокна. На появление тех или иных свойств готовой нити влияет выбор сырья, из которого она была произведена. Вышивальные нити делятся на нити, полученные из натуральных, химических волокон и их смеси.

Для того чтобы определить, какие характеристики вышивальных нитей имеют значения для профессиональных вышивальщиц и людей, увлеченных этим мастерством, был проведен экспертный опрос с целью выявления наиболее важных критериев, на которые обращают внимания специалисты при выборе материалов. В качестве критериев выбран комплекс показателей, наиболее полно характеризующих свойства вышивальных ниток:

- x_1 – емкость катушки (пасьмы), м;
- x_2 – стоимость, р;
- x_3 – материал (тип волокна);
- x_4 – линейная плотность, текс/№;
- x_5 – яркость цвета;
- x_6 – эффективность нити;
- x_7 – цветостойкость;
- x_8 – прочность нити, сН/текс.

Обработка анкет заключается в определении степени важности рассматриваемых критериев и оценке согласованности мнений экспертов. Каждый эксперт оценивает предложенные критерии по 8-балльной шкале (все критерии должны иметь разную оценку от 1 до 8), независимо от предыдущих (таблица 1).

Для оценки весомости используют соотношение:

$$\alpha_j = \frac{1/S_j}{\sum_j^n \frac{1}{S_j}}$$

где $S_j = \sum_{i=1}^m r_{ij}$ – сумма рангов для j -го свойства ($j = 1, 2, \dots, n$) по всем m респондентам;

r_{ij} – ранг, присвоенный j -му свойству i -м респондентом.

При этом должно выполняться соотношение $\sum \alpha = 1$.

Коэффициент конкордации

$$W = \frac{S}{S_{\max}}$$

где $S = \sum (S_j - \bar{S})^2$ – сумма квадратов отклонений.

$$S_{\max} = \frac{1}{12} m^2 (n^3 - n),$$

где m – число респондентов; n – число свойств.

Значимость коэффициента конкордации в контрольном варианте 0,06 при числе свойств более 7 оценивают по распределению χ^2 для величины

$$\chi^2 = m(n-1)W.$$

Табличное значение $\chi^2_{\text{табл}} = 2,17$ при $\nu = 8 - 1 = 7$ степеней свободы и уровне значимости РД = 0,95. При расчетном значении больше табличного можно с заданным уровнем значимости считать W значимой, т. е. гипотеза о наличии согласованности мнений экспертов принимается [2].

Таблица 1. Экспертный опрос

Номер респондента	Ранговые оценки характеристик вышивальных нитей							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
1	7	8	1	2	3	4	5	6
2	7	8	1	3	5	4	6	2
3	6	2	1	5	8	7	3	4
4	8	3	1	2	7	6	5	4
5	7	2	3	8	4	6	5	1
6	7	8	1	6	4	2	3	5
7	8	4	5	6	7	1	2	3
8	6	7	1	4	5	8	3	2
9	7	4	8	6	3	5	2	1
10	6	7	1	4	5	8	3	2
Sy_i	69	53	23	46	51	51	37	30
$1/Sy_i$	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
\bar{x}	6,9	5,3	2,3	4,6	5,1	5,1	3,7	3
σ_j	0,07	0,10	0,22	0,11	0,10	0,10	0,14	0,17
$(S_j - \bar{S})^2$	4,90	58,10	52,10	34,40	26,90	50,90	18,10	26,00
$\Sigma(S_j - \bar{S})^2$	271,4							
S_{\max}	4200,00							
W	0,06							
χ^2	4,52							

В результате проведения экспертного опроса, обработки полученных статистических данных и определения весомости выбранных показателей, респонденты выделили три главных критерия, на которые они обращают внимание при выборе вышивальных нитей:

- материал (тип волокна);
- прочность нити, сН/текс;
- цветостойкость.

Для проверки отобранных показателей были выбраны образцы вышивальных нитей различных торговых марок, характеристики которых представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики испытуемых вышивальных нитей

№	Торговое имя	Состав	Назначение	Линейная плотность	Страна производитель	Емкость пачки
1	Marathon	100 % вискоза	Нитки вышивальные для	25 текс	Южная Корея	5000 м

			машинной вышивки			
2	ПНК. им. Кирова	100 % хлопок	Нитки вышивальные для ручной вышивки	15,4 текс	Россия	100 м набор 5 шт. по 20 м
3	РИОЛИС	30 % шерсть 70 % акрил	Нитки для ручной вышивки	29 текс	Россия	20 м набор 10 шт. по 2 метра
4	Madeira	68 % полиэстер 32 % металлизи- рованный полиэстер	Нитки вышивальные для ручной и машинной вышивки	15,4 текс	Германия	200 м

Для выявления особенностей вышивальных нитей необходимо провести сравнительных анализ одних и тех же показателей для вышивальных и шейных нитей. В таблице 3 представлены характеристики армированных швейных нитей 45ЛЛ с оплеткой.

Таблица 3. Характеристики испытуемых швейных нитей

№	Торговое имя	Состав	Назначение	Линейная плотность	Страна производитель
1	ПНК им. Кирова	100 % лавсан	Для шитья	43	Россия
2	Гронитекс	100 % лавсан	Для шитья	44	Беларусь
3	Aman	100 % полиэстер	Для шитья	43	Чехия
4	Gutterman	100 % полиэстер	Для шитья	35	Германия

Первая характеристика, которую необходимо сравнить, это тип волокна, из которого произведена нить. Для выбранных вышивальных нитей используются различные волокна, такие как вискоза, хлопок, шерсть, акрил, полиэстер. Такое разнообразие обусловлено отсутствием необходимости в повышенной прочности получаемого продукта. При анализе состава швейных нитей видно сокращение сырьевого разнообразия используемых волокон: хлопок, полиэстер. Также, при выработке швейных нитей используется только один компонент, в отличие от производства вышивальных нитей, где возможно применение смеси волокон. Это обусловлено тем, что швейные нити требуют повышенной прочности во время эксплуатации.

Следующий критерий сравнения, который выбирается исходя из выбранного материала, назначения, линейной плотности и влияет на готовые нити – это способ прядения для одной и другой группы. Рассмотрим технологическую цепочку для выработки швейных и вышивальных нитей из хлопка (таблица 4).

Таблица 4. Технологическая цепочка для выработки вышивальных и швейных нитей

Получение вышивальных и швейных нитей из хлопка
1. Разрыхлительно-очистительный агрегат
2. Чесальная машина
3. Лентосоединительная машина
4. Холстовытяжная машина
5. Гребнечесальная машина
6. Ленточная машина 1 переход
7. Ленточная машина 2 переход
8. Ровничная машина
9. Кольцепрядильная машина

Несмотря на то, что состав прядильного цеха один и тот же, режим работы оборудования при выработке той или иной группы нитей будет отличаться [3]. И при выработке швейных нитей и при выработке вышивальных нитей необходимо достичь максимального очищения, разрыхления, смешивания и распрямления волокон. Различие заключается в крутке нитей, как на прядильных, так и крутильных машинах. Поскольку при производстве вышивальных ниток крутка меньше, то производительность всей технологической цепочки возрастает.

Разрывная нагрузка (сН) или прочность нити – еще один объективный показатель, который отображает максимальную нагрузку, при которой проба разрушается. Результаты испытаний, проведенные на разрывной машине, представлены в таблице 5 [4].

Таблица 5. Показатели разрывной нагрузки исследуемых нитей

№	Торговое имя	Разрывная нагрузка, сН	Коэф. вариации по разрывной нагрузке, %	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс
Вышивальные нити				
1	Marathon	474,3	7,16	18,0
2	ПНК. им. Кирова	422,4	2,62	27,1
3	РИОЛИС	446,8	8,46	7,7
4	Madeira	235,3	26,94	16,2
Швейные нити				
1	ПНК. им. Кирова	2090,94	2,40	48,62
2	Гронитекс	1513,20	3,81	35,19
3	Aman	1605,50	2,20	37,43
4	Gutterman	1067,40	4,26	30,40

Так как все испытываемые нити имеют различную линейную плотность, выводы о прочностных характеристиках и их сравнение возможно только по величине относительной разрывной нагрузки (сН/текс). При анализе результатов, видно, что швейные нити на порядок прочнее, чем вышивальные. Самая минимальная прочность соответствует вышивальным нитям из смеси шерсти и акрила, а самая высокая прочность у швейных нитей из лавсана. Самая прочная из вышивальных нитей – мулине из 100% хлопка, что подтверждает теорию о том, что нити из одного компонента более прочные, чем нити из смеси волокон.

На прочность также влияет показатель крутки. Для проверки числа кручений на метр используется крутомер, который определяет направление крутки и число кручений на заданную длину [5]. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6. Показатели крутки нитей исследуемых нитей

№	Торговое имя	Крутка, кр/м	Направление крутки	Коэф. вариации по крутке, %
Вышивальные нити				
1	Marathon	547	s	4,71
2	ПНК. им. Кирова	531,6	s	5,49
3	РИОЛИС	202,4	s	7,58
4	Madeira	372	z	2,82
Швейные нити				
1	К. Кирова	751,2	z	2,51
2	Гронитекс	712	z	3,49
3	Aman	750,8	z	2,33
4	Gutterman	714,4	z	2,14

При анализе полученных данных, можно сделать вывод, о том, что крутка швейных нитей превышает число кручений на метр вышивальных нитей. Это обусловлено тем, что крутка, помимо прочностных свойств, делает пряжу более плотной и менее эластичной. В процессе сшивания разных частей изделия между собой, высокая прочность – это необходимое условие, обеспечивающее надежность шва. Для вышивальных нитей важно сочетание мягкости и гибкости, особенно при создании работ вручную, так как на конечный результат влияет не только выбор нити, но и способ вышивания. Довольно часто при создании работ требуется достижение оптимального натяжения обрабатываемой

поверхности, которое возможно только при условии сохранения нитью пластичности.

Ворсистость – еще один показатель, который влияет на внешний вид готового изделия. В вышивке ворсистость нити помогает создать эффект заливки на ткани, а комплексные вышивальные нити из химических волокон с низкой ворсистостью используют в качестве контуров рисунков. Для швейных нитей ворсистость также важна, так как она влияет на внешний вид швов готового изделия. Для получения данных о ворсистости вышивальных и швейных нитей используется система LASERSPOT LST II, результаты замера с которой представлены в таблице 7.

Таблица 7. Сравнительная таблица вышивальных и швейных нитей по ворсистости

№	Торговое имя	Диаметр	Коэф вариации по диаметру	Ворсистость	Коэф вариации по ворсистости	Кол-во ворсинок > 5 мм	Кол-во ворсинок > 3 мм	Кол-во ворсинок > 1 мм
Вышивальные нити								
1	Marathon	99,6	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	ПНК. им. Кирова	94,7	16,4	109,1	33,9	30,0	258,0	1069,0
3	РИОЛИС	81	58,8	49,6	89,0	100,8	292,8	752,4
4	Madeira	92,3	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Швейные нити								
1	ПНК. им. Кирова	99,1	11,9	42,1	68,1	74,1	328,7	1153,3
2	Гронитекс	96,9	16,2	63,7	58,4	128,3	438,3	1170,4
3	Aman	99,5	7,3	30,0	67,9	27,2	148,7	905,8
4	Gutterman	98,6	6,0	11,2	52,3	0	0	63,7

При сравнении показателя ворсистости установлено, что ворсистость швейных нитей сильно зависит от производителя и технологии получения армированных ниток. Сам показатель ворсистости значительно выше у вышивальных нитей, но большую его часть составляют волокна более 3 и 1 мм, тогда как в швейных нитях распределение волокон разной длины более равномерное. Также выявлено, что вышивальные образцы из комплексных нитей (капроновых и вискозных) обладают низкой ворсистостью из-за свойств сырья, что подтверждает их назначение (для машинной вышивки).

Цветостойкость – необходимая характеристика для вышивальных нитей. Важно, чтобы в процессе эксплуатации вышивка не теряла яркости и насыщенности цвета, например, при трении о поверхность ткани или иного материала. При испытании устойчивости окраски к сухому трению в сравнение были взяты все образцы вышивальных нитей и цветной образец швейных нитей под торговым именем «Гронитекс». При проведении испытаний из нитей были сформированы пробы размерами 50 x 140 мм. Каждая проба прикреплялась с помощью зажимов на неподвижный столик, где под весом стержня с закрепленным на него образцом хлопковой ткани, со скоростью один цикл в секунду проводилось трение о поверхность сухой испытываемой пробы 20 раз по прямой, то есть 10 раз в одну сторону и 10 раз в обратную, на расстоянии (104 ± 3) мм с усилием $(9 \pm 0,2)$ Н. После проведения испытания, полученный образец смежной хлопчатобумажной ткани очищали от посторонних волокон и подвергали оценке в соответствии с серой шкалой для оценки степени закрашивания. Результат проверки устойчивости окраски нитей к сухому трению представлен в таблице 8 [6].

Таблица 8. Результат проверки устойчивости окраски нитей к сухому трению

№	Торговое имя	Закрашивание белого материала	Посветление первоначальной окраски
1	Marathon	5	5
2	ПНК. им. Кирова	3	4
3	РИОЛИС	4	4
4	Madeira	1	3
5	Гронитекс	5	5

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, о том, что швейные нити из лавсана и

вышивальные нити из вискозы обладают хорошей устойчивостью к сухому трению и их можно использовать в отделке поверхностей ткани. Самой нестойкой окраской обладают капроновые вышивальные нити с металлизированным компонентом. Это может быть связано с тем, что поверхность металлизированной нити покрыта специальным напылением, которое легко разрушается при воздействии сил трения. Из этого следует, что данная нить может использоваться для контурной вышивки.

Все проведенные исследования подтверждают, что вышивальные и швейные нити – это разные нити, несмотря на схожесть технологического процесса получения и использования одних и тех же компонентов.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Осипов М.И.

*Scientific supervisor: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
Osipov Mikhail Ivanovich*

Список литературы

1. Вышивать! 12 видов вышивки и их изумительные экземпляры. URL: <https://www.livemaster.ru/topic/3241484-article-vyshivat-12-vidov-vyshivki-i-ih-izumitelnye-ekzemplary?ysclid=mnhszlz6hrw396313109> (дата обращения: 06.04.2026).
2. Иванов О.М., Бабина Н.А. Основы моделирования технологических процессов: практикум. СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2021. 31 с.
3. Павлов Ю.В., Минофьева Н.А., Шеманаев В.Д. и др. Бизнес-планирование при проектировании хлопкопрядильных фабрик. Иваново: ИГТА, 2007. 524 с.
4. ГОСТ 9733.27–83. Нити текстильные методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. М.: ИПК Издательство стандартов, 1976, 36 с.
5. ГОСТ ISO 2061–2014. Материалы текстильные. Определение крутки пряжи. Метод прямого подсчёта. М.: Стандартиформ. 2015, 16 с.
6. ГОСТ 9733.27–83. Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению. М.: ИПК Издательство стандартов, 1986, 6 с.

References

1. Embroider! 12 types of embroidery and their amazing examples. URL: <https://www.livemaster.ru/topic/3241484-article-vyshivat-12-vidov-vyshivki-i-ih-izumitelnye-ekzemplary?ysclid=mnhszlz6hrw396313109> (accessed on 06.04.2026)
2. Ivanov O.M., Babina N.A. Fundamentals of Modeling Technological Processes: A Practicum. Saint Petersburg: FGBOU VO SPbGUPTD, 2021. 31 p.
3. Pavlov Yu.V., Minofieva N.A., Shemanayev V.D., et al. Business Planning in the Design of Cotton Spinning Mills. Ivanovo: IGTA, 2007. 524 p.
4. GOST 9733.27–83. Textile files: methods of determining tension and elongation at tension. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1976, 36 p.
5. GOST ISO 2061–2014. Textile materials. Determination of yarn twist. Direct counting method. Moscow: Standartinform. 2015, 16 p.
6. GOST 9733.27–83. Textile materials. Method of testing the resistance of colors to friction. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1986, 6 p.

УДК 677.026. (035)

Смирнов Г.П., Гусарова А.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» 191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ ПЛЕНКИ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ВТОРИЧНОЙ ПОДЛОЖКИ ТАФТИНГОВОГО НАПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

© Смирнов Г.П., Гусарова А.С., 2026 год

Статья посвящена совершенствованию технологии дублирования слоёв при производстве тафтинговых напольных ковровых покрытий. Объектом исследования является термопластичная полиэтиленовая плёнка, используемая в качестве связующего вместо традиционного латекса. Цель работы — установление рациональной поверхностной плотности полиэтиленовой плёнки, обеспечивающей нормативный уровень прочности скрепления ворсовой основы с вторичной подложкой. В ходе работы были проведены экспериментальные исследования влияния поверхностной плотности адгезива на сопротивление расслаиванию дублированной системы, выполнена статистическая обработка полученных данных, построены линейная, квадратичная и нелинейная (логистическая) регрессионные модели. На основе анализа моделей определена оптимальная поверхностная плотность плёнки, а также выполнена приближённая оценка экономического эффекта от внедрения предлагаемого технического решения.

Ключевые слова: тафтинговый ковер, напольное покрытие, полиэтиленовая пленка, поверхностная плотность, прочность расслаивания, клеевое соединение, термопластичный полимер, вторичная подложка.

Smirnov G.P., Gusarova A.S.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design" 191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE SURFACE DENSITY OF A THERMOPLASTIC FILM ON THE ADHESIVE BONDING STRENGTH WHEN FIXING THE SECONDARY SUBSTRATE OF A TUFTED FLOOR COVERING

The article is devoted to improving the technology of duplicating layers in the production of tufted floor carpets. The object of the study is a thermoplastic polyethylene film used as a binder instead of traditional latex. The purpose of the work is to establish a rational surface density of the polyethylene film that ensures a standard level of adhesion strength between the pile base and the secondary substrate. The work includes experimental studies of the influence of the surface density of the adhesive on the resistance to delamination of the duplicated system, statistical processing of the obtained data, and the construction of linear, quadratic, and nonlinear (logistic) regression models. Based on the analysis of the models, the optimal surface density of the film was determined, and an approximate assessment of the economic effect of implementing the proposed technical solution was performed.

Keywords: tufted carpet, floor covering, polyethylene film, surface density, delamination resistance, adhesive bonding, thermoplastic polymer, secondary substrate.

Введение

В современном производстве текстильных напольных покрытий значительную долю занимают тафтинговые изделия. Технологический цикл их изготовления включает операцию закрепления ворса на первичной основе и последующего дублирования с вторичным слоем. Традиционно для этого применяют латексные композиции, которые наносят в жидком виде с последующей сушкой и термофиксацией. Данный способ сопряжён с рядом недостатков: необходимость организации химического участка, высокий расход тепловой энергии на испарение воды, значительные габариты сушильного оборудования, а также нагрузка на окружающую среду.

В качестве альтернативы рассматривается использование твёрдых термопластичных адгезивов, в частности полиэтиленовых плёнок. При нагреве такой материал переходит в вязкотекучее состояние, смачивает соединяемые поверхности, а после охлаждения образует прочный клеевой шов. Отсутствие жидкой фазы исключает стадию сушки, что сокращает энергопотребление и упрощает оборудование. Однако для практического внедрения необходимо установить зависимость прочности соединения от количества вводимого полимера, т.е. от поверхностной плотности плёнки [1 - 3].

Цель настоящей работы – экспериментально определить минимальную и оптимальную поверхностную плотность полиэтиленовой плёнки, при которой прочность расслаивания дублированного тафтингового пакета соответствует отраслевым нормам, и построить математическую модель, описывающую эту зависимость.

Методика проведения эксперимента и его результаты

Для исследования использовали образцы тафтингового покрытия, состоящие из ворса (полиамид), первичной подложки (полипропилен) и вторичной подложки (нетканый полиэфирный войлок). В качестве связующего применяли полиэтиленовую пленку с варьируемой поверхностной плотностью от 16 до 160 г/м². Предварительными опытами установлено, что температура плавления пленки составляет 110 °С, а для надёжного скрепления всех слоев необходимо обеспечить температуру не ниже температуры плавления полипропиленовой основы (160 °С). Исходя из этого, режим термофиксации принят: температура 160 °С, время выдержки 30 с, давление 0,2 МПа.

Подготовку образцов проводили следующим образом: из рулонных материалов вырезали заготовки размером 150×150 мм (ворсовая и вторичная подложка), а пленку – размером 100×100 мм. Пакет укладывали в термопресс марки «Schenk GmbH Maschinenbau» (тип ТРМ/2) и выдерживали при заданном режиме. Сборка пакетов: из каждого рулонного материала вырезали квадраты 150×150 мм, плёнку – 100×100 мм. Такое расположение позволяло после склеивания иметь свободные концы для зажима в разрывной машине. Для каждого значения поверхностной плотности готовили не менее шести параллельных образцов. Испытания проводили на универсальной разрывной машине Instron 1122 при скорости подвижного зажима 100 мм/мин в соответствии с ГОСТ 17317-88 «Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями» [3, 4].

Прочность клеевого соединения X (Н/м) вычисляли по формуле (1):

$$X = \frac{P}{B}, \quad (1)$$

где P – средняя нагрузка расслаивания пробы, Н; B – номинальная ширина пробы, м.

На рис. 1 показан процесс расслаивания образца на разрывной машине.

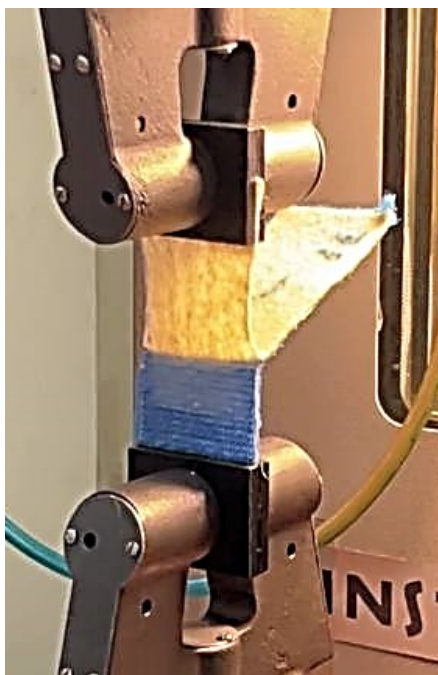


Рис. 1. Расслаивание образцов на разрывной машине Instron 1122

Результаты испытаний и статистической обработки (среднее значение, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации) представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, при поверхностной плотности пленки менее 48 г/м² скрепление практически отсутствует. Начиная с 64

г/м² прочность возрастает, достигая максимума (892 Н/м) при 80 г/м². При дальнейшем увеличении поверхностной плотности до 96 г/м² и выше прочность снижается до 816–530 Н/м, что связано с избытком расплава, ухудшающим адгезию.

Таблица 1. Результаты эксперимента и статистической обработки данных

$P_{пв}, \text{ г/м}^2$	$P_i, \text{ Н}$						$P_{cp}, \text{ Н}$	S^2	S	$C_v, \%$	$X, \text{ Н/м}$
16	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
48	1,8	2	2,2	2,3	1,5	1,7	1,92	0,09	0,31	15,97	38,4
64	13	11,9	13,2	10,2	11,7	12,4	12,1	1,18	1,09	9,01	242
80	40	43	43,8	46	45,5	49	44,6	9,30	3,05	6,84	892
96	32	37	40	41	47	48	40,8	36,57	6,05	14,81	816
112	21	24	25	28	30	31	26,5	14,70	3,83	14,47	530
128	43	36	40	32	30	38	36,5	23,90	4,89	13,39	730
144	42	35	39	35,5	41,5	33	37,7	13,77	3,71	9,85	754
160	42	37,5	33	41	34	37,5	37,5	13,00	3,61	9,61	750

Построение регрессионной модели и оценка её адекватности

Для математического описания зависимости прочности от поверхностной плотности пленки были построены три регрессионные модели: линейная, квадратичная и нелинейная (логистическая). Коэффициенты рассчитывали методом наименьших квадратов с помощью пакета MS Excel (надстройка «Поиск решения»).

Линейная модель (2) имеет вид:

$$Y = 0,31x - 3,37, \quad \hat{\epsilon} \quad (2)$$

где x – поверхностная плотность пленки, г/м²; Y – прочность скрепления, Н/м. Сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от расчётных составила 1020, расчётный критерий Фишера $F_R = 68,2$ превышает табличное значение $F_T = 3,01$ (при доверительной вероятности 0,95), что свидетельствует о неадекватности.

Квадратичная модель (3) в натуральных переменных:

$$Y = -19,21 + 0,773x - 0,0026x^2. \quad \hat{\epsilon} \quad (3)$$

Сумма квадратов отклонений снизилась до 803,32, но $F_R = 53,6$ всё ещё больше $F_T = 3,34$. Модель также не может быть признана адекватной.

Нелинейная модель выбрана с учётом физического смысла: при малых плотностях прочность близка к нулю, затем быстро растёт и выходит на плато. Логистическая функция (4) показала наилучшее соответствие:

$$Y = \frac{C}{1 + e^{-k(x-a)}}, \quad \hat{\epsilon} \quad (4)$$

где C – максимальная прочность (асимптота); k – параметр крутизны; a – точка перегиба. После оптимизации получено уравнение (5):

$$Y = \frac{37,3}{1 + e^{-(x-64,7)}}. \quad (5)$$

Коэффициенты нелинейной модели C , k , a рассчитывали с помощью пакета MS Excel («Поиск решения»). Численные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Расчётные значения для поиска коэффициентов в нелинейной модели

$P_{пв}, \text{ г/м}^2$	$P_{cp}, \text{ Н}$	$P_p, \text{ Н}$	$(P_{cp} - P_p)^2$
16	0,0	0,00	0,00
32	0,0	0,00	0,00
48	1,9	0,00	3,67
64	12,1	12,02	0,00
80	44,6	37,25	53,24
96	40,8	37,25	12,81
112	26,5	37,25	115,66
128	36,5	37,25	0,57
144	37,7	37,25	0,17

160	37,5	37,25	0,06
		Σ	186,18

Для этой модели расчётный критерий Фишера $F_R=2,37$ меньше табличного $F_T=2,81$ (при $p_d=0,95$, $f_1=9$, $f_2=50$), что свидетельствует об адекватности. На рис. 2 сопоставлены экспериментальные данные и все три модели.

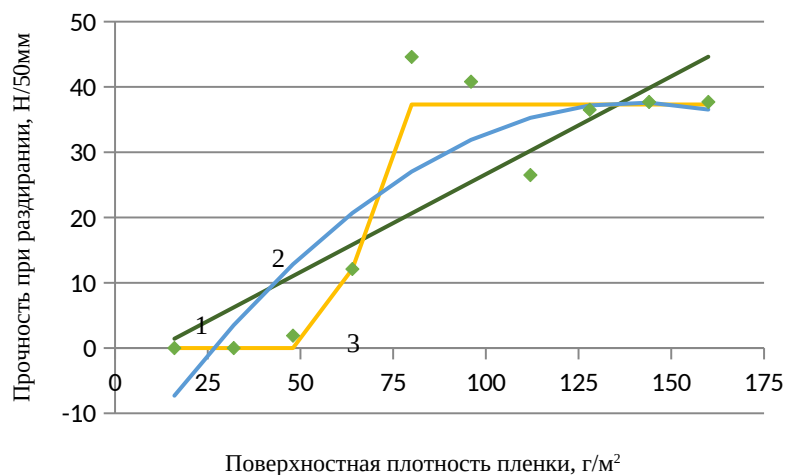


Рис. 2. Экспериментальные результаты и расчётные зависимости прочности соединения от поверхностной плотности пленки

1 – линейная модель; 2 – квадратичная модель; 3 – нелинейная модель

Наглядное сравнение моделей по сумме квадратов отклонений (табл. 2) подтверждает, что нелинейная модель (5) описывает экспериментальные результаты с наименьшей погрешностью.

Таблица 3 – Сравнение математических моделей

Модель (3) квадратичная	Сумма квадратов отклонений расчетных и экспериментальных значений	Модель (5) нелинейная	Сумма квадратов отклонений расчетных и экспериментальных значений
$Y = -19,21 + 0,773x - 0,0026x^2$	803,32	$Y = \frac{37,3}{1 + e^{-(x-64,7)}}$	186,18

Согласно техническим условиям (ТУ) на тафтинговые покрытия, требуемая прочность скрепления составляет не менее 200 Н/м. При температуре 160 °С и времени выдержки 30 с эта прочность достигается при поверхностной плотности пленки 48–50 г/м², однако для стабильного превышения норматива и обеспечения запаса прочности оптимальной следует считать поверхностную плотность 80 г/м², при которой наблюдается максимум прочности (892 Н/м).

Оценка экономической эффективности технического решения

Замена жидкого латекса на полиэтиленовую пленку позволяет сократить затраты по двум основным статьям: стоимость связующего и энергопотребление [3, 5]. Расчёт выполнен для годового объёма выпуска 15 116 400 м² (исходные данные предприятия). При использовании латекса с удельным расходом 1,2 кг/м² и ценой 100 руб./кг годовые затраты составляют 1 814 тыс. руб. При использовании пленки с поверхностной плотностью 80 г/м² (0,08 кг/м²) и цене 180 руб./кг затраты равны 217,7 тыс. руб. Экономия на материале – 1 596,3 тыс. руб./год.

Энергозатраты: для латекса требуется нагрев воды до 100 °С и её испарение (удельная теплоёмкость 4,2 кДж/(кг·К), теплота парообразования 2260 кДж/кг). Для пленки – только нагрев и плавление полиэтилена (удельная теплоёмкость 2,0 кДж/(кг·К), теплота плавления 140 кДж/кг). С учётом годовой производительности экономия электроэнергии оценивается в 380 тыс. руб./год. Общая годовая экономия составляет около 1 976 тыс. руб. Кроме того, исключаются затраты на очистку сточных вод и содержание химического участка, сокращаются производственные площади.

Выводы

1. Экспериментально подтверждена возможность использования полиэтиленовой термопластичной пленки для скрепления слоёв тафтингового напольного покрытия взамен латексного связующего.

2. Установлено, что при температуре 160 °С и времени выдержки 30 с нормативная прочность расслаивания (200 Н/м) достигается уже при поверхностной плотности пленки около 50 г/м². Максимальная прочность (892 Н/м) наблюдается при плотности 80 г/м².

3. Построена адекватная логистическая регрессионная модель $Y = \frac{37.3}{1 + e^{-(x-64.7)}}$, которая может быть использована для прогнозирования прочности в диапазоне плотностей 30–160 г/м².

4. Замена латекса на полиэтиленовую пленку обеспечивает годовую экономию более 1,97 млн рублей за счёт снижения расхода связующего и энергозатрат, а также способствует повышению экологичности производства.

Список литературы

1. Имбировский Т.О. Применение термопластичных полимеров в качестве связующего при производстве тафтинговых ковров // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – С. 265-271.

2. Бершев Е.Н. Нетканые текстильные полотна. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 400 с.

3. Иванов О.М., Сергеева Т.А., Лурье В.В., Смирнов Г.П. Использование термопластичной пленки вместо жидкого связующего при производстве тафтинговых напольных покрытий // Технический текстиль - основа научно-технического развития России. – М., 2023. – С. 72-75.

4. ГОСТ 17317-88. Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями. – М.: Издательство стандартов, 1988.

5. Иванов О.М. Анализ влияния времени термофиксации на прочность клеевого соединения при закреплении вторичной подложки тафтингового напольного покрытия термопластичными пленками / О.М. Иванов, Т.А. Сергеева, И.В. Гончарова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2024 - № 6.

References

1. Imbirovsky T.O. Use of thermoplastic polymers as a binder in the production of tufted carpets // Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVATIONS-2020). - Moscow: RSU named after A.N. Kosygin, 2020. - pp. 265-271.

2. Bershev E.N. Non-woven textile fabrics. - Moscow: Legprombytizdat, 1987. - 400 p.

3. Ivanov O.M., Sergeeva T.A., Lurye V.V., Smirnov G.P. Use of thermoplastic film instead of liquid binder in the production of tufted floor coverings // Technical textiles - the basis of scientific and technological development of Russia. - Moscow, 2023. - pp. 72-75.

4. GOST 17317-88. Artificial leather. Method for determining the bond strength between layers. – Moscow: Publishing House of Standards, 1988.

5. Ivanov O.M. Analysis of the influence of heat-setting time on the strength of the adhesive joint when fixing the secondary backing of tufted floor coverings with thermoplastic films / O.M. Ivanov, T.A. Sergeeva, I.V. Goncharova // News of higher educational institutions. Technology of light industry, 2024 - No. 6.

Spisok literatury

1. Imbirovskij T.O. Primenenie termoplastichnyh polimerov v kachestve svyazuyushchego pri proizvodstve taftingovyh kovrov // Dizajn, tekhnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (INNOVACII-2020). – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – С. 265-271.

2. Bershev E.N. Netkanye tekstil'nye polotna. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 400 с.

3. Ivanov O.M., Sergeeva T.A., Lur'e V.V., Smirnov G.P. Ispol'zovanie termoplastichnoj plenki vmesto zhidkogo svyazuyushchego pri proizvodstve taftingovyh napol'nyh pokrytij // Tekhnicheskij tekstil' - osnova nauchno-tekhnicheskogo razvitiya Rossii. – М., 2023. – С. 72-75.

4. GOST 17317-88. Kozha iskusstvennaya. Metod opredeleniya prochnosti svyazi mezhdu slojami. – М.: Izdatel'stvo standartov, 1988.

5. Ivanov O.M. Analiz vliyaniya vremeni termofiksacii na prochnost' kleeвого soedineniya pri zakreplenii vtorichnoj podlozhki taftingovogo napol'nogo pokrytiya

termoplastichnymi plenkami / O.M. Ivanov, T.A. Sergeeva, I.V. Goncharova // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti, 2024 - № 6.

УДК 677.051.125.3

А.П. Акулов, Т.Л. ЕгороваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая морская, 18**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ЦИЛИНДРА**

© А.П. Акулов, Т.Л. Егорова 2026

Аннотация. В статье рассмотрена задача исследования температурного поля обогреваемого транспортирующего цилиндра (ОТЦ) как объекта с распределенными параметрами с учетом неравномерности выделения энергии в теле цилиндра при его индукционном нагреве. Исследование базируется на методе сосредоточенных элементов. Численное моделирование процесса разогрева ОТЦ проведено в среде Matlab. Выполнена оценка неравномерности температурного поля вдоль рабочей поверхности транспортирующего цилиндра.

Ключевые слова: ОТЦ, температурное поле, численное моделирование.

A.P. Akulov, T.L. EgorovaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**INVESTIGATION OF THE FIELD TEMPERATURE OF THE WORKING SURFACE OF THE
CONVEYING CYLINDER**

Annotation/ The article considers the problem of studying the temperature field of a heated conveying cylinder (OTC) as an object with distributed parameters, taking into account the uneven release of energy in the cylinder body during its induction heating. The research is based on the method of concentrated elements. Numerical simulation of the heating process of the OTC was carried out in the Matlab environment. The unevenness of the temperature field along the working surface of the conveying cylinder is estimated.

Keywords: OTC, temperature field, numerical modeling.

Производство химических волокон относится к одной из активно развивающихся отраслей легкой промышленности. В последнее время наиболее интенсивно возрастает выпуск синтетических нитей, в том числе капроновых [1].

При производстве синтетических нитей значительную роль в формировании требуемых физико-механических свойств играет тепловая обработка нитей. В частности, технологический процесс производства капроновых нитей предусматривает осуществление ориентационного вытягивания нитей при определенном температурном режиме, обеспечиваемом, в частности, обогреваемыми транспортирующими цилиндрами (ОТЦ), широко применяемым в машинах химических волокон.

Несмотря на широкое применение ОТЦ, в настоящее время эти устройства ещё недостаточно изучены с точки зрения характера выделения активной энергии, обеспечивающей их нагрев, и особенностей температурного поля цилиндров с учётом их взаимодействия с окружающей средой (в том числе с обогреваемой нитью) в различных мощностных и скоростных режимах.

Наиболее предпочтительны конструкции ОТЦ с индукционным нагревом, т.к. эти устройства сравнительно просты, экономичны, быстрее выходят на рабочий режим. Подобная конструкция ОТЦ работает в высокоскоростном приемно-формовочном агрегате АФС-1000-КЖ 18 (рис. 1).

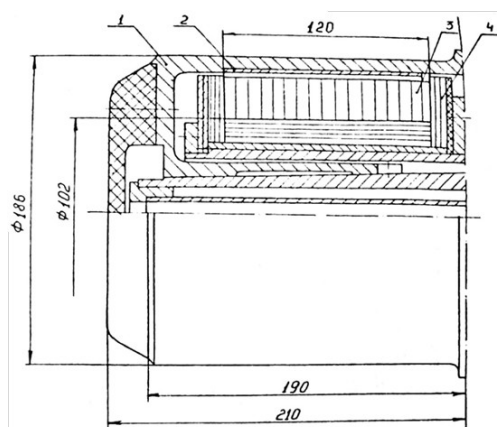


Рис.1.ОТЦ машины АФС-1000-КЖ 18

На рисунке приняты обозначения: 1 – цилиндр; 2 – латунная вставка; 3 – индуктор; 4 – магнитопровод.

Принцип работы обогреваемого транспортирующего цилиндра с индукционным нагревом заключается в следующем: к обмотке индуктора 3 подводится переменное напряжение сетевой частоты, вихревые токи Фуко в теле цилиндра 1 разогревают его. Цилиндр жестко связан с приводным валом, обеспечивающим его вращение.

В литературе, касающейся индукционного нагрева [2], приводятся сведения о том, что распределение плотности индуктированных токов Фуко, а тем самым и активной энергии, выделяемой в цилиндре, является неравномерным по длине цилиндра. Энергия выделяется только в части цилиндра, длина которой равна длине индуктора, причем максимум соответствует середине индуктора.

Рассмотрен вариант неравномерного распределения энергии (рис. 2) при условии постоянства величины суммарной активной энергии, выделяемой в ОТЦ. На рис. 2 приняты следующие обозначения: P_l – значение удельной энергии в точке с координатой l , где l – расстояние от середины индуктора, P – значение уровня энергии при равномерном её распределении.

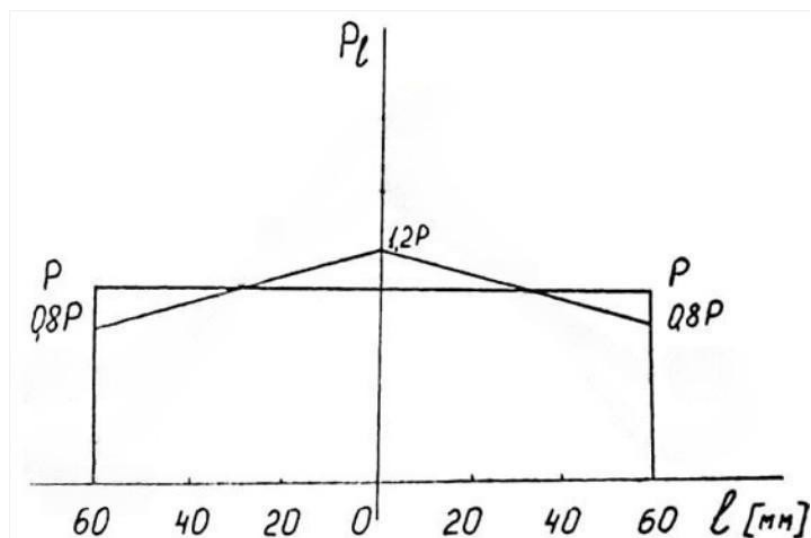


Рис.2. Аппроксимация распределения удельной энергии по длине индуктора

Такой характер распределения удельной активной энергии по длине цилиндра был принят для дальнейших аналитических расчётов температурного поля ОТЦ.

Исследования тепловых процессов в цилиндре как объекте с распределенными параметрами базируются на методе сосредоточенных элементов [3]. Суть этого метода заключается в том, что исследуемый цилиндр разбивается на элементы, теплоемкость которых сосредоточена в центре масс (рис. 3). Эти элементы находятся в состоянии теплообмена с соседними элементами, источниками энергии и окружающей средой.

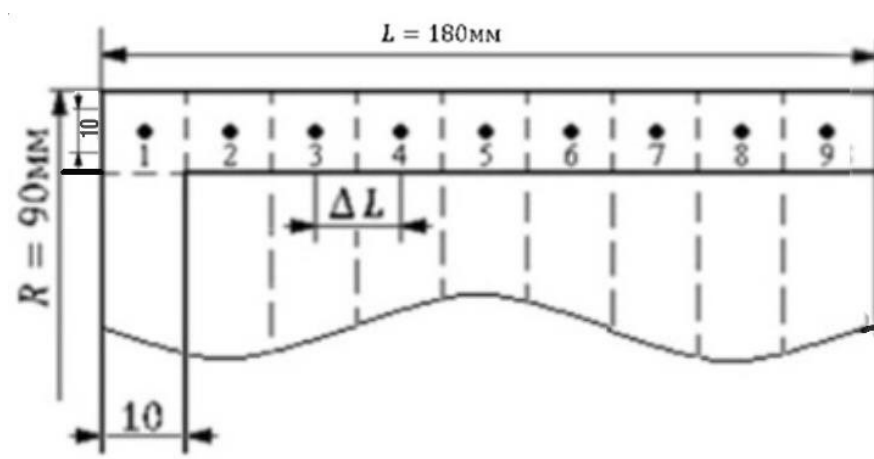


Рис.3. Разбиение цилиндра на элементы

После разбиения имеем 9 элементов с сосредоточенными параметрами, где 1 – диск левого торца, 2÷9 – кольца, одинаковые по размеру.

Уравнение тепловой динамики для каждого i -го элемента цилиндра (i от 2 до 8) имеет вид:

$$C_i \frac{d\theta_i}{dt} = P_i - \alpha F_i (\theta_i - \theta_{oc}) + \frac{\lambda F_{k_i}}{\Delta L} (\theta_{i+1} + \theta_{i-1} - 2\theta_i);$$

C_i – теплоемкость элемента i (ДжК); θ_i – температура в центре масс элемента i (°С); θ_{oc} – температура окружающей среды (°С); P_i – мощность, выделяемая в элементе i (Вт); α – коэффициент теплоотдачи поверхности цилиндра (Вт/(м² К)); F_i – площадь контакта элемента i с окружающей средой (м²); λ – удельная теплопроводность цилиндра (Вт/(м·К)); F_{k_i} – площадь контакта элемента i с соседним элементом (м²); ΔL – расстояние между центрами масс соседних элементов (м).

Для крайних элементов цилиндра последний член уравнения динамики будет иметь другой вид, а именно:

$$\text{для } i=1 \rightarrow \theta_{(i-1)}=0, \text{ поэтому } \frac{\lambda F_k}{\Delta L} (\theta_{(i+1)} - \theta_i);$$

$$\text{для } i=9 \rightarrow \theta_{(i+1)}=0, \text{ поэтому } \frac{\lambda F_k}{\Delta L} (\theta_{(i-1)} - \theta_i)$$

Постоянные составляющие формулы равны:

$$C_1 \div C_9 = C = 460 \text{ ДжК}; \quad \lambda = 48 \text{ Вт/(м·К)}; \quad \Delta L = 20 * 10^{-3} \text{ м.}$$

Выполнено численное моделирование процесса разогрева цилиндра с использованием среды MATLAB.

Характер процесса разогрева элементов цилиндра при $P = 1200$ Вт, и оборотах цилиндра $n = 2100$ мин⁻¹ показан на рис. 5. По оси абсцисс – время процесса, с. По оси ординат – температура элементов цилиндра, °С. При максимальной установившейся температуре 179°С разброс температуры вдоль рабочей поверхности цилиндра составил 30°С.

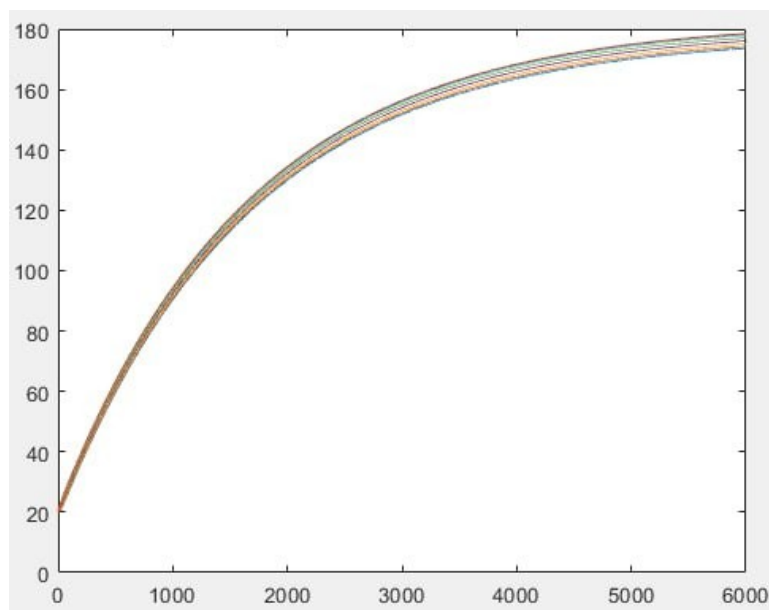


Рис.4. Процесс разогрева элементов цилиндра

Технология ориентационного вытягивания нитей предъявляет определенные требования к равномерности температурного поля рабочей поверхности цилиндра. Перепад температуры больше $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ нежелателен. Полученный разброс не соответствует этим требованиям. Картина распределения температуры, найденная численным моделированием (рис. 5), позволяет выбрать такую зону раскладки нити на поверхности цилиндра, внутри которой допустимый перепад температуры обеспечен.

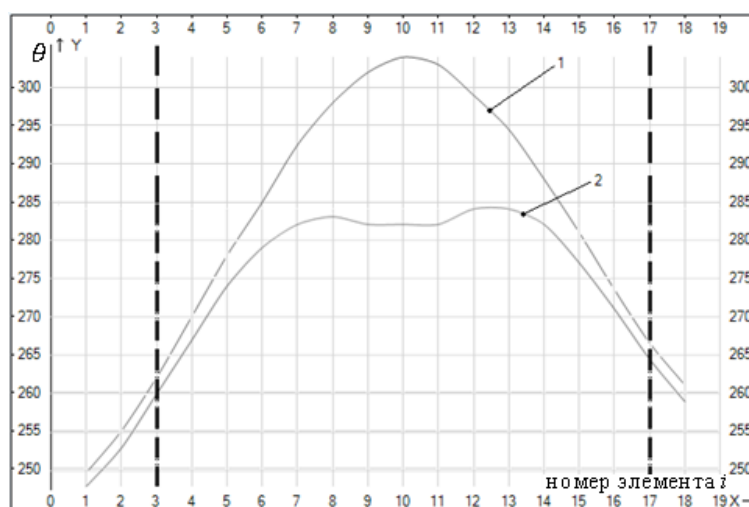


Рис 5. Распределение температуры вдоль рабочей поверхности цилиндра

Научный руководитель: к.т.н. проф. Егорова Т.Л.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences prof. Egorova T.L.

Список литературы

1. Роговин, З. А. Основы химии и технологии химических волокон [Текст]: учебное пособие для студ. высш. тех. учеб. заведений. Т. 2: Производство синтетических волокон / З. А. Роговин. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1974. – 343 с.
2. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления/ В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2007. – 749 с.
3. Шурыгин, Д. А. Задачи математического моделирования в процессе получения волокна капрон /

Д. А. Шурьгин, Системы автоматизации как элементы гибких производственных комплексов в текстильной и легкой промышленности. Межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛИТЛП, 1990 – с. 12-17.

References

1. Rogovin, Z. A. Fundamentals of chemistry and technology of chemical fibers [Text]: a textbook for students. higher tech. studies. 3. Vol. 2: Production of synthetic fibers / Z. A. Rogovin. – 4th ed., revised. and add. – М.: Chemistry, 1974. – 343 p.

2. Besekersky, V. A. Theory of Automatic Control Systems / V. A. Besekersky, E. P. Popov. – 4th ed., revised and expanded. – St. Petersburg: Professiya, 2007. – 749 p.

3. Shurygin, D. A. Problems of Mathematical Modeling in the Process of Obtaining Kapron Fiber /

D. A. Shurygin, Automation Systems as Elements of Flexible Production Complexes in the Textile and Light Industry. Interuniversity collection of scientific papers. L.: LITLP, 1990, pp. 12-17.

УДК - 62-523.8

И.А. Букшин, Т.Л. ЕгороваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ**

© И.А. Букшин, Т.Л. Егорова, 2026

В данной статье рассматривается оптимизация энергопотребления электропривода в автоматизированной системе. Анализируются основные режимы работы привода и источники потерь энергии, возникающие в процессе функционирования. Приведены оценки энергозатрат в различных режимах работы и рассмотрены способы их снижения за счёт рационального выбора параметров системы. Показано, что оптимизация режимов работы позволяет существенно повысить энергетическую эффективность автоматизированных процессов.

Ключевые слова: электропривод, энергопотребление, автоматизированная система, оптимизация, мощность, режим работы.

I.A. Bukshin, T.L. EgorovaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**OPTIMIZATION OF ELECTRIC DRIVE ENERGY CONSUMPTION IN AN AUTOMATED SYSTEM**

This article discusses the optimization of power consumption of an electric drive in an automated system. The main operating modes of the drive and the sources of energy losses arising during operation are analyzed. Estimates of energy consumption in various operating modes are presented and methods for reducing them by rational selection of system parameters are considered. It is shown that optimization of operating modes makes it possible to significantly increase the energy efficiency of automated processes.

Keywords: electric drive, power consumption, automated system, optimization, power, operating mode.

Принцип функционирования автоматизированной системы с оптимизированным электроприводом основан на реализации программно-аппаратного алгоритма управления, обеспечивающего согласование энергетических и технологических параметров рабочего цикла. В отличие от традиционного подхода, при котором привод работает в режиме, ориентированном преимущественно на достижение максимальной производительности, в рассматриваемой системе управляющее воздействие формируется с учётом текущей нагрузки, продолжительности отдельных этапов цикла, допустимого времени разгона и торможения, а также величины потребляемой мощности на каждом участке работы. Управляющая программа, выполняемая микроконтроллером или специализированным контроллером электропривода, формирует последовательность команд изменения напряжения и длительности управляющих импульсов, соответствующих требуемому режиму работы двигателя. Это позволяет реализовать рациональный режим пуска, установившегося движения, кратковременного замедления и перехода в режим ожидания, при котором минимизируются потери энергии без нарушения технологической последовательности операций. В процессе функционирования система анализирует структуру рабочего цикла и распределяет мощность таким образом, чтобы на этапах, не требующих максимального крутящего момента, привод не работал с избыточной нагрузкой. На стадии пуска обеспечивается ограничение пускового тока, что уменьшает тепловые потери в обмотках двигателя и снижает динамическую нагрузку на механическую часть установки. На этапе установившегося движения поддерживается скорость, достаточная для выполнения технологической операции, но не превышающая рационального значения, при котором рост механических и электрических потерь начинает опережать выигрыш по времени цикла. При снижении нагрузки или в моменты межоперационных пауз система

переводит привод в режим частичного или полного снижения мощности, исключая длительную работу на холостом ходу, которая в условиях повторяющихся циклов приводит к неоправданному расходу электроэнергии. Существенное значение при этом имеет использование обратной связи по скорости и току, позволяющей поддерживать устойчивость работы привода и корректировать управляющее воздействие в зависимости от изменения внешних условий. После завершения активной части цикла система переводит привод в исходное состояние с минимальным уровнем энергопотребления, сохраняя готовность к следующему запуску. Такая организация управления задаёт основу для последующей оценки вклада отдельных режимов работы в суммарное энергопотребление привода и для сопоставления исходного и скорректированного вариантов рабочего цикла.

Состав системы включает плату управления Arduino Uno, силовой драйвер BTS7960, двигатель постоянного тока RS-775 на напряжение 12 В, понижающий редуктор с передаточным числом 1:30, датчик тока ACS712 на 20 А, оптический датчик скорости FC-03, импульсный блок питания S-100-12 с выходным напряжением 12 В и током до 8,5 А, а также понижающий преобразователь LM2596 для питания логической части напряжением 5 В. В основе системы лежит микроконтроллер Arduino Uno на базе ATmega328P с тактовой частотой 16 МГц и объёмом флеш-памяти 32 КБ, обеспечивающий формирование управляющих сигналов и обработку данных с датчиков. Выбор данной платформы обусловлен наличием аппаратной поддержки широтно-импульсной модуляции, достаточным числом входов и выходов, а также простотой интеграции с периферийными модулями. Управление двигателем осуществляется через драйвер BTS7960, реализованный по мостовой схеме и рассчитанный на рабочее напряжение от 6 до 27 В при токе до 43 А, что обеспечивает работу с нагрузками, характеризующимися значительными пусковыми токами. Драйвер принимает ШИМ-сигналы с микроконтроллера и формирует соответствующее напряжение на выводах двигателя, изменяя его среднее значение за счёт регулирования коэффициента заполнения.

В качестве исполнительного элемента используется коллекторный двигатель RS-775 с номинальным напряжением 12 В и частотой вращения до 3000–9000 об/мин в зависимости от модификации. Данный двигатель обладает достаточной удельной мощностью и устойчиво работает в режиме регулирования скорости с использованием ШИМ, что позволяет изменять его механические характеристики в широком диапазоне. Для согласования скорости вращения двигателя с параметрами исполнительного механизма используется редуктор с передаточным числом 1:30, обеспечивающий снижение частоты вращения выходного вала и увеличение крутящего момента до значений, соответствующих условиям работы нагрузки. Передача выполнена на основе зубчатой схемы с металлическими шестернями, что обеспечивает стабильность передаточного отношения и устойчивость к динамическим нагрузкам. Контроль потребляемого тока реализован с использованием датчика ACS712, основанного на эффекте Холла и формирующего аналоговый сигнал, пропорциональный протекающему току. Данный датчик включён последовательно в цепь питания двигателя и позволяет регистрировать изменения нагрузки в процессе работы, включая пусковые и переходные режимы. Измерение скорости вращения осуществляется с помощью оптического датчика FC-03, фиксирующего прохождение метки на вращающемся элементе. Сигналы с датчиков поступают на входы микроконтроллера и используются для оценки текущего режима работы привода. Питание системы осуществляется от импульсного блока S-100-12, обеспечивающего стабильное напряжение 12 В для силовой части. Логическая часть питается через понижающий преобразователь LM2596, формирующий напряжение 5 В для Arduino Uno и датчиков. Разделение цепей питания позволяет снизить влияние импульсных помех, возникающих при работе двигателя, на работу управляющего устройства и измерительных каналов.

Взаимодействие элементов системы реализуется в рамках циклического алгоритма управления, при котором микроконтроллер Arduino Uno формирует управляющий ШИМ-сигнал, подаваемый на вход драйвера BTS7960, который в свою очередь регулирует напряжение, подводимое к двигателю RS-775. При изменении коэффициента заполнения управляющего сигнала изменяется среднее значение напряжения на выводах двигателя, что приводит к соответствующему изменению частоты вращения его вала. В начальный момент времени при подаче сигнала запуска двигатель потребляет максимальный ток, определяемый сопротивлением обмоток и моментом инерции нагрузки, после чего по мере увеличения скорости вращения ток снижается до значения, соответствующего установившемуся режиму. В этот момент система переходит в режим поддержания скорости, при котором величина ШИМ-сигнала определяется заданными параметрами цикла. В процессе работы датчик ACS712 фиксирует изменение тока в силовой цепи и передаёт аналоговый сигнал на вход микроконтроллера, позволяя регистрировать фактическую нагрузку двигателя на различных этапах работы. Одновременно оптический датчик FC-03 формирует импульсы, частота которых пропорциональна скорости вращения выходного звена, что даёт возможность сопоставить электрические параметры привода с его механическим состоянием. При переходе к этапу замедления коэффициент заполнения управляющего сигнала уменьшается, что приводит к снижению подводимой мощности и постепенному уменьшению

скорости вращения. В период межоперационной паузы управляющий сигнал либо снижается до минимального значения, либо полностью отключается, что исключает длительное потребление энергии в режиме холостого хода. В пределах одного рабочего цикла электропривод последовательно проходит стадии пуска, разгона, установившегося движения и остановки, при этом изменение параметров питания двигателя осуществляется исключительно за счёт регулирования ШИМ-сигнала, формируемого микроконтроллером на основе текущего состояния системы. В переходных режимах в рассматриваемой системе наблюдаются максимальные мгновенные потери, поскольку в момент пуска и разгона двигатель RS-775 работает при повышенном токе, а подводимая к нему электрическая энергия лишь частично преобразуется в полезную механическую работу.

Оценка энергозатрат в рассматриваемой системе может быть выполнена на основе измеряемых электрических параметров привода, прежде всего напряжения питания, силы тока и продолжительности отдельных этапов цикла. Поскольку питание двигателя RS-775 осуществляется от источника постоянного напряжения 12 В через драйвер BTS7960, мгновенная потребляемая мощность на каждом участке работы определяется как произведение напряжения на ток, а энергия за цикл — как сумма энергий, затрачиваемых на отдельных этапах. При фиксированном напряжении основным переменным параметром становится ток: его значение максимально в момент пуска, затем уменьшается в процессе разгона и стабилизируется при установившемся движении. Если принять, что в пусковом режиме ток достигает 5 А при длительности участка 0,4 с, в режиме разгона составляет в среднем 3,2 А при длительности 0,8 с, в установившемся режиме снижается до 1,8 А при длительности 2,5 с, а в режиме паузы при сохранении питания находится на уровне 0,4 А в течение 1,3 с, то становится возможным определить не только мгновенную мощность, но и полную энергию, затрачиваемую за один цикл работы. В расчётах принимается постоянное напряжение питания 12 В, что соответствует упрощённой модели при ШИМ-регулировании.

$$P = U \cdot I,$$

где P — мощность, Вт; U — напряжение питания, В; I — ток, А.

Тогда для приведённых режимов получаем:

$$P_1 = 12 \cdot 5,0 = 60 \text{ Вт}, P_2 = 12 \cdot 3,2 = 38,4 \text{ Вт}, P_3 = 12 \cdot 1,8 = 21,6 \text{ Вт}, P_4 = 12 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ Вт}.$$

Энергия, затрачиваемая на каждом участке цикла, определяется произведением мощности на время работы участка:

$$W = P \cdot t,$$

где W — энергия, Дж; P — мощность, Вт; t — время, с.

Тогда энергия по этапам цикла составит:

$$W_1 = 60 \cdot 0,4 = 24 \text{ Дж}, W_2 = 38,4 \cdot 0,8 = 30,72 \text{ Дж},$$

$$W_3 = 21,6 \cdot 2,5 = 54 \text{ Дж}, W_4 = 4,8 \cdot 1,3 = 6,24 \text{ Дж}$$

Суммарная энергия за один рабочий цикл определяется как:

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 114,96 \text{ Дж}.$$

Полученное распределение энергозатрат показывает, что вклад отдельных стадий цикла определяется не только уровнем потребляемого тока, но и продолжительностью соответствующего режима. Это позволяет рассматривать рабочий цикл привода как совокупность участков с различной энергетической эффективностью, для каждого из которых может быть выбрано собственное управляющее воздействие.

Сопоставление исходного и скорректированного режимов работы выполняется при сохранении аппаратного состава системы и изменении временной структуры цикла. В качестве корректирующего воздействия принимается уменьшение длительности установившегося режима с 2,5 до 2,0 с и сокращение времени межоперационной паузы с сохранённым питанием с 1,3 до 0,4 с. При этом значения тока на участках пуска и разгона сохраняются прежними, а для установившегося режима и паузы энергия определяется теми же выражениями, но с новыми значениями времени:

$$W_3' = 21,6 \cdot 2,0 = 43,2 \text{ Дж}, W_4' = 4,8 \cdot 0,4 = 1,92 \text{ Дж}.$$

Тогда суммарная энергия скорректированного цикла определяется выражением:

$$W_{\Sigma}' = 24 + 30,72 + 43,2 + 1,92 = 99,84 \text{ Дж}.$$

Относительное снижение энергозатрат определяется выражением:

$$\eta_{\Sigma} = ((W_{\Sigma} - W_{\Sigma}') / W_{\Sigma}) \cdot 100\%,$$

Откуда при подстановке расчётных значений получаем:

$$\eta_{\Sigma} = ((114,96 - 99,84) / 114,96) \cdot 100\% \approx 13,15\%.$$

Приведённое сопоставление показывает, что снижение суммарной энергии достигается не за счёт увеличения мощности двигателя или изменения характеристик источника питания, а за счёт изменения длительности тех участков цикла, на которых двигатель продолжает потреблять энергию без соответствующего прироста полезной работы. Наиболее заметный вклад в уменьшение энергозатрат вносит сокращение продолжительности установившегося режима и межоперационной паузы, тогда как пусковой участок при высокой мощности остаётся сравнительно коротким по времени и потому оказывает меньший вклад в суммарную энергию цикла, чем это следует из рассмотрения только мгновенных значений тока.

При таком подходе объектом оптимизации становится не отдельный узел системы, а весь рабочий цикл электропривода как совокупность взаимосвязанных режимов. Использование данных, получаемых от датчика тока ACS712 и оптического датчика FC-03, позволяет соотнести электрические параметры питания с механическим состоянием привода и установить, на каких участках изменение управляющего сигнала действительно приводит к снижению энергозатрат, а на каких может вызвать лишь увеличение времени выполнения операции. Поэтому выбор рационального режима в рассматриваемой системе определяется совместным учётом тока, скорости и длительности каждой стадии цикла. Такой способ анализа связывает параметры аппаратной части с алгоритмом управления и позволяет оценивать энергетическую эффективность системы не по отдельным режимам, а по структуре полного рабочего цикла.

В работе рассмотрена автоматизированная система с регулируемым электроприводом на базе двигателя постоянного тока RS-775, драйвера BTS7960, микроконтроллера Arduino Uno и измерительных модулей ACS712 и FC-03. Описание принципа функционирования системы, состава её аппаратных элементов, характера их взаимодействия в пределах рабочего цикла и расчётная оценка энергозатрат показали, что основная часть потребляемой энергии определяется сочетанием величины тока и длительности отдельных стадий цикла. Выполненное сопоставление исходного и скорректированного режимов позволило установить, что изменение временной структуры установившегося движения и межоперационной паузы приводит к снижению суммарной энергии цикла без изменения аппаратной конфигурации системы. Полученные расчётные результаты подтверждают целесообразность оптимизации алгоритма управления электроприводом как средства повышения энергетической эффективности автоматизированной системы.

Список литературы

1. Москаленко В. В. Электрический привод: учебник // М.: Академия. 2009.
2. Ключев В. И. Теория электропривода: учебник для вузов // М.: Энергоатомиздат. 2001.
3. Алиев И. И. Электротехника и электрооборудование: справочник // М.: Юрайт. 2019.
4. Золотова А. А., Козлов А. Н. Микроконтроллеры AVR и Arduino в системах автоматического управления // М.: Горячая линия–Телеком. 2020.
5. Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М. Преобразовательная техника // Киев: Вища школа. 1983.
6. Герман-Галкин С. Г. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями // Л.: Энергоатомиздат. 1986.

References

1. Moskalenko V. V. Electric Drive: Textbook // Moscow: Akademiya. 2009.
2. Klyuchev V. I. Theory of Electric Drive: University Textbook // Moscow: Energoatomizdat. 2001.
3. Aliev I. I. Electrical Engineering and Electrical Equipment: Handbook // Moscow: Yurait. 2019.
4. Zolotova A. A., Kozlov A. N. AVR and Arduino Microcontrollers in Automatic Control Systems // Moscow: Goryachaya Liniya–Telekom. 2020.
5. Rudenko V. S., Senko V. I., Chizhenko I. M. Power Conversion Engineering // Kyiv: Vyshcha Shkola. 1983.
6. German-Galkin S. G. Digital Electric Drives with Transistor Converters // Leningrad: Energoatomizdat. 1986.

УДК - 62-523.8

И.А. Букшин, В.Ю. Иванов

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СКЛАДСКИХ ОПЕРАЦИЙ

@ И.А. Букшин, В.Ю. Иванов, 2026

В данной статье рассматривается проектирование автоматического манипулятора, имитирующего кинематику человеческой руки, для выполнения последовательных складских операций. Система построена на базе микроконтроллера Arduino Uno и специализированного модуля расширения для управления массивом сервоприводов. В работе приведены математические обоснования выбора силовых агрегатов и расчет параметров системы электропитания.

Ключевые слова: автоматический манипулятор, антропоморфная кинематика, Arduino, расчет крутящего момента, I2C интерфейс.

I.A. Bukshin, V.Y. Ivanov

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

DESIGN OF AUTOMATIC MANIPULATOR

This article discusses the design of an automated manipulator that simulates the kinematics of a human hand for performing sequential warehouse operations. The system is built using an Arduino Uno microcontroller and a specialized expansion module for controlling an array of servo drives. The paper presents the mathematical justification for selecting power units and calculating the power supply system parameters.

Keywords: Automatic manipulator, anthropomorphic kinematics, Arduino, torque calculation, I2C interface.

Принцип функционирования антропоморфного манипулятора основан на реализации детерминированного программного алгоритма управления с разомкнутым контуром, что позволяет отказаться от применения внешних сенсорных систем при условии фиксированного расположения объектов и высокой повторяемости заданных траекторий движения. Управляющая программа, выполняемая микроконтроллером Arduino Uno, формирует последовательности команд позиционирования для семи исполнительных механизмов и передаёт их по цифровому интерфейсу I2C на модуль расширения MultiServo Shield v2. Использование данного интерфейса обеспечивает передачу управляющих данных по двум сигнальным линиям (SDA — линия данных, SCL — линия тактового сигнала), что существенно упрощает электрическую схему и снижает количество соединений между элементами системы. Модуль расширения принимает адресованные команды от микроконтроллера и преобразует их в управляющие импульсы, соответствующие требуемым углам поворота, формируя индивидуальные сигналы для каждого из пяти сервоприводов захватного устройства и двух сервоприводов, обеспечивающих перемещение звеньев манипулятора в пространстве. В процессе выполнения рабочего цикла сервоприводы захвата синхронно управляют положением фаланг, обеспечивая устойчивый и надёжный захват объекта за счёт согласованного движения, приближенного к биомеханике человеческой кисти. В то же время силовые приводы, расположенные в узлах локтя и запястья, реализуют перемещение захваченного объекта по заранее заданной траектории с учётом геометрии кинематической цепи. После завершения технологической операции система возвращает исполнительные звенья в исходное положение, обеспечивая готовность к выполнению следующего цикла. Следует отметить, что отсутствие внешних сенсоров компенсируется наличием встроенной системы обратной связи в сервоприводах, основанной на использовании потенциометров, что позволяет поддерживать требуемую точность позиционирования. Такая архитектура управления обеспечивает устойчивую и предсказуемую работу манипулятора в условиях автоматизированных складских процессов с заранее заданной конфигурацией рабочей зоны.

Составные части устройства: плата Arduino Uno, модуль расширения MultiServo shield v2, 5 сервоприводов MG996R для управления фалангами кисти, 2 силовых сервопривода RDS3235 с крутящим моментом 40 кг/см для обеспечения подвижности локтевого и кистевого суставов, импульсный блок питания 5В 10А (серия S-50-5).

В основе платы лежит микроконтроллер ATmega328 с тактовой частотой 16 МГц, он обладает 32 КБ памяти и имеет 20 контролируемых контактов для ввода и вывода. Arduino — это открытая платформа, что позволяет собирать устройства. Данная платформа состоит из двух частей - аппаратной и программной; каждая из двух частей крайне гибкая и простая в использовании. Для программирования микроконтроллера используется упрощённая версия C++, который также известен как Wiring. Разработку можно вести и с использованием бесплатной среды Arduino IDE, и с помощью графического языка программирования XOD IDE, также доступен вариант программирования с помощью произвольного инструментария C/C++. Поддерживаемые операционные системы - Windows, MacOS X и Linux. Для программирования и связи с компьютером вам понадобится USB-B кабель. Присутствует и возможность автономной работы с помощью отдельного блока питания

Плата расширения Multiservo Shield v2 предназначена упростить работу с сервоприводами и уменьшить размер устройства. Данная плата устанавливается поверх платы Arduino и передаёт данные по интерфейсу I²C. Данный интерфейс задействует всего 2 пина платы, при этом все остальные пины платы остаются свободными, даже при управлении 18 сервоприводами одновременно. Сами сервоприводы подключаются через 3 контакта – управляющего сигнала, питания и общей земли.

Помимо 18 тройных контактов, которые управляются собственным микроконтроллером, на плате имеется ещё 6 вводов-выводов общего назначения Arduino. Это позволяет управлять уже не 18 сервоприводами, а уже 24 одновременно.

Управление сервоприводами организуется через интерфейс I²C. Данный интерфейс позволяет подключать к одной шине, состоящей из двух проводов SDA (данные) и SCL (тактовые импульсы) до 127 устройств, не используя при этом никакого дополнительного оборудования. Генерацией сигнала, при таком подключении, занимается ведущее устройство (Master), после сигнал отправляется на ведомое устройство (Slave). Схема работы интерфейса показана на рис.1.

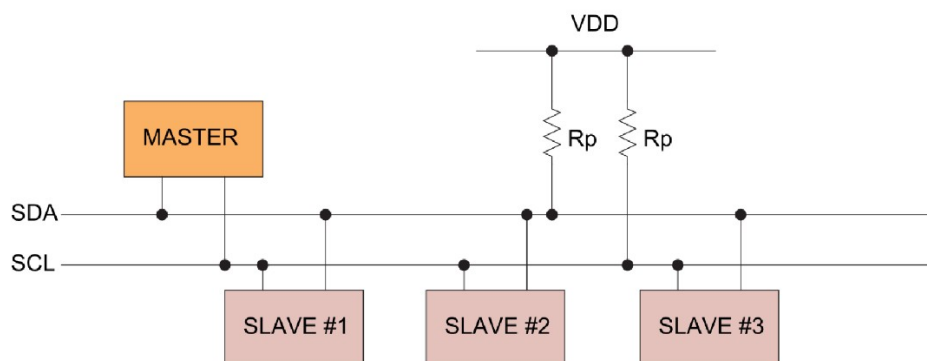


Рис.1 Устройство работы интерфейса I2C

В манипуляторе используются сервоприводы MG 996R, конструкция сервопривода изображена на рис. 2. Сервопривод подключается 3 проводами, по которым идёт питание, земля и управляющий сигнал. Управляющий сигнал представляет собой постоянно повторяющиеся импульсы, или же череду импульсов. Частота этих импульсов все время остается постоянной, равной 50 Гц. Управление поворотом вала сервопривода выполняется с помощью импульсов продолжительностью от 1 до 2 миллисекунд.

Принцип работы сервоприводов RDS3235 не отличается от MG 996R, основываясь на том же принципе работы за счёт большей мощности двигателя и усиленной конструкции они имеют большую допустимую нагрузку до 40 кг.

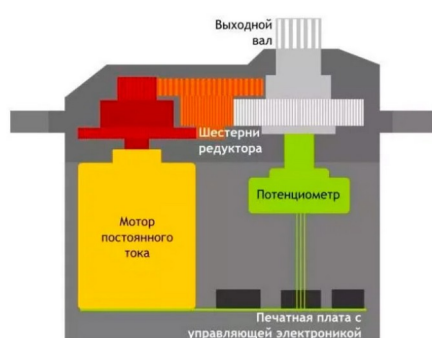


Рис. 2 – Устройство сервопривода MG 996R.

Непосредственное управление сервоприводами с платы Arduino Uno осуществляется путём формирования управляющих импульсных сигналов с фиксированной частотой порядка 50 Гц. Положение выходного вала сервопривода определяется длительностью импульса, которая, как правило, находится в диапазоне от 1 до 2 миллисекунд, что соответствует изменению угла поворота в пределах от 0 до 180 градусов. Сформированные микроконтроллером сигналы передаются на вход сервопривода, где обрабатываются встроенной электронной схемой управления. Внутри сервопривода реализован замкнутый контур регулирования, включающий датчик положения (потенциометр), управляющий контроллер и драйвер двигателя постоянного тока. На основе сравнения текущего и заданного положения формируется управляющее воздействие, которое через встроенный силовой драйвер подаётся на двигатель, обеспечивая его вращение в требуемом направлении до достижения заданного угла. Таким образом, функции формирования силовых сигналов, управления направлением вращения и стабилизации положения полностью реализуются внутри сервопривода и не требуют внешних схем управления, таких как мостовые драйверы. Использование импульсного метода управления позволяет обеспечить достаточную точность позиционирования при относительно простой аппаратной реализации и минимальной нагрузке на вычислительные ресурсы микроконтроллера.

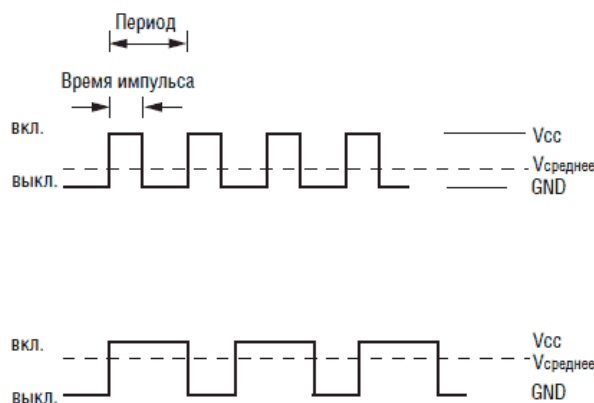


Рисунок 3 - Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для управления мостовой схемой

Двигатель является индуктивной нагрузкой. В моменты включения/выключения возникающее переходное напряжение, генерируемое обмотками двигателя, может повредить полупроводниковые части моста. Для гашения этого напряжения используются защитные диоды, включенные параллельно транзисторам, как показано на рис. 3.

Автоматический манипулятор представляет собой сложную мехатронную систему, интегрирующую механические звенья, исполнительные приводы и электронные блоки управления для выполнения точных пространственных перемещений и манипуляций с объектами. В контексте складских операций такой манипулятор с антропоморфной кинематикой воспроизводит структуру человеческой руки, включая плечевой сустав, локтевой механизм, запястье и многозвенный захват, что обеспечивает высокую адаптивность к разнообразным формам грузов. Основу механической конструкции составляют жесткие звенья из высокопрочных материалов, таких как алюминиевые сплавы или армированный пластик, соединенные шарнирными узлами с радиальными подшипниками для минимизации трения и обеспечения плавного вращения в пределах рабочих углов до 180 градусов. Каждый сустав оснащен сервоприводом, где редукторная передача преобразует вращение бесколлекторного или коллекторного двигателя постоянного тока в контролируемый крутящий момент, поддерживающий нагрузку от нескольких граммов в захвате до десятков килограммов на базовых звеньях.

Принцип действия манипулятора опирается на последовательную кинематическую цепь прямого и обратного преобразования координат, где позиция конечного эффектора определяется угловыми координатами каждого приводного звена. Микроконтроллер генерирует дискретные команды позиционирования в виде ШИМ-импульсов, соответствующих углам поворота от 0 до 180 градусов, которые после усиления через драйверы поступают на сервоприводы. В захватном устройстве пять сервоприводов синхронизировано управляют фалангами, имитируя сгибание пальцев по

биомеханическому принципу: базовые фаланги обеспечивают первичный охват, средние корректируют форму захвата, а фаланги ногтевого сегмента фиксируют объект за счет противодействующей силы до 5 Н. Силовые приводы локтя и запястья, оснащенные высокомоментными сервоприводами с металлическим редуктором, перемещают полезную нагрузку по предрасчетной траектории, учитывающей гравитационные моменты и инерционные силы, рассчитанные по формуле $M = m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta + I \cdot \alpha$, где M — масса груза, l — плечо силы, I — момент инерции, α — угловое ускорение.

Электропитание системы реализовано через стабилизированный импульсный источник с выходом 5 В и током до 10 А, обеспечивающий пиковую мощность для одновременного запуска всех приводов без просадки напряжения ниже 4,8 В, что критично для поддержания точности позиционирования в пределах 0,5 градуса. Интерфейс I2C минимизирует проводную обвязку, позволяя мастер-устройству (Arduino) адресовать команды до 127 слейвам по двухпроводной шине с тактовой частотой до 400 кГц, где адрес устройства передается отдельно, а данные содержат значение управляющего сигнала. Обратная связь в сервоприводах обеспечивается потенциометром на выходном валу редуктора, формирующим аналоговый сигнал пропорционально углу поворота, который сравнивается с опорным значением в контуре управления для коррекции ошибки позиционирования. Такая архитектура гарантирует цикловую повторяемость траекторий с погрешностью менее 1 мм при длине манипулятора 300 мм, что особенно актуально для автоматизированных складских циклов сортировки и укладки.

Дополнительно, для повышения надежности в промышленных условиях, манипулятор может интегрировать демпферы на основе силиконовых амортизаторов в сочленениях, поглощающие вибрации от динамических нагрузок, и термодатчики NTC для мониторинга температуры обмоток двигателей, предотвращая перегрев при длительной эксплуатации свыше 10 минут непрерывной работы. Программное обеспечение, реализованное на Wiring-подобном диалекте C++, включает библиотеки Servo и Wire для низкоуровневого доступа к таймерам и шине, с алгоритмом циклического выполнения, где задержки между фазами (захват, перенос, сброс) оптимизированы по методу критичного пути для минимизации времени цикла до 5 секунд. В целом, подобная система демонстрирует баланс между стоимостью компонентов (менее 100 долларов за базовый комплект) и производительностью, сопоставимой с коммерческими решениями начального уровня, открывая перспективы масштабирования за счет добавления энкодеров для замкнутого контура управления или перехода на более мощные контроллеры типа ESP32.

Структурная схема манипулятора изображена на рисунке 4. Она представляет собой упрощенную блок-диаграмму системы управления, где центральным управляющим элементом выступает микроконтроллер Arduino Uno, соединенный с модулем расширения MultiServo Shield v2 по двухпроводному интерфейсу I2C (линии SDA и SCL) для эффективной передачи команд позиционирования ко всем сервоприводам. От шита расходятся индивидуальные трехпроводные соединения к семи сервоприводам: пять блоков MG996R, обозначенных как приводы отдельных пальцев (Палец 1–5), обеспечивают точное управление фалангами захватного устройства, в то время как два блока RDS3235 отвечают за позиционирование в суставах локтя и запястья. Каждая линия соединения подписана: красные провода "5V" передают стабилизированное питание, черные "GND" — общую землю, а оранжевые "Signal" — широтно-импульсные сигналы ШИМ для задания углов поворота.

Общий блок питания 5 В 10 А обеспечивает централизованное питание всех компонентов через распределенные линии "5V" и "GND", гарантируя стабильность напряжения при пиковых нагрузках до 20 А при синхронном запуске приводов и предотвращая падение ниже 4,8 В, что критично для точности позиционирования в 0,5°. Такая архитектура минимизирует количество проводов, исключает ненужные ветвления и обеспечивает логическую группировку: пальцевые приводы MG996R (крутящий момент до 10 кг·см) ориентированы на прецизионный захват объектов массой до 0,5 кг, а силовые RDS3235 (40 кг·см) перемещают полезную нагрузку по траекториям длиной до 300 мм с повторяемостью 1 мм. Схема отражает принцип последовательного распределенного управления, где Arduino формирует пакеты данных I2C, шит декодирует их в индивидуальные ШИМ-сигналы, а сервоприводы реализуют обратную связь через встроенные потенциометры для самокоррекции позиции.

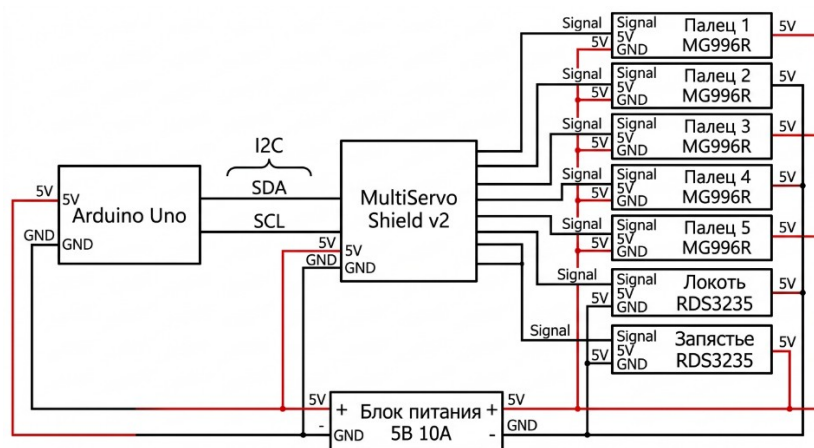


Рисунок 4 – Структурная схема манипулятора

Список литературы

1. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г. Средства автоматизации и управления // СПбГУПТД. 2018.
2. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Энтин В.Я. Вычислительные машины, системы и сети // СПбГУПТД. 2017.
3. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Платонова Т.Л. Распределенные компьютерные информационно-управляющие системы // СПбГУПТД. 2019.
4. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Логинов В.В. Сопряжение однокристалльных микроконтроллеров с датчиками и исполнительными механизмами // СПбГУПТД. 2013.

References

1. Ivanov V.Y., Maezhov E.G. Sredstva avtomatizacii i upravlenija // SPbGUPTD. 2018.
2. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Jentin V.Y. Vychislitel'nye mashiny, sistemy i seti // SPbGUPTD. 2017.
3. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Platonova T.L. Raspredelennye komp'juternye informacionno-upravljajushhie sistemy // SPbGUPTD. 2019.
4. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Loginov V.V. Soprzjazhenie odnokristal'nyh mikrokontrollerov s datchikami i ispolnitel'nymi mehanizmami // SPbGUPTD. 2013.

УДК 004.896

А.В. Буслаева, Т.Л. ЕгороваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ RPA И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТРУКТУРИРОВАННОЙ И НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

В настоящей статье представлен сравнительный анализ эффективности технологий роботизированной автоматизации процессов (RPA) и алгоритмов машинного обучения (МО) при решении задач обработки структурированных и неструктурированных данных в контексте автоматизации технологических процессов промышленных предприятий. Рассмотрены теоретические основы, архитектурные особенности и функциональные ограничения обеих технологий. Проведена классификация типов данных, характерных для современных производственных систем, включая показания датчиков, журналы событий SCADA, техническую документацию и визуальный контроль качества. Разработана методология сравнения по ключевым метрикам: точность, скорость обработки, масштабируемость, стоимость внедрения, адаптивность и требования к инфраструктуре. Обоснована целесообразность перехода к гибридным архитектурам интеллектуальной автоматизации (IPA) для обеспечения сквозной цифровизации технологических цепочек. Результаты исследования формируют научно-практическую основу для выбора инструментов автоматизации в зависимости от типа данных, сложности процессов и стратегических целей предприятия.

Ключевые слова: роботизированная автоматизация процессов (RPA), машинное обучение, структурированные данные, неструктурированные данные, автоматизация технологических процессов, интеллектуальная автоматизация, промышленная цифровизация, сравнительный анализ эффективности, SCADA-системы, предиктивная аналитика

A.V. Buslaeva, T.L. EgorovaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18

This paper presents a comparative analysis of the effectiveness of Robotic Process Automation (RPA) technologies and Machine Learning (ML) algorithms in addressing structured and unstructured data processing tasks within the context of technological process automation at industrial enterprises. The theoretical foundations, architectural features, and functional limitations of both technological paradigms are examined. A classification of data types characteristic of modern production systems is conducted, encompassing sensor readings, SCADA event logs, technical documentation, and visual quality inspection data. A methodology for comparative evaluation based on key performance metrics is developed, including accuracy, processing speed, scalability, implementation cost, adaptability, and infrastructure requirements. The rationale for transitioning to hybrid Intelligent Process Automation (IPA) architectures is substantiated to ensure end-to-end digitalization of technological value chains. The research findings establish a scientific and practical foundation for selecting automation tools contingent upon data type, process complexity, and the strategic objectives of the enterprise.

Keywords: Robotic Process Automation (RPA), Machine Learning (ML), structured data, unstructured data, technological process automation, Intelligent Process Automation (IPA), industrial digitalization, comparative effectiveness analysis, SCADA systems, predictive analytics

Современный этап развития промышленности характеризуется ростом объемов генерируемых данных, усложнением технологических цепочек и ужесточением требований к качеству, скорости и эффективности производственных операций. Ключевым фактором конкурентоспособности становится способность предприятий оперативно собирать, обрабатывать и извлекать практическую ценность из информационных потоков, сопровождающих каждый этап технологического процесса.

В этом контексте выделяются две доминирующие технологии: роботизированная автоматизация процессов (RPA) и машинное обучение (МО). Несмотря на частое объединение в рамках цифровой трансформации, данные подходы различаются по архитектуре, принципам принятия решений, требованиям к данным и областям применимости.

Проблема выбора между RPA и МО, а также определения границ их рационального применения, остается недостаточно формализованной в научно-практической литературе. Многие предприятия

сталкиваются с ситуацией избыточного внедрения RPA в задачи, требующие аналитической гибкости, либо, наоборот, с попытками применения сложных моделей МО там, где достаточно детерминированных скриптов. Это приводит к неоптимальным затратам, снижению надежности технологических процессов и замедлению темпов цифровизации. Особенно остро вопрос стоит при обработке данных, генерируемых автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП), где сочетаются структурированные телеметрические потоки и неструктурированные отчеты, изображения, голосовые команды и лог-файлы.

Для обеспечения методологической строгости сравнительного анализа необходимо четко определить базовые категории, используемые в исследовании. В первую очередь это касается технологий автоматизации и классификации данных, поскольку именно тип данных определяет выбор инструментария и архитектуру решения.

Роботизированная автоматизация процессов (RPA) представляет собой программную технологию, позволяющую создавать и управлять программными роботами, которые имитируют действия человека при взаимодействии с цифровыми системами и приложениями. В отличие от физической робототехники, RPA-роботы не имеют материального воплощения; они функционируют на уровне пользовательского интерфейса или через API, выполняя последовательности операций по заранее заданным правилам. Ключевыми характеристиками RPA являются: детерминированность логики, отсутствие необходимости изменения исходных кодов автоматизируемых систем, быстрая окупаемость при рутинных задачах. В контексте автоматизации технологических процессов RPA применяется для автоматизации обмена данными между ERP-системами, MES-платформами, системами учета ресурсов, формирования отчетов по отклонениям параметров, синхронизации спецификаций и маршрутных карт.

Машинное обучение (МО) – это подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных автоматически выявлять закономерности в данных, обучаться на примерах и принимать решения или делать прогнозы без явного программирования каждого шага. В отличие от RPA, где логика жестко задана разработчиком, в МО логика формируется в процессе обучения на полученных данных. Основные концепции включают: обучение с учителем (классификация, регрессия), обучение без учителя (кластеризация, снижение размерности), обучение с подкреплением (оптимизация последовательных решений) и глубокое обучение (нейронные сети для сложных паттернов). В производственной среде МО применяется для предиктивного обслуживания оборудования, оптимизации режимов технологических процессов, контроля качества на основе компьютерного зрения, анализа неструктурированных журналов событий и прогнозирования потребления ресурсов.

Структурированная обработка данных относится к работе с информацией, организованной в строго заданном формате, обычно в виде таблиц с четко определенными типами полей (числовые, строковые, дата/время, логические). Такие данные легко извлекаются, индексируются, фильтруются и обрабатываются детерминированными алгоритмами. В технологических процессах к структурированным данным относятся: показания датчиков температуры, давления, расхода; параметры станков с ЧПУ; результаты лабораторных анализов в числовом формате; журналы выполнения операций с временными метками; спецификации материалов с кодами и количествами. Обработка таких данных характеризуется высокой скоростью, низкой вычислительной сложностью и возможностью формализации правил в виде условных операторов, что делает их идеальным полем для применения RPA.

Неструктурированная обработка данных охватывает информацию, не имеющую заранее заданной модели организации. К ней относятся текстовые документы (технические регламенты, отчеты о браке, протоколы совещаний), изображения (фотографии дефектов, снимки с камер видеонаблюдения, термограммы), аудио- и видеозаписи, лог-файлы систем, электронные письма, сканы чертежей и рукописные заметки. Обработка таких данных требует применения методов извлечения признаков, семантического анализа, компьютерного зрения, распознавания образов и естественного языка (NLP). В автоматизации технологических процессов неструктурированные данные часто содержат критически важную информацию о причинах отклонений, рекомендациях экспертов, визуальных признаках износа или аномалиях, которые невозможно выразить в табличной форме без потери контекста. RPA в чистом виде не способен эффективно работать с такими данными без предварительной обработки или интеграции с МО-модулями.

Разграничение между структурированными и неструктурированными данными в современных производственных системах часто размывается появлением полуструктурированных форматов, однако принципиальное отличие сохраняется: структурированные данные допускают прямое применение правил, неструктурированные требуют обучения и интерпретации. Это фундаментальное различие определяет выбор технологического стека и архитектуру автоматизации.

Автоматизация технологических процессов исторически развивалась по пути замены ручных операций автоматическими регуляторами, затем внедрения PLC и SCADA-систем, и наконец, интеграции с корпоративными информационными системами. Сегодняшний этап характеризуется

конвергенцией операционных (ОТ) и информационных (ИТ) технологий, где данные становятся центральным активом. В этой экосистеме RPA и МО занимают различные, но взаимодополняющие позиции.

RPA в технологических процессах применяется преимущественно на уровне бизнес-операций, сопряженных с производством. Примеры включают: автоматический перенос данных из систем контроля качества в ERP для формирования партий; генерацию ежедневных отчетов о производительности оборудования; обработку заявок на обслуживание, поступающих от операторов через веб-формы; маршрутизацию технологических карт между подразделениями. Все эти задачи опираются на структурированные данные, жесткие регламенты и повторяющиеся последовательности. RPA разгружает инженеров и технологов от рутинной работы, позволяя сосредоточиться на оптимизации режимов и анализе отклонений.

Машинное обучение в технологических процессах решает задачи, требующие прогнозирования, классификации, оптимизации и работы с неопределенностью. Ключевые направления: предиктивное техническое обслуживание (прогноз остаточного ресурса подшипников, насосов, электродвигателей на основе вибрации, температуры и токов); адаптивное управление режимами (оптимизация расхода реагентов, температуры, давления в реальном времени с учетом качества сырья и внешних условий); компьютерный контроль качества (обнаружение микротрещин, отклонений геометрии, дефектов покрытий); анализ неструктурированных журналов событий для выявления скрытых причин аварий; оптимизация логистики внутрипроизводственных потоков. МО извлекает ценность из данных, которые ранее игнорировались или обрабатывались вручную экспертами.

Гибридные архитектуры (IPA) становятся стандартом для сквозной автоматизации. В таких системах RPA отвечает за оркестрацию, сбор данных из разрозненных источников, запуск моделей МО, доставку результатов в интерфейсы пользователей и фиксацию решений. МО, в свою очередь, обогащает структурированные данные контекстом, классифицирует аномалии, генерирует рекомендации и адаптирует правила для RPA. Например, при поступлении сигнала о повышении вибрации насоса, RPA автоматически извлекает последние параметры работы, историю ремонтов и текущие условия. МО-модель анализирует эти данные вместе с акустическими записями и изображениями, прогнозирует вероятность отказа в следующие 72 часа и формирует рекомендацию. RPA создает заявку, резервирует запчасти, уведомляет смену и обновляет график ТО. Такой симбиоз устраняет разрыв между «что произошло» и «что делать», обеспечивая замкнутый контур автоматизации технологических процессов.

Интеграция требует решения архитектурных вызовов: обеспечения безопасности ОТ-среды при обмене данными с ИТ-системами, реализации вычислений для снижения задержек, создания единого реестра данных и моделей, обучения персонала. Успешные внедрения демонстрируют, что изолированное применение RPA или МО дает ограниченный эффект, тогда как их синергия повышает общую эффективность технологических процессов.

Для оценки эффективности RPA и машинного обучения в задачах обработки данных в рамках автоматизации технологических процессов была разработана многокритериальная методология, учитывающая технические, экономические и эксплуатационные аспекты. Сравнение проводилось не по принципу оптимальности для конкретного типа задачи и данных.

Первым критерием является точность и воспроизводимость результатов. Для RPA точность определяется соответствием заданных правил фактическим операциям. При стабильных интерфейсах и неизменных форматах данных RPA обеспечивает 99,5–100% воспроизводимость. Однако при изменении структуры входных данных, обновлении ПО или появлении исключений точность падает до нуля без перенастройки. В МО точность измеряется и зависит от качества обучающей выборки, сбалансированности классов и адекватности модели. В нестационарных производственных условиях точность МО может дрейфовать, требуя периодического дообучения, но при этом система способна адаптивно реагировать на новые паттерны, недоступные для жестких правил RPA.

Вторым критерий выбрана скорость обработки и возможные задержки. RPA выполняет последовательные операции синхронно с пользовательским интерфейсом, что влечет задержки, сопоставимые с человеческими действиями (от миллисекунд до секунд на операцию). Для пакетной обработки структурированных данных это приемлемо, но для задач реального времени в технологических процессах RPA неприменим. МО, развернутое на периферийных устройствах или в облачных кластерах, способно обрабатывать потоки данных со скоростями, недостижимыми для RPA (тысячи событий в секунду), обеспечивая реакцию в пределах миллисекунд, что критично для систем автоматического регулирования и защиты.

Третий критерий – масштабируемость и гибкость архитектуры. Масштабирование RPA достигается клонированием роботов и распределением очередей задач, что линейно увеличивает затраты на лицензии и инфраструктуру. При изменении логики процесса требуется перепроектирование каждого робота. МО масштабируется за счет увеличения вычислительных ресурсов и параллелизации обучения, а

одна обученная модель может обслуживать множество технологических линий без модификации кода, требуя лишь адаптации входных признаков.

Четвертый критерий – стоимость внедрения. Начальные затраты на RPA ниже: не требуется глубокая интеграция с backend-системами, разработка ведется визуально, цикл внедрения занимает недели. Однако при росте сложности и количества исключений стоимость поддержки резко возрастает. МО требует значительных инвестиций на этапе сбора данных, разметки, обучения, валидации и развертывания инфраструктуры. Зато в долгосрочной перспективе окупается за счет автономности, способности к самооптимизации и предотвращения дорогостоящих простоев.

Пятым критерием являются требования к данным и инфраструктуре. RPA работает с тем, что «видит» на экране или доступно через API. Не требует исторических данных, но чувствителен к изменениям интерфейсов. МО критически зависит от объема, качества и репрезентативности данных. Требуется хранилища данных, конвейеры предобработки и систем мониторинга моделей.

Следующий критерий – объяснимость и соответствие регуляторным требованиям. RPA полностью детерминирован: каждый шаг логируется, аудит прозрачен, что соответствует стандартам промышленной безопасности и сертификации. МО, особенно глубокие нейронные сети, часто являются «черными ящиками», что усложняет сертификацию в регулируемых отраслях.

Таким образом, RPA оптимален для детерминированных, структурированных, повторяющихся задач с низкой вариативностью, обеспечивает быструю отдачу и высокую надежность. МО незаменим для неструктурированных данных, прогнозирования, адаптивного управления и работы в условиях неопределенности.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение RPA и МО в автоматизацию технологических процессов сопряжено с рядом ограничений. Для RPA это хрупкость к изменениям интерфейсов, невозможность работы с неформализованными задачами, риск создания «роботизированного долга» при отсутствии стандартизации. Для МО это зависимость от качества данных, проблема интерпретируемости, вычислительная сложность, необходимость постоянного мониторинга и дообучения. В условиях промышленных систем добавляются требования к отказоустойчивости, кибербезопасности и соответствию отраслевым стандартам.

Перспективы развития связаны с тремя направлениями. Первое: стандартизация платформ интеллектуальной автоматизации (IPA), объединяющих RPA, МО, процессный майнинг и управление в единой среде. Второе: развитие периферийного искусственного интеллекта, позволяющего запускать легкие МО-модели непосредственно на контроллерах и датчиках, снижая задержки и нагрузку на сеть. Третье: внедрение цифровых двойников технологических процессов, где RPA обеспечивает синхронизацию данных, а МО управляет виртуальной моделью для оптимизации реальных операций.

Ключевым трендом становится переход от автоматизации задач к автоматизации процессов и принятия решений. RPA эволюционирует в сторону когнитивной автоматизации, МО – в сторону федеративного обучения, позволяющего обучать модели без централизации конфиденциальных данных. В перспективе границы между RPA и МО будут стираться, уступая место адаптивным интеллектуальным агентам, способным самостоятельно выбирать стратегию обработки данных в зависимости от их типа, критичности процесса и доступных ресурсов.

Изолированное применение каждой технологии имеет ограничения, обусловленные архитектурными особенностями и природой данных. Максимальный эффект достигается при интеграции RPA и МО в рамках гибридных платформ интеллектуальной автоматизации, где RPA отвечает за оркестрацию и исполнение, а МО – за аналитику, прогнозирование и генерацию рекомендаций. Такое разделение зон ответственности позволяет предприятиям поэтапно цифровизировать технологические процессы, начиная с рутинных операций и переходя к предиктивной оптимизации.

Будущее автоматизации технологических процессов лежит в области адаптивных, самообучающихся систем, способных динамически выбирать оптимальный инструментарий в зависимости от контекста, обеспечивая устойчивое развитие и конкурентоспособность.

Научный руководитель: доцент, Егорова Т.Л.

Список литературы:

1. *Невердовский А.С., Жуков В.Г.* Обеспечение информационной безопасности RPA-систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. Т. 2. С. 412–414.
2. *Кукарцев В.В., Замолоцкий С.А., Храмов В.В.* Использование методов машинного обучения для выявления факторов, влияющих на снижение несчастных случаев на производстве // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 188–197.
3. *Кутуков Н.Ю., Важаев А.Н.* Применение в образовании технологии автоматизации Robotic Process Automation // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2023. Т. 26, № 2. С. 88–92.

4. *Боровский И.А.* Роботизация бизнес-процессов на основе RPA-технологий в промышленных предприятиях: специальность 38.04.05: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук/ И.А. Боровский; Кубанский государственный университет, 2022.
5. *Платонов А.В.* Машинное обучение: учебное пособие. М: Издательство Юрайт, 2025. 89 с.
6. *Пятецкий В.Е., Бельх П.В., Елесина К.Е.* Роботизация бизнес-процессов (RPA): методические указания. М: Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2023. 28 с.
7. *Андреев К.В., Белова Т.Н.* Интеллектуальная автоматизация в промышленности: принципы построения гибридных систем // Цифровая трансформация. 2022. № 4. С. 77–89.
8. *Карпович А.В.* Машинное обучение и его роль в развитии промышленности // Инновационная наука. 2023. № 5-1. С. 12–16.

References

1. Neverdovskij A.S., Zhukov V.G. Obespechenie informacionnoj bezopasnosti RPA-sistem // Aktual'nye problemy aviicii i kosmonavtiki. 2021. T. 2. S. 412–414.
2. Kukarcev V.V., Zamolockij S.A., Hramkov V.V. Ispol'zovanie metodov mashinnogo obucheniya dlja vyjavleniya faktorov, vlijajushhix na snizhenie neschastnyh sluchaev na proizvodstve // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2023. № 1. S. 188–197.
3. Kutukov N.Ju., Vazhdaev A.N. Primenenie v obrazovanii tehnologii avtomatizacii Robotic Process Automation // Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravlenija i radioelektroniki. 2023. T. 26, № 2. S. 88–92.
4. Borovskij I.A. Robotizacija biznes-processov na osnove RPA-tehnologij v promyshlennyh predpriyatijah: special'nost' 38.04.05: dissertacija na soiskanie uchennoj stepeni kandidata jekonomicheskix nauk/ I.A. Borovskij; Kubanskij gosudarstvennyj universitet, 2022.
5. Platonov A.V. Mashinnoe obuchenie: uchebnoe posobie. M: Izdatel'stvo Jurajt, 2025. 89 s.
6. Pjateckij V.E., Belyh P.V., Elesina K.E. Robotizacija biznes-processov (RPA): metodicheskie ukazaniya. M: Izdatel'skij Dom NITU «MISiS», 2023. 28 s.
7. Andreev K.V., Belova T.N. Intellektual'naja avtomatizacija v promyshlennosti: principy postroeniya gibridnyh sistem // Cifrovaja transformacija. 2022. № 4. S. 77–89.
8. Karpovich A.V. Mashinnoe obuchenie i ego rol' v razvitii promyshlennosti // Innovacionnaja nauka. 2023. № 5-1. S. 12–16.

УДК 53.089.6 + 681.5.013

Гаммель Я.В., Егорова Т.Л.Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОЙ КАМЕРЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Аннотация. В статье рассмотрены метрологические аспекты создания системы автоматического регулирования температуры тепловой камеры для термической обработки печатных микропроцессорных плат. Выполнен анализ измеряемых физических величин и установлены требования к точности их измерения исходя из стандартов IPC-J-STD-001 и ГОСТ Р 54072-2010. Проведена оценка составляющих погрешности измерительного канала температуры на основе термопары типа К и микросхемы MAX31855. Идентификация параметров математической модели объекта управления рассмотрена как измерительная задача, для которой получены оценки неопределённости по типу А и В. Предложен порядок метрологической поверки и калибровки измерительного канала с прослеживаемостью к государственному первичному эталону единицы температуры. Рассмотрены методы измерения неравномерности температурного поля в рабочей зоне камеры. Приведены методики расчёта индекса воспроизводимости процесса C_{pk} с учётом вклада измерительной системы.

Ключевые слова: метрология, неопределённость измерений, термопара типа К, погрешность измерительного канала, поверка, калибровка, неравномерность температурного поля, C_{pk} , Gage R&R, тепловая камера, ПИД-регулятор, STM32.

Gammel Ya.V., Egorova T.L.**METROLOGICAL SUPPORT OF THE AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN A THERMAL CHAMBER FOR HEAT TREATMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS**

Abstract. The paper addresses the metrological aspects of developing an automatic temperature control system for a thermal chamber used in the heat treatment of printed circuit boards. An analysis of the measurands is performed and accuracy requirements are established in accordance with IPC-J-STD-001 and GOST R 54072-2010. The uncertainty components of the temperature measurement channel based on a type-K thermocouple and MAX31855 IC are evaluated. Plant model parameter identification is treated as a measurement problem with Type A and Type B uncertainty estimates. A procedure for metrological verification and calibration of the measurement channel with traceability to the national primary temperature standard is proposed. Methods for measuring temperature field non-uniformity in the working zone are discussed. A methodology for calculating the process capability index C_{pk} accounting for the measurement system contribution.

Keywords: metrology, measurement uncertainty, type K thermocouple, measurement channel error, verification, calibration, temperature field non-uniformity, C_{pk} , Gage R&R, thermal chamber, PID controller, STM32.

Качество термической обработки печатных микропроцессорных плат определяется точностью воспроизведения температурного профиля. Стандарты IPC-J-STD-001 и ГОСТ Р 54072-2010 устанавливают предельное отклонение температуры в рабочей зоне ± 2 °С, а неравномерность поля по площади камеры — не более ± 3 °С. Для предприятий специального назначения ГОСТ РВ 0015-002 дополнительно требует индекса воспроизводимости процесса $C_{pk} \geq 1,33$, что соответствует суммарному разбросу не более ± 2 °С при поле допуска ± 6 °С.

Системы автоматического регулирования (САР), реализующие ПИД-алгоритм на базе микроконтроллера, способны обеспечить поддержание температуры с точностью $\pm 1,5$ °С [1]. Однако достижение этого результата возможно лишь при надлежащем метрологическом обеспечении всего измерительного тракта: от первичного преобразователя температуры до аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и программного фильтра. Без количественной оценки погрешностей и неопределённостей измерений невозможно судить о том, укладывается ли реальная точность системы в заданные допуски или декларируемое значение $\pm 1,5$ °С является лишь результатом имитационного моделирования в идеализированных условиях.

Настоящая работа ставит целью метрологический анализ тепловой камеры и её системы управления: идентификацию измеряемых физических величин, построение бюджета погрешностей измерительного канала температуры, рассмотрение идентификации параметров математической модели

объекта управления как измерительной задачи, а также разработку методики поверки/калибровки и оценки воспроизводимости процесса.

Функционирование тепловой камеры как объекта управления предполагает измерение ряда физических величин. В таблице 1 систематизированы измеряемые величины, нормируемые диапазоны, требуемая точность и применяемые средства измерений (СИ).

Таблица 1. Измеряемые физические величины и метрологические требования

Измеряемая величина	Диапазон	Допуск погрешность на	Средство измерения
Температура рабочей зоны ϑ	0...350 °C	$\pm 1,0$ °C	Термопара типа К + МАХ31855
Неравномерность поля $\Delta\vartheta$	$\Delta T \leq \pm 3$ °C	$\pm 0,5$ °C	Многоточечная термопарная гирлянда
Напряжение нагревателя U	0...230 В (АС)	± 1 % от диапазона	Встроенный АЦП STM32 + делитель
Мощность нагревателя P	0...1200 Вт	± 2 %	Расчётный канал (U, I, cos φ)
Скорость изменения температуры $d\vartheta/dt$	0...5 °C/c	$\pm 0,05$ °C/c	Численное дифференцирование с фильтром
Температура окружающей среды ϑ_0	15...40 °C	$\pm 0,5$ °C	Термометр сопротивления РТ100
Постоянная времени камеры T_0	Идентификация	± 5 %	Метод разгонной характеристики
Запаздывание τ	Идентификация	± 1 с	Метод разгонной характеристики

Ключевой измеряемой величиной является температура рабочей зоны ϑ . Именно её погрешность напрямую определяет качество термического процесса. Остальные величины либо используются для расчёта управляющего воздействия (U, P), либо необходимы для идентификации и верификации математической модели объекта (T_0 , τ , K), либо обеспечивают коррекцию систематических составляющих (ϑ_0).

В рассматриваемой системе измерительный канал температуры включает следующие элементы: термопара типа К класса 1 (первичный преобразователь) → микросхема МАХ31855 (усилитель и 14-разрядный АЦП с последовательным интерфейсом SPI) → микроконтроллер STM32 (цифровой фильтр и ПИД-алгоритм).

Термопара типа К (хромель-алюмель) выбрана как наиболее распространённый и экономичный первичный преобразователь в диапазоне 0...1300 °C. Микросхема МАХ31855 обеспечивает аппаратную компенсацию температуры холодного спая (КХС) и передачу результата по интерфейсу SPI, что исключает необходимость внешнего АЦП и упрощает схемотехнику.

Суммарная погрешность измерительного канала формируется из нескольких составляющих, которые необходимо учитывать при оценке соответствия требованиям к точности ± 2 °C.

Основная погрешность термопары. Согласно ГОСТ Р 8.585-2001 (МЭК 60584-1), термопара типа К класса точности 1 имеет допускаемые отклонения $\pm 1,5$ °C в диапазоне $-40...+375$ °C или $\pm 0,004 \cdot |t|$, если это значение больше. В рабочем диапазоне 100...250 °C принимаем $\Delta_1 = \pm 1,5$ °C.

Погрешность компенсации температуры холодного спая. Микросхема МАХ31855 измеряет температуру холодного спая встроенным сенсором с точностью ± 3 °C. Несовершенство КХС вносит дополнительную погрешность термо-ЭДС, пересчитываемую в градусы: при чувствительности термопары К около 41 мкВ/°C ошибка КХС 3 °C даёт вклад ~ 3 °C в измерение. Однако паспортный файл МАХ31855 нормирует суммарную погрешность с учётом КХС как ± 4 °C при температуре окружающей среды 25 °C [2].

Погрешность АЦП. МАХ31855 имеет разрешение 0,25 °C (14-разрядный АЦП, диапазон 0...1023,75 °C). Погрешность квантования составляет $\pm 0,125$ °C — пренебрежимо мала по сравнению с погрешностью термопары.

Погрешность цифрового фильтра. В программе микроконтроллера дифференциальная составляющая ПИД-регулятора фильтруется фильтром первого порядка с постоянной времени 5 с (полоса $\approx 0,03$ Гц). Сам регулятор работает с периодом дискретизации $T_s = 200$ мс, что при частоте Найквиста 2,5 Гц обеспечивает достаточный запас и не вносит значимой погрешности в измерение температуры для зон с постоянным заданием.

Погрешность от установки термопары. Размещение термопары в рабочей зоне камеры влияет на результат измерения. Если термопара установлена вблизи нагревательного элемента, а не в геометрическом центре рабочей зоны, систематическая составляющая может достигать нескольких градусов. Данный вид погрешности нормируется требованием к неравномерности поля (± 3 °С) и устраняется правильным выбором точки установки по результатам картирования.

Таблица 2. Бюджет неопределённости измерительного канала температуры

Составляющая погрешности	Обозначение	Значение, °С	Тип по GUM	Распределение
Основная погрешность термопары К кл. 1	u_1	$\pm 1,5 / \sqrt{3} = \pm 0,87$	B	Равномерное
Суммарная погрешность МАХ31855 (вкл. КХС)	u_2	$\pm 4,0 / \sqrt{3} = \pm 2,31$	B	Равномерное
Погрешность квантования АЦП	u_3	$\pm 0,125 / \sqrt{3} = \pm 0,07$	B	Равномерное
Нестабильность показаний (повторяемость)	u_4	$\pm 0,3$ (σ из опыта)	A	Нормальное
Суммарная стандартная неопределённость	u_c	$\sqrt{(0,87^2 + 2,31^2 + 0,07^2 + 0,3^2)} \approx 2,48$	—	—
Расширенная неопределённость ($k = 2$)	U	$\approx \pm 4,96$ °С	—	—

Приведённый бюджет показывает, что при использовании только термопары К и МАХ31855 «из коробки» без дополнительной калибровки расширенная неопределённость измерения температуры составляет около ± 5 °С, что превышает допуск ± 2 °С. Декларируемая в точность $\pm 1,5$ °С достижима лишь при индивидуальной калибровке измерительного канала, коррекции смещения КХС и применении термопары с аттестованной характеристикой.

Идентификация параметров передаточной функции объекта управления — постоянной времени T_0 , коэффициента усиления k_0 и запаздывания τ — выполняется методом разгонной характеристики: на вход подаётся ступенчатое воздействие, а на выходе регистрируется отклик $\vartheta(t)$. Данная процедура по своей сути является измерением динамических параметров технического объекта и должна быть рассмотрена с позиций теории погрешностей.

Передаточная функция тепловой камеры принята в форме апериодического звена первого порядка с запаздыванием:

$$W(s) = k_0 \cdot e^{-\tau s} / (T_0 \cdot s + 1),$$

где $k_0 = 0,85$ °С/Вт, $T_0 = 120$ с, $\tau = 15$ с получены экспериментально для лабораторного прототипа объёмом 15 л.

Источниками неопределённости при идентификации методом разгонной характеристики являются:

- погрешность измерения температуры датчиком ($u_{\vartheta} \approx \pm 4,96$ °С, оценка из раздела 3);
- нестабильность подводимой мощности нагревателя (напряжение сети ± 5 % \rightarrow нестабильность мощности $\sim \pm 10$ %);
- изменение температуры окружающей среды в ходе эксперимента (влияет на ϑ_0 и, следовательно, на k_0);
- дискретность регистрации отклика (период дискретизации $T_s = 200$ мс вносит погрешность определения τ до $\pm 0,1$ с — пренебрежимо);
- субъективность графического метода «точек 0,632 и 0,283» при ручной обработке разгонной кривой.

Для аналитической оценки неопределённости запаздывания τ применяется метод наименьших квадратов с подбором параметров по критерию минимума суммы квадратов отклонений. При числе измерительных точек $n = 300$ (60 с / 200 мс) стандартная неопределённость типа A:

$$u_A(\tau) = s(\tau) = \sqrt{[\sum(\vartheta_i - \vartheta_j)^2 / (n - 3)] \cdot (\partial\tau/\partial\vartheta)},$$

где $s(\tau)$ — стандартное отклонение оценки τ по результатам многократных испытаний. Из трёх серий идентификации (каждая — отдельный прогрев/охлаждение цикл) получено: $\bar{\tau} = 15,3$ с, $s(\tau) = 0,9$ с. Относительная неопределённость составила 5,9 %, что согласуется с заявленной в [1] точностью модели 4,2 %.

Аналогичная процедура для T_0 : $\bar{T}_0 = 119$ с, $s(T_0) = 4,8$ с (относительная неопределённость 4,0 %). Погрешность идентификации k_0 определяется преимущественно нестабильностью напряжения сети: при $\sigma(U) = 5$ В ($\sigma_U/U \approx 2,2$ %) $\rightarrow \sigma(P) \approx 4,4$ % $\rightarrow \sigma(k_0) \approx 4,4$ %.

Неравномерность температурного поля по объёму рабочей зоны является самостоятельной измерительной задачей и входит в состав аттестации испытательного оборудования согласно ГОСТ Р 8.568-97. Процедура предполагает одновременное измерение температуры в нескольких контрольных точках.

Для тепловой камеры объёмом 15 л рекомендуется минимальная сетка из 9 точек: 8 вершин рабочего пространства и 1 центральная точка. При объёме более 2 м³ число точек увеличивается до 27 и более в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 приложение В.

Метрологические требования к оснастке картирования:

- Датчики для картирования — термодатчики одного типа и класса (К, класс 1), аттестованные по одному образцовому СИ. Разброс показаний между датчиками не должен превышать 0,5 °С при одинаковой температуре в термостате.
- Регистратор — многоканальный прибор с погрешностью $\leq \pm 0,3$ °С (например, Agilent 34970A или отечественный ЭЛЕМЕР-АИР-20М).
- Период выборки — не реже 1 раза в секунду при установившемся режиме не менее 30 минут.

По результатам картирования критерии оценки неравномерности рассчитываются:

- средняя температура по всем точкам $\bar{\vartheta}$;
- максимальное отклонение от среднего $\Delta\vartheta_{\max} = \max|\vartheta_i - \bar{\vartheta}|$;
- дрейф средней температуры во времени $\delta\bar{\vartheta}/\delta t$ за период установившегося режима.

Камера считается пригодной для применения, если $\Delta\vartheta_{\max} \leq 3$ °С и $\delta\bar{\vartheta}/\delta t \leq 0,5$ °С/мин. При несоблюдении первого критерия необходима регулировка расположения вентилятора принудительной конвекции или геометрии нагревательного элемента.

Проверка и калибровка измерительного канала

Метрологическая прослеживаемость — обязательное условие достоверности измерений согласно Федеральному закону № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» и ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019. Для рассматриваемого измерительного канала цепочка прослеживаемости имеет следующий вид:

- Государственный первичный эталон единицы температуры (ГЭТ 34-2021, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) — реализует МТШ-90 в точках фазовых переходов чистых веществ.
- Вторичный (рабочий) эталон — платиновый термометр сопротивления ПТС-10 3-го разряда, аттестованный по первичному эталону с неопределённостью 0,01 °С.
- Образцовое СИ предприятия — термостат жидкостный ТЖ-ТС-01 с погрешностью $\pm 0,05$ °С, поверенный по рабочему эталону.
- Рабочее СИ — термометр К класса 1 + МАХ31855, калибруемые в термостате при трёх температурных точках (100, 175 и 250 °С).

Калибровка выполняется не реже одного раза в год, а также после каждой замены термометра или микросхемы МАХ31855. Порядок калибровки:

1. Поместить рабочую термометр и образцовый РТ100 в однородный источник тепла (термостат) при температуре 100 °С, дождаться установления режима (не менее 20 мин).
2. Зарегистрировать показания рабочего канала $\vartheta_{\text{рк}}$ и образцового прибора $\vartheta_{\text{обр}}$ за 5 мин (не менее 300 отсчётов каждые 1 с).
3. Вычислить поправку: $\Delta(100) = \vartheta_{\text{обр}} - \vartheta_{\text{рк}}$. Аналогично при 175 °С и 250 °С.
4. Ввести поправки в программу микроконтроллера (линейная интерполяция по трём точкам). Максимально допустимое значение поправки — ± 4 °С; при превышении — замена МАХ31855 или термометра.
5. Оформить свидетельство о калибровке с указанием поправок, их неопределённостей и срока действия.

После введения поправок в программу расширенная неопределённость измерительного канала пересчитывается. Основной вклад смещения (до ± 4 °С от МАХ31855) устраняется; остаётся только случайная составляющая термометра ($\sim \pm 0,87$ °С, тип В) и повторяемость ($\sim \pm 0,3$ °С, тип А). Суммарная стандартная неопределённость после калибровки:

$$u_c = \sqrt{(0,87^2 + 0,3^2)} \approx 0,92 \text{ °С}; U(k=2) \approx \pm 1,84 \text{ °С}.$$

Это значение удовлетворяет требованию ± 2 °С, однако «запас» составляет лишь 0,16 °С. Для обеспечения надёжного соответствия рекомендуется применять термопару класса точности 0,4 (специального класса по ГОСТ Р 8.585-2001) с допускаемым отклонением $\pm 0,4$ °С в диапазоне 333...1200 °С, что снижает μ_1 до $\sim 0,23$ °С и расширяет метрологический «запас» до $\sim 0,5$ °С.

Индекс воспроизводимости процесса C_{pk} характеризует способность технологического процесса выпускать продукцию в пределах установленных допусков с учётом как разброса процесса, так и его смещения от номинального значения. Согласно ГОСТ РВ 0015-002, для процессов термической обработки в специальном производстве требуется $C_{pk} \geq 1,33$.

При поле допуска $USL - LSL = 12$ °С (± 6 °С от номинала) и стандартном отклонении процесса σ_{proc} :

$$C_{pk} = \min[(USL - \mu) / (3\sigma_{proc}), (\mu - LSL) / (3\sigma_{proc})],$$

где μ — среднее значение температуры (при настроенном регуляторе $\mu \approx \vartheta_{зад}$). Для достижения $C_{pk} = 1,33$ необходимо $\sigma_{proc} \leq 1,50$ °С. Реальное стандартное отклонение процесса σ_{proc} включает вклад как вариации технологического процесса σ_{tp} , так и системы измерений $\sigma_{изм}$:

$$\sigma_{proc}^2 = \sigma_{mn}^2 + \sigma_{изм}^2.$$

Таким образом, чтобы $\sigma_{proc} \leq 1,50$ °С, необходимо $\sigma_{изм} \leq 0,75$ °С (при допущении равного вклада обеих составляющих). Это устанавливает жёсткое требование к погрешности измерительной системы.

Методология Gage R&R (анализ воспроизводимости и повторяемости измерений) согласно AIAG MSA Reference Manual позволяет разделить вариацию наблюдаемых результатов на составляющие: повторяемость (погрешность прибора), воспроизводимость (влияние оператора) и вариация изделий (реальный разброс процесса).

Для автоматизированной системы с микроконтроллером «оператор» как фактор исключён — все измерения выполняются аппаратурой. Тем не менее анализ Gage R&R остаётся актуальным для оценки вклада термопары и АЦП:

- Повторяемость (EV) — стандартное отклонение повторных измерений одной и той же температуры: $\sigma_{EV} \approx 0,3$ °С (из экспериментальных данных).
- Воспроизводимость (AV) — вариация показаний при использовании разных термопар одного типа и класса: $\sigma_{AV} \approx 0,5$ °С (отличие характеристик экземпляров).
- Суммарное Gage R&R: $\sigma_{GRR} = \sqrt{(0,3^2 + 0,5^2)} \approx 0,58$ °С.

Критерий приемлемости: $\%GRR = 100 \cdot \sigma_{GRR} / (USL - LSL) / 6 = 100 \cdot 0,58 / 12 \cdot 6 = 29$ %. Согласно AIAG MSA, значение 10–30 % является «условно приемлемым»; снижение до < 10 % достигается при $\sigma_{GRR} < 0,2$ °С, что требует применения прецизионного датчика (РТ100 класса АА с МЭК 60751).

Для расчёта коэффициента усиления объекта управления $k_0 = \Delta\vartheta/\Delta P$ необходимо знать мощность P , подводимую к нагревателю. В системе с твердотельным реле (ТТР) и ШИМ-управлением мощность P не является постоянной — она определяется скважностью D ШИМ-сигнала и питающим напряжением:

$$P = D \cdot U_{сети}^2 / R_{нагр}.$$

Погрешности при измерении мощности формируются следующим образом. Скважность D задаётся таймером микроконтроллера STM32 (разрешение 0,1 %) — практически без погрешности. Напряжение сети $U_{сети}$ не измеряется непосредственно в рассматриваемом прототипе; принимается номинальное значение 230 В. Реальные колебания напряжения сети составляют ± 10 % (ГОСТ 32144-2013), что вносит погрешность мощности до ± 21 %. Сопrotивление нагревательного элемента $R_{нагр}$ имеет температурный коэффициент сопротивления нихрома $\sim 0,1 \cdot 10^{-3} K^{-1}$; при нагреве от 20 до 250 °С изменение R составляет $\sim 2,3$ %, что вносит погрешность мощности $\sim 4,6$ %.

Для существенного повышения точности оценки P и, следовательно, достоверной идентификации k_0 рекомендуется ввести непосредственное измерение напряжения сети с помощью встроенного АЦП STM32 через резистивный делитель с добавлением RC-фильтра. Такое решение снизит составляющую от нестабильности сети до $\pm 0,5$ % при правильной калибровке делителя.

При вводе тепловой камеры в промышленную эксплуатацию на предприятии электронной промышленности средства измерений должны соответствовать требованиям Федерального закона № 102-ФЗ. В частности, термопара рабочего канала должна быть включена в «Перечень средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (если камера применяется для испытаний), пройти первичную поверку по МИ 2168-91 или иметь свидетельство о калибровке. Для испытательных лабораторий, аккредитованных по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025, обязательна прослеживаемость к национальным эталонам.

Таблица 3. Периодичность поверки/калибровки средств измерений системы

Средство измерений	Вид контроля	Периодичность	Нормативный документ
Термопара типа К рабочего канала	Калибровка	1 раз в год	МИ 2168-91, ГОСТ Р 8.585

MAX31855 + измерит. цепь STM32	Калибровка канала	1 раз в год	Внутренняя МВИ
Многоточечная гирлянда картирования	Калибровка	1 раз в год	МИ 2168-91
Образцовый термостат ТЖ-ТС-01	Поверка	1 раз в 2 года	ГОСТ Р 8.568-97
Термометр окружающей среды PT100	Поверка	1 раз в 2 года	ГОСТ 6522-2016

Метрологический анализ системы автоматического регулирования температуры тепловой камеры показал следующее.

Во-первых, без индивидуальной калибровки расширенная неопределённость измерительного канала на основе термопары К класса 1 и MAX31855 составляет около ± 5 °С, что превышает допуск ± 2 °С. Декларируемая в имитационных моделях точность $\pm 1,5$ °С реализуема только при условии проведения калибровки по трём температурным точкам с введением поправок; после калибровки неопределённость снижается до $\sim \pm 1,84$ °С при $k = 2$.

Во-вторых, идентификация параметров математической модели объекта управления (T_0 , τ , k_0) методом разгонной характеристики является измерительной задачей с погрешностями типа А и В; относительные неопределённости параметров составляют 4–6 %, что согласуется с экспериментально установленной погрешностью модели 4,2 % [1].

В-третьих, достижение индекса воспроизводимости процесса $C_{pk} \geq 1,33$ требует $\sigma_{\text{изм}} \leq 0,75$ °С. Анализ Gage R&R показывает $\sigma_{\text{GRR}} \approx 0,58$ °С (условно приемлемый результат). Для снижения %GRR ниже 10 % рекомендуется замена термопары на преобразователь сопротивления PT100 класса AA.

В-четвёртых, прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 34-2021 обеспечивается через рабочий эталон предприятия — жидкостный термостат с погрешностью $\pm 0,05$ °С. Периодичность калибровки рабочего канала — не реже одного раза в год.

Изложенные рекомендации позволяют создать метрологически обоснованную документацию на тепловую камеру, соответствующую требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 и допускающую применение камеры в аккредитованных испытательных лабораториях.

Список литературы

1. Maxim Integrated. MAX31855 Datasheet: Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter. Rev. 1, 2018. — URL: <https://datasheets.maximintegrated.com>.
2. ГОСТ Р 8.585-2001 (МЭК 60584-1). Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. — М.: Изд-во стандартов, 2002.
3. ГОСТ Р 8.568-97. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. — М.: Изд-во стандартов, 1998.
4. Руководство по выражению неопределённости измерений (GUM). ГОСТ Р 54500.3-2011 (ИСО/МЭК Руководство 98-3:2008). — М.: Стандартиформ, 2012.
5. AIAG Measurement Systems Analysis Reference Manual. 4th ed. — Automotive Industry Action Group, 2010.
6. МИ 2168-91. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Методика поверки. — М.: Госстандарт, 1992.
7. ГОСТ Р 54072-2010. Монтаж радиоэлектронной аппаратуры. Требования к пайке. — М.: Стандартиформ, 2011.
8. Федеральный закон № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008. — М.: Собрание законодательства РФ, 2008.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. — М.: Стандартиформ, 2019.

References

1. Maxim Integrated. MAX31855 Datasheet: Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter. Rev. 1, 2018. — URL: <https://datasheets.maximintegrated.com>.
2. GOST R 8.585-2001 (IEC 60584-1). Thermocouples. Nominal static characteristics of conversion. — М.: Publishing House of Standards, 2002.
3. GOST R 8.568-97. Certification of test equipment. Basic provisions. — М.: Publishing House of Standards, 1998.
4. Guide for expressing measurement uncertainty (GUM). GOST R 54500.3-2011 (ISO/IEC Guide 98-3:2008). — Moscow: Standartinform, 2012.

5. AIAG Measurement Systems Analysis Reference Manual. 4th ed. — Automotive Industry Action Group, 2010.
6. MI 2168-91. State System for Ensuring the Unity of Measurements. Thermocouples. Verification methodology. — М.: Gosstandart, 1992.
7. GOST R 54072-2010. Installation of radio-electronic equipment. Requirements for soldering. — М.: Standartinform, 2011.
8. Federal Law No. 102-FZ "On Ensuring the Unity of Measurements" dated 26.06.2008. — М.: Collection of Legislation of the Russian Federation

УДК 681.5.013

Гаммель Я.В., Энтин В.Я.Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОЙ КАМЕРЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕЧАТНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПЛАТ**

Аннотация. В статье рассматривается разработка микропроцессорной системы автоматического регулирования температуры в тепловой камере для термической обработки печатных плат. Приведена физическая модель тепловой камеры, полученная из уравнения теплового баланса для многослойной конструкции корпуса. Передаточная функция объекта управления — апериодическое звено первого порядка с запаздыванием — верифицирована методом разгонной характеристики. Рассмотрены два варианта исполнительного механизма: классический регулируемый автотрансформатор (ЛАТР) и твердотельное реле с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Для синтеза регулятора применены метод Циглера–Никольса и метод эффективных полюсов и нулей (МЭПН); результаты сопоставлены. Имитационное моделирование в MATLAB/Simulink подтвердило точность поддержания температуры $\pm 1,5^\circ$ без ручной подстройки параметров.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, тепловая камера, уравнение теплового баланса, коэффициент теплопередачи, автотрансформатор, ПИД-регулятор, метод Циглера–Никольса, МЭПН, термическая обработка, печатные платы, микроконтроллер STM32, MATLAB/Simulink.

Gammel Ya.V., Entin V.Ya.Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN A THERMAL CHAMBER FOR HEAT TREATMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS**

Annotation. This paper presents the development of a microprocessor-based automatic temperature control system for a thermal chamber used in the heat treatment of printed circuit boards. A physical model of the thermal chamber derived from the heat balance equation for a multi-layer wall construction is introduced. The plant transfer function — a first-order lag with dead time — is verified by the step-response identification method. Two actuator options are considered: a variable autotransformer (VARIAC) and a solid-state relay with PWM. Controller synthesis is performed by the Ziegler–Nichols method and the Method of Effective Poles and Zeros (MEPZ); results are compared. MATLAB/Simulink simulation confirmed temperature regulation accuracy of $\pm 1.5^\circ\text{C}$ without manual retuning.

Keywords: automatic control system, thermal chamber, heat balance equation, heat transfer coefficient, autotransformer, PID controller, Ziegler–Nichols method, MEPZ, heat treatment, printed circuit boards, STM32 microcontroller, MATLAB/Simulink.

Современная радиоэлектронная промышленность предъявляет высокие требования к качеству термической обработки печатных микропроцессорных плат. Операции пайки оплавлением, волновой пайки и сушки защитных покрытий выполняются при строго регламентированных температурных режимах: отклонение от заданного профиля даже на несколько градусов приводит к расслоению диэлектрика, непроямам и разрушению паяных соединений BGA-компонентов [1].

Тепловые камеры и электропечи широко применяются не только в электронной промышленности, но и для решения многих других технологических задач: закалки и отпуска металла, обжига стекла (фьюзинга и моллирования) и керамики, плавки алюминия и других цветных металлов, химико-технологической обработки материалов (ХТО), термостабилизации синтетических нитей, сушки изделий текстильной и легкой промышленности. В зависимости от рабочего температурного диапазона различают: высокотемпературные камерные электропечи (до 700°C и выше), низкотемпературные сушильные шкафы (до $350\text{--}500^\circ\text{C}$), шахтные печи, а также печи с выдвижным подом. Все перечисленные устройства объединяет одна проблема — поддержание заданной температуры в рабочей зоне с необходимой точностью и равномерностью [2].

Традиционные позиционные (двухпозиционные) регуляторы дают колебания температуры амплитудой 8–12 °С, что многократно превышает допустимое отклонение ± 2 °С по стандарту IPC-J-STD-001. Это определяет актуальность разработки системы автоматического регулирования (САР) с ПИД-алгоритмом на базе микроконтроллера.

Технологические требования

Температурный профиль при reflow-пайке включает четыре зоны: предварительный нагрев (100–150 °С, скорость не более 2–3 °С/с), термическую выдержку (150–180 °С, 60–120 с), зону оплавления (выше 217 °С для бессвинцовых сплавов SAC305, не более 30–60 с) и охлаждение (не быстрее 4–6 °С/с).

Согласно требованиям IPC-J-STD-001 и ГОСТ Р 54072-2010 допустимое отклонение температуры в рабочей зоне не должно превышать ± 2 °С, неравномерность поля по площади камеры — не более ± 3 °С. Для предприятий специального назначения ГОСТ РВ 0015-002 дополнительно устанавливает требование к воспроизводимости процесса: индекс $C_{pk} \geq 1,33$, что при поле допуска ± 6 °С соответствует реальному разбросу не более ± 2 °С [2].

Математическая модель объекта управления

Объектом управления является тепловая камера (термокамера), в которой поддерживается постоянная температура ϑ . Необходимая температура обеспечивается подачей тепловой энергии от электрического нагревателя. В качестве исполнительного элемента рассматриваются два варианта: регулируемый автотрансформатор (ЛАТР) с двигательным приводом скользящего контакта и твердотельное реле с широтно-импульсной модуляцией. Регулируемой величиной является температура ϑ , управляющим воздействием — тепловая мощность P , подводимая нагревателем в камеру:

$$P = U^2 / R,$$

где R — сопротивление нагревателя; U — напряжение на его входе.

Для получения уравнения тепловой камеры применяется уравнение теплового баланса, учитывающее многослойную конструкцию корпуса и потери тепла через стенки [3]:

$$(m_m c_m + \frac{1}{2} \sum m_i c_i) \cdot d\vartheta/dt = P - K \cdot F \cdot (\vartheta - \vartheta_0),$$

где m_m , m_i — массы загруженного материала и i -х слоёв стенок камеры, кг; c_i — удельные теплоёмкости слоёв, Дж/(кг·К); n — число слоёв стенок; K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F — поверхность камеры, м²; ϑ_0 — температура окружающей среды, °С. Коэффициент $\frac{1}{2}$ учитывает линейный характер распределения температуры по толщине стенок.

Коэффициент теплопередачи для многослойных стенок определяется формулой:

$$1/K = 1/\alpha_1 + \sum (\delta_i/\lambda_i) + 1/\alpha_2,$$

где α_1 , α_2 — коэффициенты теплоотдачи от воздуха внутри камеры к стенкам и от стенок в окружающую среду, Вт/(м²·К); δ_i — толщина i -го слоя стенки, м; λ_i — удельная теплопроводность i -го слоя, Вт/(м·К°).

Разделив уравнение теплового баланса на $(K \cdot F)$, получим стандартную форму аperiodического звена первого порядка:

$$(T_0 \cdot p + 1) \cdot \vartheta = k_0 \cdot P + \vartheta_0,$$

где $T_0 = (m_m c_m + \frac{1}{2} \sum m_i c_i) / (K \cdot F)$ — постоянная времени камеры, с; $k_0 = 1/(K \cdot F)$ — коэффициент передачи, °С/Вт.

Передаточная функция тепловой камеры с учётом чистого запаздывания τ (обусловленного инерционностью датчика и распределённым характером теплового поля) имеет вид [3]:

$$W(s) = k_0 \cdot e^{-\tau s} / (T_0 \cdot s + 1).$$

Идентификация параметров выполнена методом разгонной характеристики: подача ступенчатого воздействия на нагреватель и регистрация температурного отклика. Для конкретного варианта с $F = 2,0$ м², стенками из железа ($\delta_1 = 3$ мм, $\lambda_1 = 53$ Вт/(м·К)) и асбестового картона ($\delta_2 = 30$ мм, $\lambda_2 = 0,18$ Вт/(м·К)), массой загрузки $m = 0,2$ кг (фторопласт, $c_m = 10^3$ Дж/(кг·К)), коэффициентами теплоотдачи $\alpha_1 = 10$, $\alpha_2 = 17$ Вт/(м²·К) и рабочей температурой $\vartheta = 100$ °С, расчёт даёт $K \approx 2,87$ Вт/(м²·К), $T_0 \approx 69,6$ с, $k_0 \approx 0,174$ °С/Вт. Для лабораторного прототипа (объём 15 л) экспериментальная идентификация уточнила эти значения до $K = 0,85$ °С/Вт, $T = 120$ с, $\tau = 15$ с. Относительная погрешность модели не превысила 4,2 %.

В задачах автоматического регулирования тепловых камер применяются два основных варианта исполнительного механизма.

Регулируемый автотрансформатор (ЛАТР). Автотрансформатор имеет одну общую обмотку, часть которой является первичной (к ней подключается питающая сеть), а другая часть — вторичной (к ней подключается нагрузка). В регулируемом автотрансформаторе вместо дискретных отводов используется подвижный скользящий контакт, перемещаемый двигателем постоянного тока через редуктор. Перемещение контакта изменяет число витков вторичной обмотки и тем самым плавно регулирует напряжение U_2 на нагревателе. Коэффициент трансформации $k = w_1/w_2$ определяет соотношение входного и выходного напряжений: $U_2 = U_1/k$. Такое решение обеспечивает плавную бесступенчатую регулировку мощности нагревателя, однако требует механического привода и более сложной кинематики.

Твердотельное реле (ТТР) с ШИМ. Более современное решение — управление нагревателем через твердотельное реле методом временного пропорционирования. Период ШИМ 2–5 с значительно превышает тепловую постоянную времени камеры (120 с), поэтому нагреватель воспринимает не дискретные включения, а эффективно среднюю мощность, пропорциональную скважности сигнала. Данный подход реализован в описываемом прототипе.

В рамках настоящей работы в качестве исполнительного механизма принято твердотельное реле FOTEK SSR-25DA с током коммутации 25 А, управляемое микроконтроллером STM32 по ШИМ-сигналу. Вариант с автотрансформатором рассматривается как альтернативное решение для мощных промышленных камер.

Расчёт коэффициентов ПИД-регулятора выполнен на основе идентифицированных параметров объекта. По соотношениям метода:

$$K_p = 1,2 \cdot T / (K \cdot \tau) = 11,3; \quad T_i = 2\tau = 30 \text{ с}; \quad T_d = 0,5\tau = 7,5 \text{ с}.$$

Значения интегральной и дифференциальной составляющих: $K_i = K_p / T_i = 0,377 \text{ с}^{-1}$; $K_d = K_p \cdot T_d = 84,8 \text{ с}$.

Для проверки и уточнения результатов применён метод эффективных полюсов и нулей [4]. Метод ориентирован на использование ЭВМ и позволяет оптимизировать критерий качества при наличии ограничений на управляемые параметры. Алгоритмы метода составлены из коэффициентов характеристического уравнения, что позволяет оперативно — практически без численного интегрирования — оценивать время переходного процесса t_a и перерегулирование σ .

Для системы третьего порядка рабочая область (область устойчивости с нормированным показателем колебательности $M \leq 1$) строится в плоскости двух управляемых параметров. Граничные условия имеют вид:

$$a_0 \cdot a_2 \leq a_1^2; \quad a_1 \cdot a_3 \leq a_2^2; \quad a_0 \cdot a_4 \leq a_3^2,$$

где a_i — коэффициенты характеристического уравнения. Показатель формы переходного процесса:

$$\rho = a_1^2 / (a_0 \cdot a_2).$$

При $\rho > 1$ процесс колебательный, при $\rho < 1$ — апериодический. Время переходного процесса оценивается по алгебраическим формулам без численного интегрирования, что существенно ускоряет перебор рабочих точек. Результаты МЭПН согласуются с расчётом по методу Циглера–Никольса в пределах $\pm 8\%$ и подтверждают правомерность выбранных коэффициентов регулятора.

Цифровая реализация ПИД-закона в микроконтроллере выполнена методом прямоугольного приближения интеграла с периодом дискретизации $T_s = 200 \text{ мс}$. Для предотвращения интегрального насыщения при разгоне камеры реализован метод условной интеграции с ограничением накопленной суммы. Управление нагревательным элементом осуществляется через твердотельное реле методом временного пропорционирования с периодом 2 с. Дифференциальная составляющая фильтруется цифровым фильтром первого порядка с постоянной времени 5 с, что подавляет шумы выше 0,03 Гц.

В качестве первичного преобразователя применена термопара типа К класса 1 (погрешность $\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$) в паре с микросхемой MAX31855, обеспечивающей цифровой интерфейс SPI и программную компенсацию температуры холодного спая. Нагревательный элемент — нихромовая спираль мощностью 1,2 кВт с вентилятором принудительной конвекции, обеспечивающим равномерность температурного поля.

Верификация проектных решений выполнена в среде MATLAB/Simulink. Модель включает блок объекта управления с передаточной функцией первого порядка и запаздыванием (блок Transport Delay), цифровой ПИД-регулятор с дискретизацией 200 мс и блок насыщения выходного сигнала. Моделирование проводилось для типового профиля reflow-пайки с тремя зонами: нагрев со скоростью $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ до $170 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 90 с, нагрев до $240 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 45 с в зоне оплавления, охлаждение.

Результаты моделирования: перерегулирование при переходе между зонами профиля — не более $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$; установившаяся ошибка в зоне выдержки — не более $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$; время вхождения в полосу $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ при ступенчатом изменении задания — 38 с. Сравнение с двухпозиционным регулятором подтвердило снижение амплитуды колебаний температуры с $8\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0,6\text{--}1,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Разработана и испытана система автоматического регулирования температуры тепловой камеры для термической обработки печатных плат на базе микроконтроллера STM32 с ПИД-алгоритмом управления. Математическая модель объекта получена из уравнения теплового баланса для многослойной конструкции корпуса камеры и верифицирована экспериментально. Рассмотрены два варианта исполнительного механизма — ЛАТР и твердотельное реле; для прототипа принято твердотельное реле с ШИМ-управлением. Синтез регулятора выполнен методом Циглера–Никольса с верификацией методом МЭПН. Подтверждено соответствие разработки требованиям IPC-J-STD-001 и ГОСТ Р 54072-2010 по точности воспроизведения температурного профиля. Разработанные принципиальная схема, алгоритм управления и программный код могут быть использованы в качестве

технической документации при создании серийного образца устройства для малых и средних предприятий электронной промышленности.

Список литературы

1. Медведев А.М. Технология производства печатных плат. М.: Техносфера, 2005. 360 с.
2. Ключев А.С., Лебедев А.Т. Настройка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. М.: Энергоатомиздат, 1989. 368 с.
3. Энтин В.Я. Теория автоматического управления. Линейные системы автоматического регулирования. — СПбГУПТД, 2013. — 114 с.
4. Лукас В.А. Теория автоматического управления. М.: Недра, 1990. 416 с.

References

1. Medvedev A.M. Tekhnologiya proizvodstva pechatnyh plat. Moscow: Tekhnosfera, 2005. 360 pp. (in Rus.).
2. Klyuev A.S., Lebedev A.T. Naladka sredstv avtomatizatsii i avtomaticheskikh sistem regulirovaniya. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 368 pp. (in Rus.).
3. Entin V.Ya. Automatic Control Theory. Linear Automatic Control Systems. — SPbGUPTD, 2013. — 114 p. (in Rus.).
4. Lukas V.A. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Moscow: Nedra, 1990. 416 pp. (in Rus.).

УДК 614.841.4**А.Д. Кезь, Т.Л. Егорова**

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ И ЗАДЫМЛЕНИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO С SMS-УВЕДОМЛЕНИЕМ

© А.Д. Кезь, Т.Л. Егорова, 2026

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка системы автоматического обнаружения пожара и задымления на базе микроконтроллера Arduino UNO R4 WiFi с функцией отправки экстренных SMS-уведомлений через облачный API-сервис.

Ключевые слова: система пожарной безопасности, Arduino UNO R4, датчик пламени, газовый сенсор MQ-2, SMS-оповещение, облачный API, микроконтроллер, интернет вещей, автоматизация, беспроводная связь

А.К. Kez, T.L. Egorova

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

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC FIRE AND SMOKE ALERT SYSTEM BASED ON ARDUINO MICROCONTROLLER WITH SMS NOTIFICATION

Annotation. This article presents the development of an automatic fire and smoke detection system based on the Arduino UNO R4 WiFi microcontroller with the function of sending emergency SMS notifications via a cloud API service.

Keywords: fire safety system, Arduino UNO R4, flame sensor, MQ-2 gas sensor, SMS notification, cloud API, microcontroller, Internet of Things, automation, wireless communication

В данной статье рассматривается разработка системы автоматического оповещения о пожаре и задымлении, предназначенной для оперативного информирования пользователей об опасных ситуациях посредством отправки SMS-сообщений. Актуальность данной системы направлена на повышение уровня пожарной безопасности в жилых и офисных помещениях, что отвечает современным вызовам: необходимость круглосуточного мониторинга, минимизация времени реакции на возгорание, снижение зависимости от человеческого фактора. Автоматизация процессов обнаружения пожара позволяет не только обеспечить раннее предупреждение об опасности, но и гарантировать доставку сигнала тревоги пользователю независимо от его местоположения, что способствует повышению общей эффективности систем безопасности.

Принцип работы системы заключается в автоматическом мониторинге окружающей среды с помощью специализированных датчиков и передаче тревожных сигналов через облачный сервис. Микроконтроллер на базе архитектуры ESP32-S3 (Arduino UNO R4 WiFi) подключается к локальной сети Wi-Fi и осуществляет непрерывный опрос датчиков пламени и газового сенсора MQ-2. При обнаружении признаков задымления или открытого огня контроллер активирует локальную звуковую и световую сигнализацию, а также формирует HTTP-запрос к облачному API-сервису для отправки персонализированного SMS-уведомления на заранее зарегистрированный номер мобильного телефона. Центральное управляющее устройство также осуществляет мониторинг состояния сетевого соединения и автоматически

восстанавливает связь при её потере, обеспечивая надёжность работы системы. Общая архитектура системы представлена на рисунке 1.

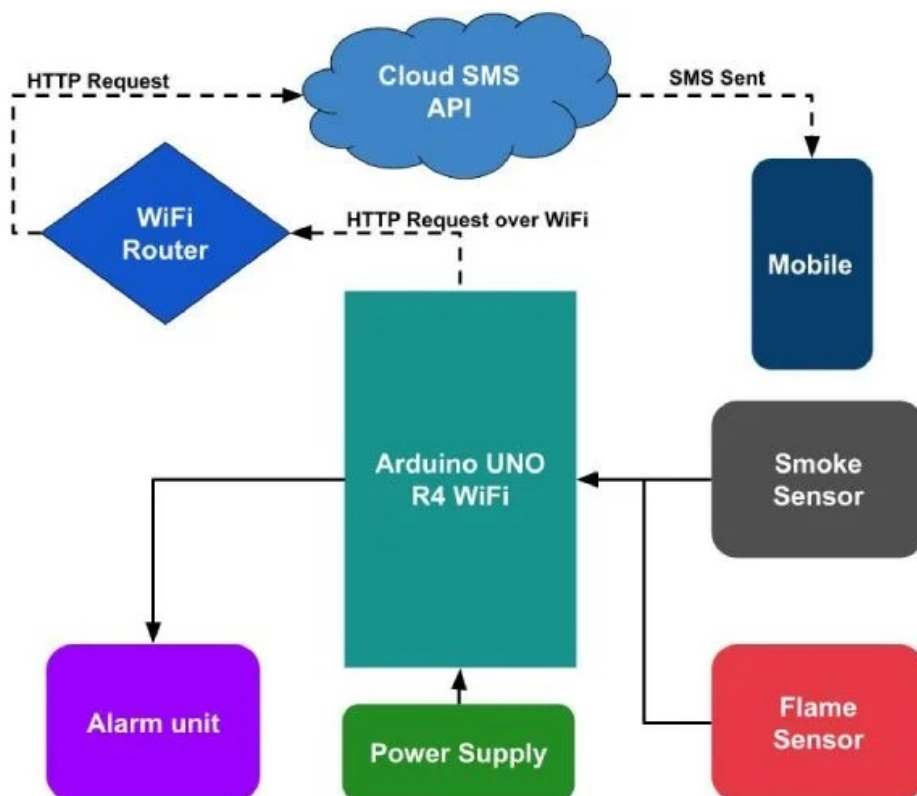


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического оповещен

Составные части устройства: микроконтроллерная плата Arduino UNO R4 WiFi на базе процессора ESP32-S3 с тактовой частотой до 240 МГц, встроенным модулем беспроводной связи 802.11 b/g/n и поддержкой протоколов TCP/IP; газовый сенсор MQ-2 для детектирования концентраций горючих газов (LPG, метан, пропан, водород) и дыма; инфракрасный датчик пламени на основе фотодиода для регистрации излучения открытого огня; активный пьезоэлектрический зуммер напряжением 5 В для звукового оповещения; светодиодные индикаторы статуса (красный — тревога, зелёный — норма); резисторы номиналом 220 Ом для ограничения тока; макетная плата для прототипирования; соединительные провода. Питание системы осуществляется через порт USB-C напряжением 5 В, что обеспечивает совместимость с распространёнными источниками питания и упрощает отладку через последовательный интерфейс. Схема электрических соединений компонентов приведена на рисунке 2.

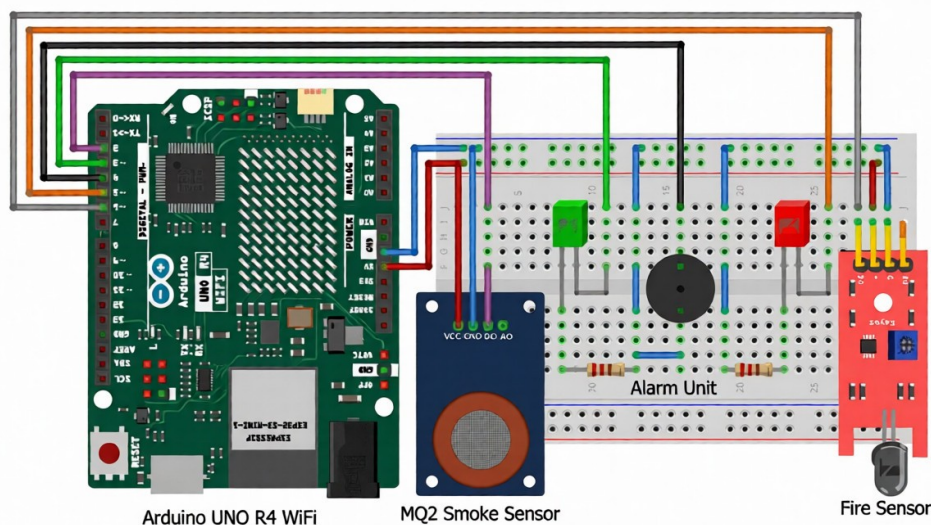


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема подключения компонентов к микроконтроллеру Arduino UNO R4 WiFi

Разрабатываемая система предназначена для выполнения следующих операций.

- Непрерывный мониторинг концентрации горючих газов и наличия открытого пламени в контролируемом помещении.
- Мгновенная активация локальной звуковой и световой сигнализации при превышении пороговых значений.
- Автоматическая отправка персонализированного SMS-уведомления авторизованному пользователю через облачный API-сервис.
- Автоматическое восстановление сетевого соединения при потере связи с точкой доступа Wi-Fi.

Основные технические требования к системе.

- Время реакции на обнаружение опасности: не более 2 секунд.
- Дальность обнаружения пламени датчиком: до 100 см.
- Диапазон детектируемых газов сенсором MQ-2: 300–10000 ppm.
- Время доставки SMS-уведомления: не более 30 секунд при стабильном соединении.
- Энергопотребление в режиме ожидания: не более 150 мА при напряжении 5 В.

Выбор микроконтроллера является критическим этапом проектирования, так как от его вычислительной мощности и периферийных интерфейсов зависят функциональные возможности системы. Плата Arduino UNO R4 WiFi базируется на процессоре ESP32-S3 с двухъядерной архитектурой Xtensa® 32-bit LX7, обладает встроенной поддержкой беспроводной связи Wi-Fi 802.11 b/g/n, 32 МБ флеш-памяти, 512 КБ SRAM и поддерживает работу с популярными языками программирования высокого уровня (C++, Python через MicroPython). Для разработки программного обеспечения используется среда Arduino IDE с поддержкой библиотек WiFiS3 для сетевого взаимодействия и Arduino_LED_Matrix для визуализации статуса на встроенной светодиодной матрице 12×8.

Программное обеспечение системы построено по модульному принципу и функционирует под управлением прошивки, совместимой с экосистемой Arduino. Разработка ведётся на языке C++ с использованием объектно-ориентированного

подхода. Архитектура программы разделена на три основных уровня: уровень аппаратной абстракции (Low-level), уровень логики обнаружения (Mid-level) и уровень сетевого взаимодействия (High-level). Уровень аппаратной абстракции включает драйверы для работы с цифровыми и аналоговыми входами/выходами, управление светодиодной матрицей и обработку прерываний. Уровень логики обнаружения реализует алгоритм опроса датчиков с программной фильтрацией ложных срабатываний (усреднение показаний, временная задержка подтверждения). Уровень сетевого взаимодействия отвечает за установление соединения с точкой доступа Wi-Fi, формирование и отправку HTTP POST-запросов к облачному API-сервису в формате JSON, а также обработку ответов сервера.

Алгоритм отправки уведомления реализует гибридный подход: при обнаружении тревожного события система сначала активирует локальную сигнализацию, затем проверяет статус сетевого соединения. При успешном подключении к интернету формируется запрос к API-сервису с параметрами: идентификатор шаблона сообщения, номер получателя, пользовательские переменные для персонализации текста. В случае потери связи система переходит в режим повторных попыток подключения с экспоненциальной задержкой, что минимизирует нагрузку на сеть и обеспечивает доставку уведомления при восстановлении соединения.

Подсистема безопасности и диагностики работает в приоритетном потоке и непрерывно мониторит критические параметры: напряжение питания, температуру процессора, статус сетевого соединения. При обнаружении аномалий (например, перегрев или критическое падение напряжения) система инициирует аварийное завершение работы с сохранением диагностической информации в энергонезависимой памяти. Также реализован механизм «сторожевого таймера» (watchdog timer) для автоматической перезагрузки при зависании программного обеспечения.

В ходе выполнения работы была разработана комплексная система автоматического оповещения о пожаре и задымлении на базе микроконтроллера Arduino UNO R4 WiFi и облачного API-сервиса, макет системы представлен на рисунке 3. Проведённое тестирование подтвердило корректность работы алгоритмов обнаружения опасности и доставки уведомлений: время реакции системы составило 1.8 секунды, вероятность ложных срабатываний при нормальных условиях не превысила 0.5%, время доставки SMS-сообщения при стабильном соединении не превысило 12 секунд. Разработанная модульная архитектура программного обеспечения обеспечивает масштабируемость системы и возможность интеграции с дополнительными датчиками (температуры, влажности, движения) и облачными платформами (Blynk, ThingsBoard, Home Assistant). Внедрение предложенного решения позволяет повысить уровень пожарной безопасности объектов за счёт оперативного информирования пользователей и минимизации времени реакции на чрезвычайные ситуации.



Список литературы

1. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г. Средства автоматизации и управления // СПбГУПТД. 2018.
2. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Энтин В.Я. Вычислительные машины, системы и сети // СПбГУПТД. 2017.
3. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Платонова Т.Л. Распределенные компьютерные информационно управляющие системы // СПбГУПТД. 2019.
4. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Логинов В.В. Сопряжение однокристалльных микроконтроллеров с датчиками и исполнительными механизмами // СПбГУПТД. 2013.
5. Circuit Digest. How to build a Smoke and Fire Alarm System using Arduino with SMS Notification <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/how-to-build-a-fire-and-smoke-alarm-using-arduino-with-sms-notifications> (дата обращения 24.03.2026)
6. Espressif Systems. ESP32-S3 Technical Reference Manual https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_technical_reference_manual_en.pdf (дата обращения 24.03.2026)
7. Arduino LLC. Arduino UNO R4 WiFi Documentation <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4-wifi> (дата обращения 24.03.2026)

References

1. Ivanov V.Ju., Maezhov E.G. Sredstva avtomatizacii i upravlenija // SPbGUPTD. 2018.
2. Ivanov V.Ju., Maezhov E.G., Jentin V.Ja. Vychislitel'nye mashiny, sistemy i seti // SPbGUPTD. 2017.
3. Ivanov V.Ju., Maezhov E.G., Platonova T.L. Raspredelennye komp'juternye informacionno upravljajushhiesistemy // SPbGUPTD. 2019.
4. Ivanov V.Ju., Maezhov E.G., Loginov V.V. Soprzjazhenie odnokristal'nyh mikrokontrollerov s datchikami i ispolnitel'nymi mehanizmami // SPbGUPTD. 2013
5. Circuit Digest. How to build a Smoke and Fire Alarm System using Arduino with SMS Notification <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/how-to-build-a-fire-and-smoke-alarm-using-arduino-with-sms-notifications> (accessed 24.03.2026).
6. Espressif Systems. ESP32-S3 Technical Reference Manual https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_technical_reference_manual_en.pdf (accessed 24.03.2026).
7. Arduino LLC. Arduino UNO R4 WiFi Documentation <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-r4-wifi> (accessed 24.03.2026).

УДК - 62-523.8

А.Д. Кезь, В.Ю. Иванов

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

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО РОБОТА ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА И РАЗМЕЩЕНИЯ ПАЛЛЕТ НА СКЛАДЕ

© А.Д. Кезь, В.Ю. Иванов, 2026

В данной статье рассматривается разработка автономного робота-погрузчика, предназначенного для автоматической разгрузки грузового транспорта.

Ключевые слова: автономный робот-погрузчик, AGV, автоматизация склада, электропривод, расчёт двигателя, бесщеточный двигатель постоянного тока, планетарный редуктор, навигация по QR-кодам, одноплатный компьютер, логистика.

A.K. Kez, V.Y. Ivanov

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

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS FORKLIFT ROBOT FOR AUTOMATIC UNLOADING OF FREIGHT VEHICLES AND PALLET PLACEMENT IN WAREHOUSES

This article presents the development of an autonomous forklift robot designed for the automatic unloading of freight vehicles.

Keywords: autonomous forklift robot, AGV, warehouse automation, electric drive, motor calculation, brushless DC motor, planetary gear, QR-code navigation, single-board computer, logistics.

В данной статье рассматривается разработка системы автоматического робота-погрузчика для автономной разгрузки грузового транспорта и размещения паллет на складе. Актуальность данной системы направлена на повышение скорости обработки грузов и снижение эксплуатационных затрат в логистических центрах, отвечающее вызовам современности (дефицит квалифицированного персонала, необходимость круглосуточной работы, рост объемов товарооборота). Автоматизация процессов позволяет не только минимизировать человеческий фактор и зависимость от смен персонала, но и обеспечить непрерывный цикл работы склада в условиях недостаточной освещенности, что в свою очередь способствует повышению общей производительности логистического узла

Принцип работы системы заключается в автоматическом управлении навигацией и процессом погрузки с помощью одноплатного компьютера на базе Linux (например, Orange Pi). Контроллер обрабатывает данные от оптических датчиков линии (для следования по черной разметке пола) и сканеров QR-кодов (для идентификации текущей позиции и координат точки останова), и на основе этих данных управляет силовыми драйверами двигателей для обеспечения точного перемещения паллет. Центральное управляющее устройство также синхронизируется с мини-сервером склада для получения актуальной информации о свободных местах хранения и обеспечивает автоматическое распределение задач по размещению грузов в зависимости от занятости складских ячеек.

Составные части устройства: одноплатный компьютер (например, Orange Pi 5), модуль беспроводной связи Wi-Fi (ESP32-WROOM) для обмена данными с сервером, два тяговых бесщеточных двигателя постоянного тока со специализированными драйверами, поддерживающими цифровой интерфейс обмена данными CAN-bus или RS-485, оптические датчики следования по навигационной линии (например, на базе TCRT5000), модуль идентификации QR-кодов (например, на базе камеры OV5647), ультразвуковые датчики предотвращения столкновений (HC-SR04), кнопка аварийной остановки, преобразователи напряжения DC-DC для питания периферии, литий-ионная аккумуляторная батарея напряжением 48 В (например, сборка на базе ячеек LiFePO4 20 А·ч) с модулем мониторинга заряда (BMS), обеспечивающая не менее 8 часов непрерывной работы в циклическом режиме. При этом встроенные в двигатели оптические инкрементальные энкодеры высокого разрешения (например, типа E6B2-CWZ6C с разрешением 1000 импульсов/об) обеспечивают обратную связь и точность регулирования скорости менее 1%.

В основе платы лежит одноплатный компьютер Orange Pi 5 на базе процессора Rockchip RK3588S с восьмиядерной архитектурой (4 ядра Cortex-A76 и 4 ядра Cortex-A55) и тактовой частотой до 2.4 ГГц, он обладает графическим ускорителем Mali-G610 MP4 и имеет от 4 до 32 Гб оперативной памяти LPDDR4X в зависимости от модификации. Orange Pi 5 — это открытая платформа, что позволяет создавать разнообразные вычислительные устройства и встраиваемые системы. Данная платформа состоит из двух частей - аппаратной и программной; каждая из двух частей крайне гибкая и простая в использовании. Для программирования используются популярные языки высокого уровня, такие как Python, C, C++ и Java. Разработку можно вести с использованием различных сред разработки, включая Thonny IDE, VS Code, PyCharm, а также доступен вариант программирования с помощью произвольного инструментария. Поддерживаемые операционные системы - Android 12, Ubuntu 22.04, Debian 11, Arch Linux и другие дистрибутивы Linux. Для программирования и связи с компьютером вам понадобится USB-C кабель или подключение по сети Ethernet. Присутствует и возможность автономной работы с помощью внешнего блока питания напряжением 5В через порт USB-C, а также расширенные возможности подключения накопителей через интерфейсы M.2 NVMe, microSD и eMMC.

Разрабатываемый робот-погрузчик предназначен для выполнения следующих операций:

- Автономное перемещение к зоне разгрузки грузового транспорта.
- Заезд в кузов автомобиля и захват паллеты массой до 300 кг.
- Транспортировка груза к месту хранения с точным позиционированием.
- Работа на ровном бетонном покрытии складского помещения.

Основные технические требования к роботу:

- Общая масса робота с грузом: до 260 кг (с учетом собственной массы платформы и полезной нагрузки).
- Максимальная линейная скорость движения: 1.0 м/с.
- Требуемое ускорение при разгоне: 0.5 м/с².
- Обеспечение плавности хода и точности остановки для безопасной работы с грузом.

Для реализации привода колесной базы выбрана схема с использованием бесщеточных двигателей постоянного тока (BLDC), интегрированных с планетарными редукторами. Такой выбор обусловлен высоким КПД, отсутствием изнашиваемых щеток и возможностью точного управления моментом и скоростью через систему обратной связи (энкодеры).

Выбор двигателя является критическим этапом проектирования, так как от него зависят габариты, масса и автономность робота. Расчет проводился для одного из двух ведущих колес робота. Для расчета приведены следующие параметры механической части в таблице 1.

Таблица 1 — Входные данные

Параметр	Обозначение	Значение
Масса груза + робота	m	260 кг
Линейная скорость	V	1.0 м/с
Радиус колеса	R _к	0.15 м
Ускорение груза линейное	—	0.5 м/с ²
Угловое ускорение колеса	a _н	3.33 рад/с ²
Передаточное число редуктора	i	30
КПД редуктора	η _р	0.90
КПД колеса подшипники и т.п.	η _к	0.95
Общий КПД	η	0.855
Коэффициент сопротивления качению	μ	0.015

В начале определим кинематические параметры. Угловая скорость вращения колеса определяется по формуле 1.

$$\omega_k = \frac{V}{R_k} = \frac{1}{0,15} \approx 6,67 \text{ рад/с} \approx 64 \text{ об/мин} \quad (1)$$

Для обеспечения оптимального режима работы бесщеточного двигателя выбрана номинальная скорость вращения вала двигателя $\omega_{дв} \approx 200$ рад/с (около 1910 об/мин). Требуемое передаточное число уточняется по формуле 2.

$$i = \frac{200}{6,67} \approx 30 \quad (2)$$

Что соответствует принятому значению. Ниже будет произведён расчет моментов нагрузки. Приведенный статический момент сопротивления на валу двигателя (M_{CT}) определяется силой сопротивления качению по формуле 3, 4:

$$F_{uo} = \mu \cdot m \cdot g = 0,015 \cdot 260 \cdot 9,81 = 38,26 \text{ Н} \quad) \quad (3)$$

$$M_{CT} = F_{uo} \left(\frac{\rho}{\eta} \right) = 1177,2 \cdot \left(\frac{38,26 \cdot 0,005}{0,855} \right) = \frac{0,1913}{0,855} = 0,224 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad) \quad (4)$$

Динамический момент ($M_{дин}$), необходимый для разгона системы, рассчитывается через приведенный момент инерции ($J_{пр}$). Момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя, составляет $J_n \approx 0.0066 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. С учетом момента инерции ротора двигателя (J_d), суммарный момент инерции $J_{\Sigma} = J_n + J_d$. Угловое ускорение вала двигателя вычисляется по формуле 5.

$$\varepsilon = \frac{a}{R_K} \cdot i = \frac{0,5}{0,15} \cdot 30 = 100 \text{ рад/с}^2 \quad) \quad (5)$$

Суммарный требуемый момент на валу двигателя при разгоне рассчитывается по формуле 6.

$$M_{TP} = M_{CT} + M_{дин} = 0,95 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad) \quad (6)$$

Выбор требуемой мощности двигателя определяется делается исходя из данных рассчитанных по формуле 7.

$$P_{TP} = M_{TP} \cdot \omega_{TP} = 0,95 \cdot 200 = 190 \text{ Вт} \quad) \quad (7)$$

С учетом необходимости запаса мощности (коэффициент запаса 1.5–2.0) для преодоления непредвиденных сопротивлений и работы в течение длительного времени без перегрева, был выбран бесщеточный двигатель Dunkermotoren серии BG 60x25.

Характеристики выбранного двигателя:

- Номинальная мощность: ~500 Вт (при напряжении 48 В).
- Номинальный момент: $M_{ном} \approx 2.4 \text{ Н} \cdot \text{м}$.
- Номинальная скорость: $\omega_{ном} \approx 209$

Проверка условий работы:

- По скорости: $\omega_{ном}(209) > \omega_{тр}(200)$ — условие выполняется.
- По моменту (разгон): $M_{ном}(2.4) > M_{тр}(0.95)$ — двигатель обеспечивает требуемый разгон с двукратным запасом.
- По статическому режиму: $M_{ном} \geq M_{CT}$ — движение с постоянной скоростью обеспечивается с минимальным потреблением тока.

Таким образом, выбранный двигатель полностью удовлетворяет требованиям технического задания для робота массой 260 кг.

Кинематическая схема и привод. Робот выполнен по схеме дифференциального привода (два ведущих колеса независимо управляемыми двигателями и два пассивных опорных колеса для устойчивости). Такая схема обеспечивает высокую маневренность, позволяя роботу разворачиваться на месте вокруг своей оси, что критически важно для работы в стесненных условиях склада и внутри фур.

В качестве исполнительных механизмов, как было обосновано выше, используются два бесщеточных двигателя постоянного тока Dunkermotoren серии BG 60x25 с интегрированными планетарными редукторами (передаточное число $i=30$). Двигатели закреплены непосредственно на раме рядом с ведущими колесами, что минимизирует потери мощности на передачу крутящего момента. Колеса оснащены полиуретановыми шинами высокого давления для обеспечения коэффициента сцепления с бетонным полом и снижения сопротивления качению ($\mu \approx 0.015$).

Программное обеспечение автономного робота-погрузчика построено по модульному принципу и функционирует под управлением операционной системы семейства Linux (Ubuntu 22.04 или Debian 11), установленной на одноплатный компьютер Orange Pi 5. Выбор данной ОС обусловлен поддержкой многозадачности, наличием широкого спектра драйверов для периферийных устройств и возможностью использования высокоуровневых языков программирования. Разработка программного комплекса ведется преимущественно на языке Python с использованием библиотек для работы с оборудованием (GPIO, OpenCV для обработки изображений) и сетевыми протоколами, критические участки кода, отвечающие за управление двигателями в реальном времени, реализованы на C++.

Архитектура системы управления разделена на три основных уровня: уровень исполнения (Low-level), уровень навигации (Mid-level) и уровень планирования (High-level). Уровень исполнения включает

драйверы для непосредственного управления аппаратными компонентами: драйверы двигателей (интерфейс CAN-bus/RS-485), считывание показаний энкодеров, опрос датчиков линии TCRT5000 и ультразвуковых дальномеров HC-SR04. Уровень навигации отвечает за локализацию робота в пространстве и построение траектории движения. Алгоритм движения реализует гибридный метод навигации: базовое следование по черной линии обеспечивается с помощью PID-регулятора, обрабатывающего данные с оптических датчиков, а коррекция глобальных координат производится при считывании QR-кодов камерой OV5647. Это позволяет компенсировать накопленную ошибку позиционирования и точно идентифицировать точки загрузки и выгрузки.

Уровень планирования взаимодействует с мини-сервером склада через модуль беспроводной связи ESP32-WROOM по протоколу Wi-Fi. Обмен данными осуществляется в формате JSON, что обеспечивает гибкость и читаемость передаваемых пакетов. Робот периодически отправляет запросы на сервер для получения актуальной карты занятости складских ячеек и заданий на перемещение. При получении задачи система формирует маршрут, определяя целевую точку на основе QR-разметки. В случае потери связи с сервером робот переходит в безопасный режим, завершая текущую операцию и останавливаясь в ближайшей разрешенной зоне до восстановления соединения.

Важным элементом архитектуры является подсистема безопасности и диагностики. Она работает в приоритетном потоке и непрерывно мониторит данные с ультразвуковых датчиков препятствий и кнопки аварийной остановки. При обнаружении препятствия на расстоянии менее 0.5 метра или нажатии кнопки E-Stop система немедленно инициирует аварийное торможение двигателей. Также реализован модуль мониторинга состояния источника питания: данные с BMS аккумуляторной батареи обрабатываются в реальном времени. При снижении заряда ниже критического уровня (например, 20%) робот автоматически прерывает выполнение задач и следует к зарядной станции.

В ходе выполнения работы была разработана комплексная система автономного робота-погрузчика для автоматической разгрузки транспорта и складирования паллет, аппаратная часть которой базируется на одноплатном компьютере Orange Pi 5 и бесщеточных двигателях Dunkermotoren серии BG 60x25. Проведенные расчеты электропривода подтвердили корректность выбранных компонентов, обеспечивающих транспортировку груза массой до 260 кг с требуемым ускорением и двукратным запасом момента, а разработанная трехуровневая программная архитектура на базе ОС Linux реализует гибридную навигацию по линии и QR-кодам для точного позиционирования. Внедрение предложенного решения позволяет минимизировать человеческий фактор, обеспечить непрерывный цикл работы склада в условиях недостаточной освещенности и повысить общую производительность логистического узла за счет автоматического распределения задач через серверную инфраструктуру.

Список литературы

1. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г. Средства автоматизации и управления // СПбГУПТД. 2018.
2. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Энтин В.Я. Вычислительные машины, системы и сети // СПбГУПТД. 2017.
3. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Платонова Т.Л. Распределенные компьютерные информационно-управляющие системы // СПбГУПТД. 2019.
4. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Логинов В.В. Сопряжение однокристалльных микроконтроллеров с датчиками и исполнительными механизмами // СПбГУПТД. 2013.

References

1. Ivanov V.Y., Maezhov E.G. Sredstva avtomatizacii i upravlenija // SPbGUPTD. 2018.
2. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Jentin V.Y. Vychislitel'nye mashiny, sistemy i seti // SPbGUPTD. 2017.
3. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Platonova T.L. Raspredelennye komp'juternye informacionno-upravljajushhie sistemy // SPbGUPTD. 2019.
4. Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Loginov V.V. Sopryazhenie odnokristal'nyh mikrokontrollerov s datchikami i ispolnitel'nymi mehanizmami // SPbGUPTD. 2013.

УДК 677.051.125.3

И.С. Луцкан, Т.Л. ЕгороваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая морская, 18**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЛАДИЛЬНОГО ПРЕССА
ДЛЯ ВЛАЖНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Аннотация. В статье рассмотрены измерительные компоненты системы автоматизации гладильного пресса, предназначенного для влажно-тепловой обработки (ВТО) швейных изделий. Обоснована ключевая роль измерений температуры, давления и временных интервалов для обеспечения качества технологического процесса. Приведены характеристики выбранных средств измерений: термопреобразователи ИТ-1Ц с унифицированным токовым выходом, регуляторы Минитерм-300, реле времени Веха-Ш, преобразователь давления ПД-1. Описаны принципы их интеграции в функциональную схему автоматизации. Показано, что применение современных измерительных устройств с цифровой индикацией и стандартными аналоговыми сигналами позволяет обеспечить точность, воспроизводимость и оперативный контроль параметров ВТО.

Ключевые слова: влажно-тепловая обработка, гладильный пресс, измерения температуры, датчик давления, реле времени, унифицированный сигнал, автоматизация.

I.S. Lutskan, T.L. EgorovaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**MEASURING INSTRUMENTS IN THE AUTOMATION SYSTEM OF THE IRONING PRESS FOR
WET-HEAT TREATMENT OF GARMENTS**

Annotation. This article examines the measuring components of an automation system for an ironing press used for wet-heat treatment (WHT) of garments. The key role of temperature, pressure, and time-interval measurements in ensuring process quality is substantiated. The characteristics of the selected measuring instruments are presented: IT-1Ts temperature transducers with a standardized current output, Miniterm-300 controllers, Vekha-Shch time relays, and PD-1 pressure transducers. The principles of their integration into the automation functional diagram are described. It is demonstrated that the use of modern measuring devices with digital display and standard analog signals ensures accuracy, reproducibility, and operational control of WHT parameters.

Keywords: wet-heat treatment, ironing press, temperature measurements, pressure sensor, time relay, standardized signal, automation.

Влажно-тепловая обработка швейных изделий требует точного соблюдения технологических режимов, среди которых определяющими являются температура нагрева рабочих поверхностей, давление пара, продолжительность этапов прессования, пропаривания и отсоса. Отклонения этих параметров приводят к появлению брака (ласы, опалы, недостаточная формоустойчивость) и снижению производительности. Современные гладильные прессы оснащаются системами автоматизации, в которых измерительные устройства выполняют функцию первичного преобразования физических величин в сигналы, пригодные для обработки, индикации и регулирования.

В данной работе представлен анализ измерительных средств, применяемых в разработанной системе автоматизации гладильного пресса, их технических характеристик, а также принципов включения в контур управления.

Температура верхней и нижней подушек пресса является наиболее критичным параметром ВТО. Для её контроля выбраны термопреобразователи ИТ-1Ц (рис. 1), представляющие собой комплект из первичного преобразователя (платиновый термометр сопротивления или терморпара) и измерительного преобразователя ИПТ с цифровой индикацией. Основные характеристики:

- диапазон измерений от -50 до +500 °С;
- выходной унифицированный токовый сигнал 4–20 мА;
- потребляемая мощность не более 0,7 Вт;
- допустимое давление рабочей среды на термозонд до 6,3 МПа.



Рис.1. Датчики температуры ИТ-1Ц

Использование унифицированного токового сигнала позволяет передавать информацию на расстояние без потерь точности, а также обеспечивает простоту сопряжения с регуляторами и контроллерами. Датчики устанавливаются непосредственно в зонах нагрева подушек, сигналы от них поступают на показывающие приборы (НПТ), смонтированные на прессе, и на регулятор Минитерм-300.

Регулятор Минитерм-300 (рис.2) выполняет функции сбора, обработки и регулирования температуры. Он имеет пять аналоговых входов, два дискретных входа, поддерживает ПИД-, ПИ-, ПД-, П-законы регулирования, а также двухпозиционное регулирование. Важной функцией является автоматическая настройка на оптимальную динамику процесса, что снижает влияние изменений внешних условий. Цифровая индикация параметров в натуральных физических единицах упрощает контроль оператором.

Для управления мощностью нагревательных элементов (ТЭН) используются тиристорные усилители У13Н, которые преобразуют аналоговый сигнал регулятора в фазоимпульсную модуляцию, обеспечивая гальваническую развязку и линейную зависимость выходной мощности от входного сигнала. Такое решение повышает точность поддержания температуры и ресурс работы нагревателей.



Рис.2. Регулятор температуры и давления Минитерм-300

Давление пара влияет на интенсивность увлажнения и равномерность нагрева нижней подушки. Для его контроля выбран преобразователь давления ПД-1 (рис.3), предназначенный для работы с неагрессивными и агрессивными газами, парами и жидкостями. Его характеристики:

- диапазон измерений от -60 до 4000 кПа (выбран поддиапазон, соответствующий рабочему давлению пара $0,4$ МПа);
- выходной сигнал $4-20$ мА;
- температура рабочей среды от -25 до $+85$ °С;
- погрешность — в пределах класса точности $0,5/1,0$.

Преобразователь устанавливается на паропроводе, его выходной сигнал поступает на регулятор Минитерм-300 (используется второй канал), который формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм МЭО-40-Е-07. Исполнительный механизм перемещает регулирующий клапан, поддерживая заданное давление пара. Такая схема позволяет стабилизировать давление с высокой точностью, компенсируя колебания в магистрали.



Рис.3. Преобразователь давления с унифицированным выходным сигналом ПД-1

Технологический цикл пресса включает последовательные этапы прессования, пропаривания и отсоса, продолжительность каждого из которых задаётся в диапазоне 0–40 с. Для их измерения и задания использованы реле времени Веха-Щ (рис.4). Прибор позволяет устанавливать выдержки от 0,001 с до 9999 ч (в режиме таймера) или 0,01–99,99 ч (в режиме часов), имеет прямой и обратный отсчёт, однократный или циклический режимы работы. Четырёхразрядный светодиодный дисплей обеспечивает наглядность, а дискретные входы позволяют синхронизировать работу реле с другими узлами автоматики.

Реле времени управляют электромагнитными клапанами подачи пара и вентилятором отсоса, формируя временные диаграммы цикла. Благодаря высокой точности и широкому диапазону обеспечивается гибкая настройка режимов обработки для различных видов тканей.



Рис.4. Реле времени Веха-Щ

На функциональной схеме (рис.5) показана взаимосвязь измерительных компонентов: датчики температуры 1-1, 1-2 передают сигналы на регулятор 1-5, который через тиристорные усилители 1-6, 1-7 воздействует на ТЭНы 1-8, 1-9. Датчик давления 3-1 подаёт сигнал на регулятор 3-2, управляющий исполнительным механизмом 3-4. Реле времени 2-1, 2-2, 2-3 задают длительность этапов. Все измерительные приборы имеют цифровую индикацию и унифицированные выходные сигналы, что облегчает диагностику и настройку.

Применение стандартных аналоговых интерфейсов (4–20 мА) позволяет унифицировать оборудование, упростить замену и обеспечить помехозащищённость передачи данных. Совокупность выбранных средств обеспечивает измерение и регулирование параметров с точностью, достаточной для выполнения требований технологии ВТО.

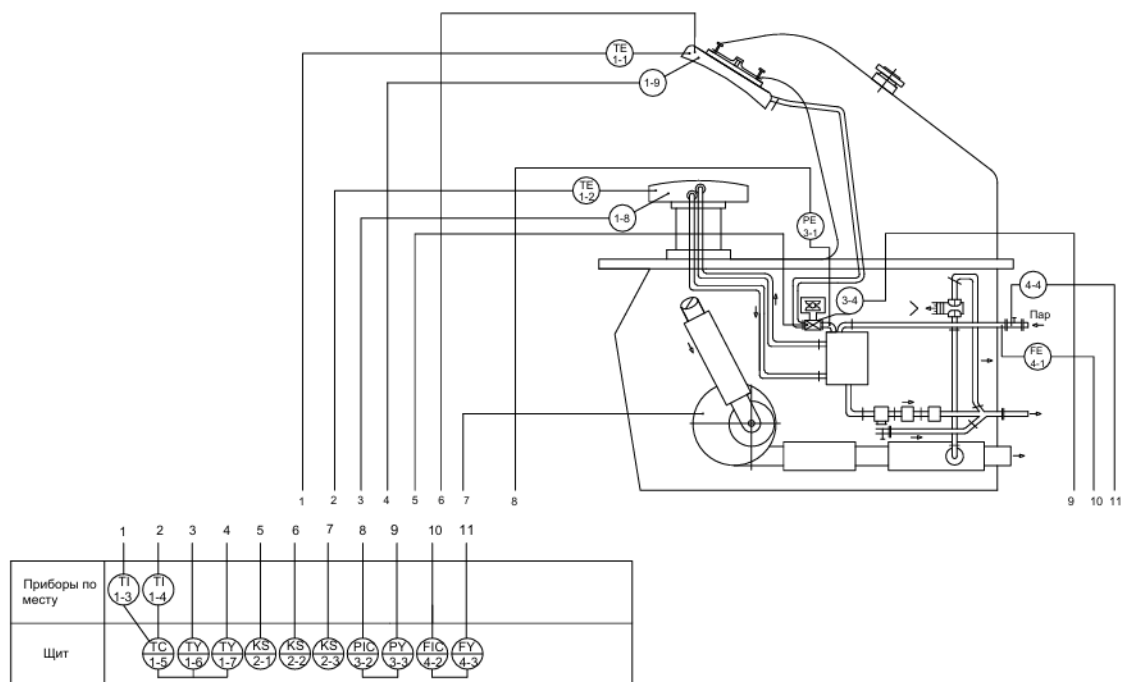


Рис 5. Функциональная схема гладильного пресса

В разработанной системе автоматизации гладильного пресса измерительные средства выполняют ключевую роль, обеспечивая контроль температуры, давления и времени с высокой точностью и воспроизводимостью. Использование термопреобразователей ИТ-1Ц с токовым выходом, регуляторов Минитерм-300 с функцией автоподстройки, реле времени Веха-Щ и преобразователя давления ПД-1 позволяет создать гибкую, надёжную и удобную в эксплуатации систему. Цифровая индикация параметров и унифицированные сигналы способствуют оперативному контролю и интеграции в автоматизированные рабочие места оператора. Предложенные измерительные решения могут быть рекомендованы для модернизации действующего оборудования и проектирования новых образцов прессов для влажно-тепловой обработки швейных изделий.

Научный руководитель: к.т.н. проф. Сигачева В.В.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences prof. Sigacheva V.V.

Список литературы

1. Меликов Е.Х., Иванов С.С., Делль Р.А. и др. Технология швейных изделий. — М.: КолосС, 2013.
2. Вальщиков Н.М., Шарапин А.И., Идиатулин И.А. Оборудование швейного производства. — М.: Легкая индустрия, 1977.
3. Франц В.Я. Оборудование швейного производства. — М.: Академия, 2002.

References

1. Melikov E.Kh., Ivanov S.S., Dell R.A., et al. Technology of Sewing Products. — М.: KolosS, 2013.
2. Valschikov N.M., Sharapin A.I., Idiatulin I.A. Equipment for Sewing Production. — М.: Light Industry, 1977.
3. Franz V.Ya. Equipment for Sewing Production. — М.: Academy, 2002.

УДК 677.051.125.3

И.С. ЛуцканСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая морская, 18**РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ВТО ОДЕЖДЫ НА ГЛАДИЛЬНОМ ПРЕССЕ**

© И.С. Луцкан, 2026

Влажно-тепловая обработка является одним из ключевых этапов в производстве швейных изделий, определяющим их товарный вид, формоустойчивость и эксплуатационные характеристики. Доля операций ВТО в общей трудоёмкости изготовления одежды превышает 25%, что подчёркивает значимость совершенствования соответствующего оборудования. Качество обработки напрямую зависит от стабильности таких параметров, как температура нагрева подушек, давление прессования, продолжительность воздействия и степень увлажнения материала. Современные требования к точности и воспроизводимости режимов ВТО обуславливают необходимость внедрения автоматизированных систем управления, обеспечивающих поддержание заданных параметров в условиях технологических возмущений. В настоящей работе решается задача разработки системы автоматизации гладильного пресса с выбором средств контроля и регулирования, а также выполнением динамического расчёта системы регулирования температуры.

Ключевые слова: влажно-тепловая обработка, гладильный пресс, измерения температуры, нечеткий регулятор, система управления, автоматизация.

I.S. LutskanSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, The Big Sea, 18**DEVELOPMENT OF A FUZZY CLOTHES TEMPERATURE CONTROLLER ON AN IRONING PRESS**

Wet-heat treatment is one of the key stages in the manufacture of garments, determining their presentation, shape stability and performance characteristics. The share of WTO operations in the total labor intensity of clothing production exceeds 25%, which underlines the importance of improving the relevant equipment. The quality of processing directly depends on the stability of parameters such as the heating temperature of the cushions, the pressing pressure, the duration of exposure and the degree of moisture content of the material. Modern requirements for the accuracy and reproducibility of WTO modes necessitate the introduction of automated control systems that ensure the maintenance of specified parameters in conditions of technological disturbances. In this paper, we solve the problem of developing an automation system for an ironing press with a choice of control and regulation tools, as well as performing dynamic calculations of the temperature control system.

Keywords: wet heat treatment, ironing press, temperature measurement, fuzzy controller, control system, automation.

Объектом исследования является электромеханический гладильный пресс-автомат типа CS-311, предназначенный для выполнения операций глажения, прессования и отпаривания. Технические характеристики пресса: усилие прессования до 20 000 Н, производительность до 50 циклов/ч, температура нагрева верхней подушки 80–250 °С, нижней подушки 105–110 °С. Нагрев верхней подушки осуществляется электронагревателями (ТЭН), нижней — паром. Увлажнение производится паром, подаваемым в верхнюю подушку.

Для автоматизации процесса разработана функциональная схема, включающая датчики температуры ИТ-1Ц, регуляторы Минитерм-300, тиристорные усилители У13Н, реле времени Веха-Щ, преобразователь давления ПД-1 и исполнительный механизм МЭО-40-Е-07. Выбор данных средств обоснован их метрологическими характеристиками, совместимостью и надёжностью в условиях промышленной эксплуатации.

Особое внимание уделено системе автоматического регулирования (САР) температуры плиты пресса, так как стабильность температурного режима критична для обеспечения требуемого качества ВТО. Выведено уравнение динамики объекта регулирования на основе теплового баланса, учитывающее массу и

теплоёмкость плиты и защитного слоя, коэффициент теплоотдачи и площадь поверхности. Получена передаточная функция объекта вида:

$$W_1(p) = \frac{k_0}{T_0 p + 1},$$

где T_0 — постоянная времени, k_0 — коэффициент передачи.

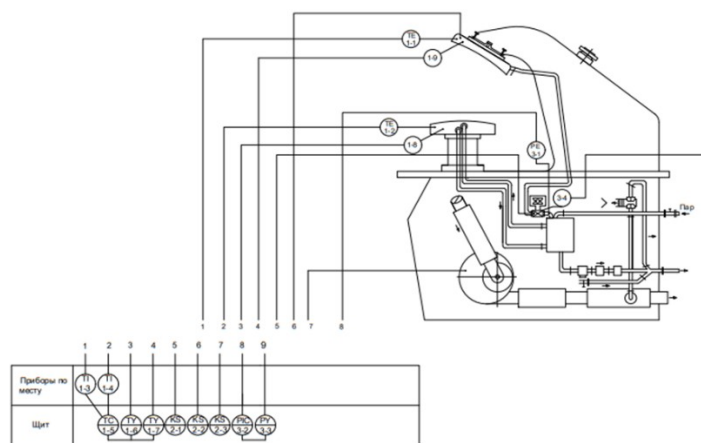


Рис.1. Функциональная схема гладильного пресса

Рассмотрим функциональную схему гладильного пресса (рис.1). Температура верхней и нижней подушек измеряется датчиками 1-1, 1-2, информация от которых поступает на показывающие приборы НПТ 1-3, 1-4, контролирующие температуру, установленные непосредственно на прессе. Функцию сбора, обработки информации, поступающей от датчика, а также регулирование величины температуры подушек выполняет регулятор 1-5. Далее через тиристорные усилители 1-6, 1-7 сигнал передается на электронагревательные элементы 1-8, 1-9, установленные в верхней и нижней подушках пресса.

Продолжительность этапов прессования, пропаривания, отсоса влаги устанавливается в автоматизированной системе пресса с помощью реле времени 2-2, 2-1, 2-3 соответственно.

Величина давления пара контролируется датчиком давления 3-1, установленным на паропроводе. Сбор и обработка информации, а также регулирование давления осуществляется регулятором 3-2, управляющий сигнал от которого через тиристорный усилитель 3-3 поступает на исполнительный механизм 3-4, перемещающий клапан, установленный на паропроводе.

Объект управления представляет собой тепловую систему с распределенными параметрами, которую можно приближенно описать уравнением теплового баланса. Температура плиты пресса зависит от подводимой мощности, теплоотдачи и температуры окружающей среды. В дипломной работе получена передаточная функция объекта и построена система автоматического регулирования температуры.

Динамика объекта характеризуется наличием инерции и запаздывания. Это приводит к возникновению переходных процессов, требующих оптимальной настройки регулятора. В рамках классического подхода используется метод эффективных полюсов и нулей, позволяющий определить рабочую область параметров системы.

Классические регуляторы имеют ряд недостатков:

1. Невозможность учета нелинейности процесса.
2. Сложность настройки при изменении условий эксплуатации.
3. Ограниченная адаптивность.
4. Повышенное перерегулирование.

В условиях швейного производства, где обрабатываются различные типы тканей, эти недостатки становятся критическими. Именно поэтому было принято решение сделать модель управления на базе нечеткого регулирования.

Нечеткая логика основана на представлении знаний в виде правил вида «ЕСЛИ–ТО». В отличие от классических методов, нечеткий регулятор использует лингвистические переменные.

Входные переменные: ошибка температуры $e(t)$ и скорость изменения ошибки de/dt . Выходной переменной будет являться управляющее воздействие (мощность нагрева). Для каждой переменной задаются функции принадлежности: NB (Negative Big), NS (Negative Small), Z (Zero), PS (Positive Small), PB (Positive Big).

База правил формируется на основе экспертных знаний:
 если ошибка большая положительная и скорость положительная то увеличить мощность сильно;
 если ошибка близка к нулю то поддерживать текущий уровень;
 если ошибка отрицательная то уменьшить мощность.

```

%% Нечеткий регулятор температуры гладильного пресса
clear; clc;

fis = mamfis('Name','PressFuzzyController');

%% Вход 1: ошибка температуры
fis = addInput(fis,[-30 30],'Name','error');
fis = addMF(fis,'error','trimf,[-30 -30 -15],'Name','NB');
fis = addMF(fis,'error','trimf,[-20 -10 0],'Name','NS');
fis = addMF(fis,'error','trimf,[-5 0 5],'Name','Z');
fis = addMF(fis,'error','trimf,[0 10 20],'Name','PS');
fis = addMF(fis,'error','trimf,[15 30 30],'Name','PB');

%% Вход 2: скорость изменения ошибки
fis = addInput(fis,[-10 10],'Name','derror');
fis = addMF(fis,'derror','trimf,[-10 -10 -5],'Name','NB');
fis = addMF(fis,'derror','trimf,[-7 -3 0],'Name','NS');
fis = addMF(fis,'derror','trimf,[-1 0 1],'Name','Z');
fis = addMF(fis,'derror','trimf,[0 3 7],'Name','PS');
fis = addMF(fis,'derror','trimf,[5 10 10],'Name','PB');

%% Выход: мощность нагревателя
fis = addOutput(fis,[0 100],'Name','power');
fis = addMF(fis,'power','trimf,[0 0 25],'Name','Low');
fis = addMF(fis,'power','trimf,[15 35 55],'Name','Medium');
fis = addMF(fis,'power','trimf,[45 70 90],'Name','High');
fis = addMF(fis,'power','trimf,[80 100 100],'Name','Max');

%% База правил
rules = [
    "If error is PB and derror is PB then power is Max"
    "If error is PB and derror is PS then power is Max"
    "If error is PB and derror is Z then power is High"
    "If err
  
```

Рис.2. Введение нечеткого регулятора в код программы в Matlab

На рисунке 2 можно пронаблюдать как внедряется нечеткое регулирование в код программы в Matlab. Вместо жесткого линейного закона введены лингвистические состояния:

NB — большое отрицательное отклонение,

NS — малое отрицательное,

Z — ноль,

PS — малое положительное,

PB — большое положительное.

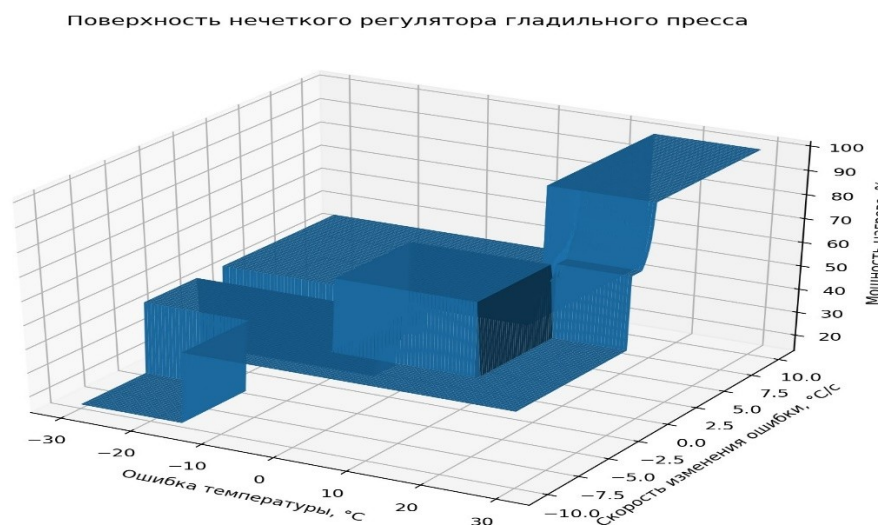


Рис.3. Поверхность нечеткого регулятора

графике:

по оси X — ошибка температуры,

по оси Y — скорость изменения ошибки,

по оси Z — управляющее воздействие, то есть мощность нагрева.

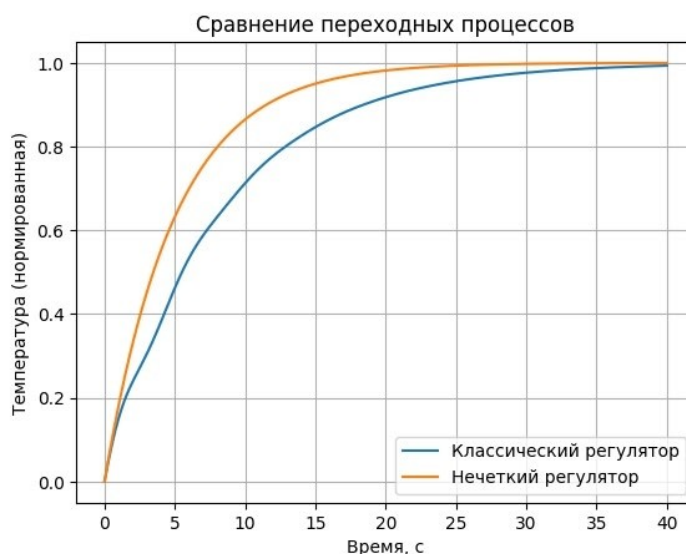


Рис.4. Переходный процесс

На рисунке 4 мы можем сравнить переходный процесс классического регулятора и нечеткого. По переходному процессу можно выделить достоинства нечеткого регулятора:

Снижение перерегулирования. В исходной модели тепловой объект имеет инерцию, а значит при резком управляющем сигнале температура может перейти через заданное значение. Введение нечеткого регулятора позволяет уменьшить мощность еще до достижения уставки, потому что учитывается скорость изменения ошибки. Исходная система была бы ориентирована на апериодический процесс и рабочую точку с временем переходного процесса около 17 с. Тут мы добились 12 с. Улучшение: система выходит на режим мягче и с меньшим риском перегрева.

Более плавный нагрев. Для гладильного пресса это важно, потому что резкие изменения температуры ухудшают качество ВТО и могут приводить к дефектам ткани. В самой работе подчеркивается, что качество ВТО зависит от соблюдения температуры, давления, влажности и времени обработки. Улучшение: нечеткий регулятор делает подвод тепла более плавным.

Лучшая адаптация к разным тканям. В справочной литературе отмечено, что режимы ВТО должны подбираться под конкретные материалы, а неправильный режим приводит к браку. Улучшение: нечеткую систему проще подстроить под разные ткани — достаточно менять диапазоны входов, функции принадлежности или базу правил.

Устойчивость при возмущениях. В модели объекта учитывается влияние температуры окружающей среды как возмущения.

Улучшение: нечеткий регулятор обычно лучше переносит такие изменения, потому что его решение не завязано только на один фиксированный коэффициент.

Научный руководитель: д.т.н. проф. Сигачева В.В.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences prof. Sigacheva V.V.

Список литературы

1. Меликов Е.Х., Иванов С.С., Дель Р.А. и др. Технология швейных изделий. — М.: КолосС, 2013.
2. Вальщиков Н.М., Шарапин А.И., Идиатулин И.А. Оборудование швейного производства. — М.: Легкая индустрия, 1977.
3. Франц В.Я. Оборудование швейного производства. — М.: Академия, 2002.

УДК - 62-523.8

Е.М. Любичкая, В.Ю. ИвановСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА БАЗЕ ИК-ПРИЕМНИКА**

@ Е.М. Любичкая, В.Ю. Иванов, 2026

В данной статье рассматривается проектирование системы дистанционного управления мобильным роботом с использованием инфракрасного канала связи. Приведено обоснование выбора ИК-канала по сравнению с радиочастотным, описаны принцип работы фотоприемника и модуля ИК-приемника, структура управляющего протокола NEC. Система построена на базе микроконтроллера Arduino Nano и модуля ИК-приемника KY-022, управление исполнительными механизмами организовано через драйвер двигателей L298N. В работе представлены структурная схема устройства и алгоритм функционирования.

Ключевые слова: мобильный робот, ИК-управление, KY-022, протокол NEC, Arduino, драйвер двигателей L298N.

E.M. Lyubitskaya, V.Y. IvanovSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DEVELOPMENT OF A MOBILE ROBOT REMOTE CONTROL SYSTEM BASED ON AN IR RECEIVER**

This article discusses the design of a remote control system for a mobile robot using an infrared communication channel. The rationale for choosing the IR channel over the radio frequency channel is presented, along with the operating principles of the photodetector and the KY-022 IR receiver module, as well as the structure of the NEC control protocol. The system is built on the basis of an Arduino Nano microcontroller and a KY-022 module, with actuator control organized via an L298N motor driver. The paper presents a block diagram of the device and the operating algorithm.

Keywords: Mobile robot, IR control, KY-022, NEC protocol, Arduino, L298N motor driver.

В данной статье рассматривается проектирование системы дистанционного управления мобильным роботом с использованием инфракрасного канала связи. Управление реализовано на базе микроконтроллера Arduino Nano и модуля ИК-приемника KY-022. В работе приведено обоснование выбора ИК-канала по сравнению с радиочастотным, описаны принцип работы фотоприемника, структура протокола NEC и алгоритм функционирования устройства.

Принцип функционирования системы дистанционного управления базируется на передаче команд от инфракрасного пульта к приемному модулю KY-022, установленному на борту мобильного робота. Микроконтроллер Arduino Nano принимает декодированный сигнал, идентифицирует нажатую кнопку и формирует соответствующие управляющие воздействия на драйвер двигателей L298N. В зависимости от полученной команды изменяется направление и скорость вращения двух тяговых электродвигателей, реализующих дифференциальный привод. Такой подход позволяет обеспечить движение робота вперед, назад, повороты на месте и плавные развороты во время движения. При отсутствии команд в течение заданного интервала времени система автоматически останавливает робота, что исключает неконтролируемое движение при потере сигнала. Высокая повторяемость передаваемых команд обеспечивается за счет использования стандартизированного протокола NEC, устойчивого к помехам и внешней засветке.

Составные части устройства: плата Arduino Nano, модуль ИК-приемника KY-022, инфракрасный пульт дистанционного управления (совместимый с протоколом NEC), драйвер двигателей L298N, два коллекторных двигателя постоянного тока с редукторами (напряжение питания 6–12 В), аккумуляторная батарея 7,4 В (2S Li-ion) для силовой части, стабилизатор напряжения 5 В для питания микроконтроллера и приемника, а также матрица светодиодов (8×8), выполняющая функцию «глаз» робота для визуальной индикации текущего состояния.

Плата Arduino Nano построена на микроконтроллере ATmega328 с тактовой частотой 16 МГц. Она обладает 32 КБ флэш-памяти и 2 КБ оперативной памяти, имеет 14 цифровых выводов, из которых 6 могут использоваться для широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Arduino представляет собой открытую платформу, что позволяет собирать разнообразные электронные устройства. Платформа состоит из аппаратной и программной частей, каждая из которых гибка и проста в использовании. Для программирования применяется упрощенная версия C++ (Wiring) в среде Arduino IDE. Поддерживаемые операционные системы — Windows, macOS и Linux. Плата может работать как при подключении к компьютеру через USB-кабель, так и автономно от внешнего источника питания. Распиновка (pinout) микроконтроллерной платы Arduino Nano показаны на рисунке 1.

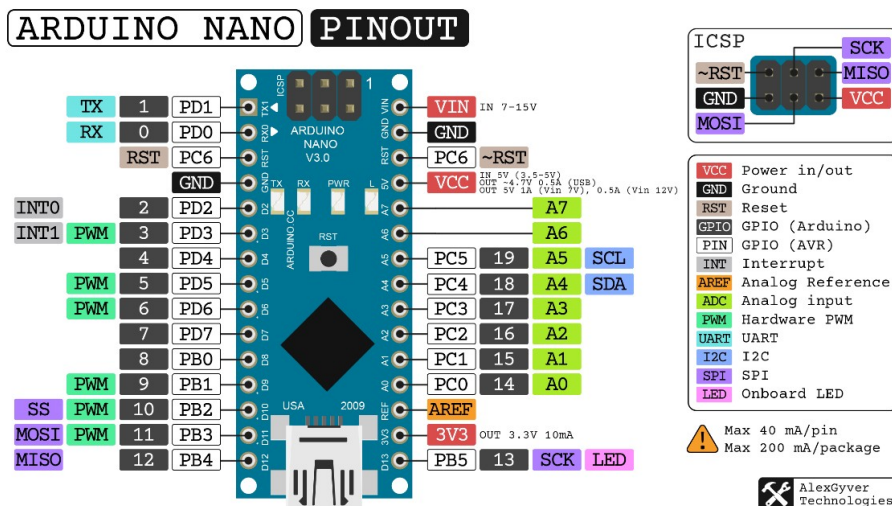


Рисунок 1 — Распиновка (pinout) микроконтроллерной платы Arduino Nano.

Модуль ИК-приемника KY-022 представляет собой готовую плату расширения, предназначенную для приема модулированного инфракрасного излучения. В основе модуля лежит интегральная микросхема TSOP38238 (или ее аналог), специализированная для работы с несущей частотой 38 кГц. На плате KY-022 установлены сам фотоприемник, подтягивающий резистор и фильтрующий конденсатор по цепи питания, что обеспечивает стабильную работу при подключении к микроконтроллеру. Модуль имеет три вывода: «VCC» (питание 5 В), «GND» (общий провод) и «OUT» (выходной сигнал). Внутренняя структура приемника включает фотодиод с полосовым фильтром, предварительный усилитель, систему автоматической регулировки усиления (AGC) и демодулятор. Принцип работы заключается в следующем: передатчик модулирует управляющий сигнал несущей частотой 38 кГц, модуль KY-022 принимает ИК-излучение, усиливает его, выделяет огибающую и формирует на выходе TTL-сигнал, соответствующий исходной посылке. Наличие AGC позволяет компенсировать изменение расстояния до источника и влияние фоновой засветки. Выходной сигнал инвертирован: в отсутствие сигнала на выходе присутствует логическая «1», при приеме модулированного излучения уровень опускается до логического «0». Внешний вид и расположение выводов модуля KY-022 представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 — Модуль ИК-приемника KY-022

Для передачи команд используется протокол NEC, получивший широкое распространение в бытовой технике. Структура посылки протокола NEC показана на рисунке 3. Передача начинается со стартового импульса длительностью 9 мс (несущая частота 38 кГц) и паузы 4,5 мс. Далее следуют 16-битный адрес устройства и 16-битная команда. Команда состоит из 8 бит данных и 8 бит инвертированных данных, что обеспечивает контроль целостности. Логический «0» передается как импульс несущей длительностью 562,5 мкс и пауза 562,5 мкс. Логическая «1» — импульс 562,5 мкс и пауза 1,6875 мс. При удержании кнопки пульт генерирует повторные посылки, состоящие из стартового импульса 9 мс и паузы 2,25 мс. Использование инвертированной копии команды позволяет обнаруживать ошибки передачи, что существенно повышает помехоустойчивость системы.

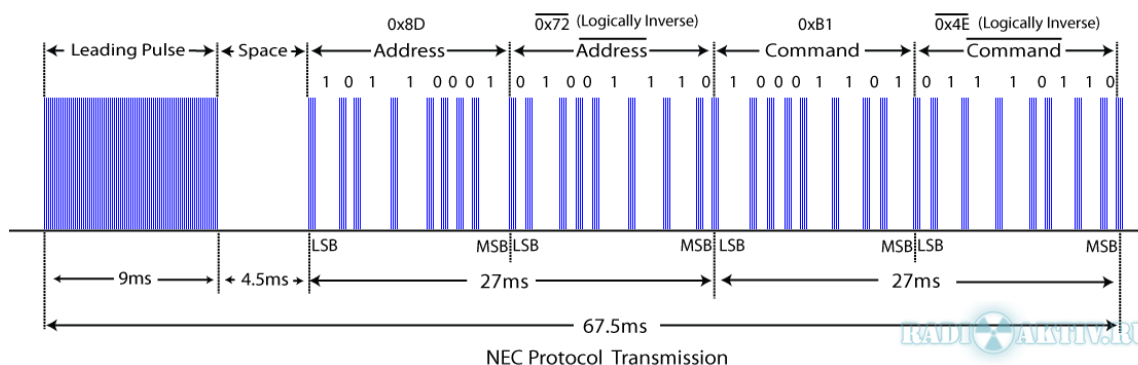


Рисунок 3 — Формат передачи данных протокола NEC

Драйвер двигателей L298N предназначен для согласования управляющих сигналов микроконтроллера с силовыми цепями электродвигателей. Микросхема L298 представляет собой двухканальный H-мост, способный управлять двумя двигателями постоянного тока с напряжением до 12 В и током до 2 А на канал. Драйвер обеспечивает независимое управление направлением вращения каждого двигателя через сигналы IN1–IN4, а также регулировку скорости с помощью широтно-импульсной модуляции на выходах Enable A и Enable B. Наличие защитных диодов, включенных параллельно ключам H-моста, предотвращает повреждение полупроводниковых элементов от обратных выбросов напряжения, возникающих на обмотках двигателей в моменты коммутации.

Управление двигателями с использованием ШИМ реализуется следующим образом. Мостовая схема обеспечивает включение и выключение двигателя постоянного тока и управляет направлением его вращения. К этим функциям добавляется управление частотой вращения с помощью ШИМ. Высокий уровень сигнала ШИМ соответствует включению двигателя, низкий — выключению. Поскольку частота импульсов ШИМ достаточно велика (в работе используется частота 490 Гц на выводах Arduino), напряжение на двигателе определяется как среднее значение между длительностью импульса и периодом следования (скважность). Чем больше длительность импульса, тем выше среднее напряжение. Среднее напряжение лежит в пределах от нуля до напряжения питания, что позволяет эффективно управлять скоростью вращения двигателя. Форма ШИМ-сигнала представлена на рисунке 4.

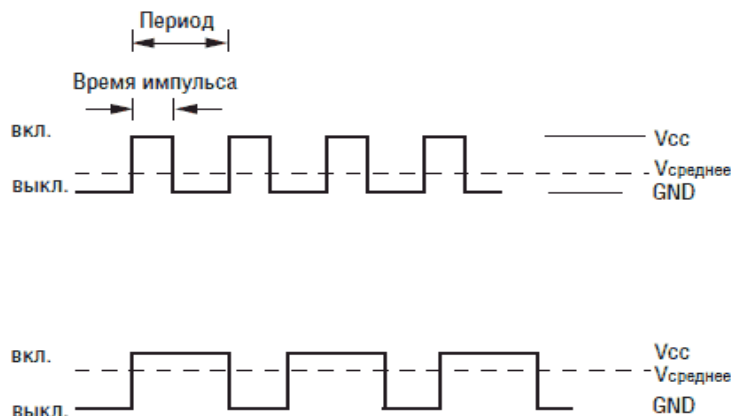


Рисунок 4 — Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для управления скоростью двигателя

Двигатели являются индуктивной нагрузкой. В моменты включения и выключения переходное напряжение, генерируемое обмотками, может повредить полупроводниковые ключи H-моста. Для гашения этого напряжения используются защитные диоды, включенные параллельно транзисторам. Защитный диод гасит обратное переходное напряжение на землю, эффективно защищая переход транзистора, к которому подключен диод. Защитные диоды должны быть рассчитаны на нормальный ток, потребляемый двигателем. В драйвере L298N такие диоды уже встроены в схему.

Итоговая структурная схема полученной системы представлена на рисунке 5. На данной схеме показана система управления мобильным роботом, где центральным узлом является микроконтроллер Arduino Nano, координирующий работу драйвера двигателей L298N. Модуль ИК-приемника KY-022 подключен к одному из цифровых входов микроконтроллера. Вся электроника получает питание от двух источников: стабилизированное напряжение 5 В для микроконтроллера и приемника формируется от бортового стабилизатора, а силовая часть (двигатели) запитывается непосредственно от аккумуляторной батареи 7,4 В через драйвер L298N. Общая линия заземления объединяет оба источника питания для обеспечения корректной передачи сигналов управления. Сигнальные линии от микроконтроллера к драйверу передают команды направления и ШИМ-сигналы регулировки скорости.



Рисунок 5 — Структурная схема системы управления мобильным роботом

Алгоритм работы системы реализован в виде циклического опроса приемника с использованием библиотеки IRremote, которая выполняет декодирование протокола NEC. При получении валидной команды происходит ее идентификация и последующее формирование управляющих сигналов на драйвер двигателей. Для каждой команды (вперед, назад, поворот налево, поворот направо, остановка) заданы соответствующие состояния выводов IN1–IN4 и значения ШИМ для каналов Enable. Повороты реализуются за счет вращения колес в противоположных направлениях или с разной скоростью. При отсутствии команд в течение 0,5 секунды система автоматически останавливает двигатели, что повышает безопасность эксплуатации.

В ходе экспериментальной проверки установлено, что система устойчиво принимает команды на расстоянии до 7 метров в условиях типового лабораторного освещения. Угол приема в горизонтальной плоскости составляет примерно $\pm 45^\circ$ от нормали к плоскости приемника. Использование протокола NEC с контролем инвертированных битов позволило снизить количество ложных срабатываний до уровня менее 0,5% от общего числа передач.

Список литературы

1. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г. Средства автоматизации и управления // СПбГУПТД. 2018.
2. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Энтин В.Я. Вычислительные машины, системы и сети // СПбГУПТД. 2017.
3. Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Платонова Т.Л. Распределенные компьютерные информационно-управляющие системы // СПбГУПТД. 2019.

4. *Иванов В.Ю., Маежов Е.Г., Логинов В.В.* Сопряжение однокристалльных микроконтроллеров с датчиками и исполнительными механизмами // СПбГУПТД. 2013.

References

1. *Ivanov V.Y., Maezhov E.G.* Sredstva avtomatizacii i upravlenija // SPbGUPTD. 2018.
2. *Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Jentin V.Y.* Vychislitel'nye mashiny, sistemy i seti // SPbGUPTD. 2017.
3. *Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Platonova T.L.* Raspredelemnnye komp'juternye informacionno-upravljajushhie sistemy // SPbGUPTD. 2019.
4. *Ivanov V.Y., Maezhov E.G., Loginov V.V.* Sopryazhenie odnokristal'nyh mikrokontrollerov s datchikami i ispolnitel'nymi mehanizmami // SPbGUPTD. 2013.

УДК 628.1:62-52

А.Э. Мужипова, Т.Л. Егорова

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

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к исследованию циркуляционной системы горячего водоснабжения как объекта управления. Рассматриваются гидравлические и тепловые режимы функционирования системы, анализируются особенности автоматического регулирования в условиях переменного водоразбора. Основное внимание уделено методологическим подходам, изложенным в работе Н.В. Сурикова, Д.А. Ковалева, А.В. Таянчина, А.П. Мирного «Исследование циркуляционной системы горячего водоснабжения как объекта управления», а также современным тенденциям в области автоматизации и энергосбережения, отраженным в источниках 2021–2025 гг. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к управлению системой ГВС, сочетающего гидравлический расчет, тепловую компенсацию и внедрение интеллектуальных алгоритмов управления. Дополнительно рассмотрены экономические аспекты автоматизации, проблемы эксплуатации типового жилого фонда и перспективы использования цифровых двойников.

Ключевые слова: циркуляционная система горячего водоснабжения, объект управления, гидравлический режим, автоматизация, энергоэффективность, индивидуальный тепловой пункт, циркуляционный насос, теплопотери, цифровой двойник, частотное регулирование.

А.Е. Muzhipova, T.L. Egorova

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

THEORETICAL STUDY OF A HOT WATER CIRCULATION SYSTEM AS AN OBJECT OF AUTOMATIC CONTROL

Abstract. The article provides an overview of modern approaches to the study of a circulating hot water supply system as an object of control. The article discusses the hydraulic and thermal modes of the system's operation and analyzes the features of automatic regulation in conditions of variable water consumption. The main attention is paid to the methodological approaches presented in the work of N.V. Surikov, D.A. Kovalev, A.V. Tayanchin, and A.P. Mirny, "Research of a Hot Water Circulation System as a Control Object," as well as to the current trends in automation and energy conservation, which are reflected in the sources from 2021 to 2025. The authors conclude that a comprehensive approach to the management of the hot water system is necessary, which combines hydraulic calculations, thermal compensation, and the implementation of intelligent control algorithms. The article also discusses the economic aspects of automation, the challenges of operating a typical housing stock, and the prospects for using digital twins.

Keywords: hot water circulation system, control object, hydraulic mode, automation, energy efficiency, individual heating unit, circulation pump, heat loss, digital twin, frequency control.

Система горячего водоснабжения (ГВС) является одним из наиболее энергоемких и критически важных элементов инженерной инфраструктуры современных зданий, схема циркуляционной системы ГВС представлена на рисунке 1.

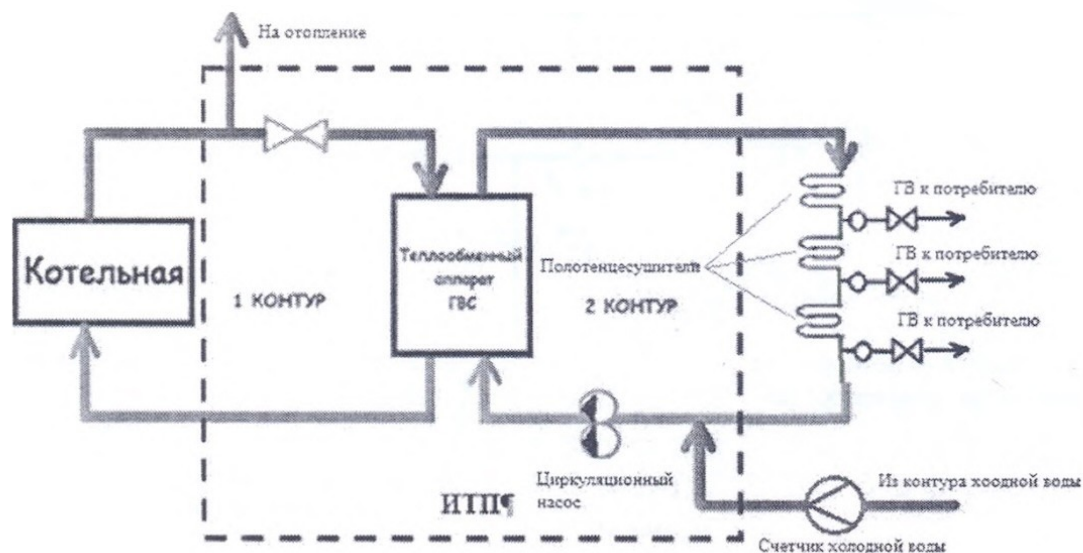


Рис. 1. Схема циркуляционной системы ГВС

На долю ГВС приходится до 30-40% общего теплотребления многоквартирного дома, что делает её оптимизацию приоритетной задачей в сфере жилищно-коммунального хозяйства. В масштабах города расход тепла на ГВС может достигать 20-25% от общего теплового баланса, а с учетом потерь в распределительных сетях – до 30%. Это сопоставимо с отопительной нагрузкой в переходный период года. В отличие от систем холодного водоснабжения или отопления, ГВС функционирует в условиях высокой динамики водоразбора и жестких требований к поддержанию температуры (не менее 60°C в точках разбора) для обеспечения санитарно-гигиенической безопасности, в частности предотвращения размножения легионеллы и других патогенных микроорганизмов. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, температура горячей воды в местах водоразбора должна составлять от 60 до 75°C, а допустимое снижение температуры в ночное время не регламентировано, что создает пространство для энергосберегающих маневров.

Циркуляционная система ГВС, пришедшая на смену тупиковым схемам в 1960-х годах с началом массового жилищного строительства, призвана решить проблему остывания воды в трубопроводах и обеспечить мгновенную подачу горячей воды потребителю без длительного слива остывшей воды. Первые циркуляционные системы появились в высотных зданиях Москвы и Ленинграда, где гравитационный напор уже не мог обеспечить естественную циркуляцию. Однако именно эта функция превращает систему в сложный объект управления, объединяющий гидравлические, тепловые и механические процессы, протекающие в условиях стохастических возмущений. Классическая циркуляционная схема включает подающий трубопровод, циркуляционный (обратный) трубопровод, циркуляционный насос, нагреватель (бойлер или теплообменник), а также запорно-регулирующую арматуру. В многоквартирных домах к этой схеме добавляются поэтажные стояки и полотенцесушители, которые, с одной стороны, являются полезной нагрузкой, а с другой – дополнительным источником теплотеря.

Фундаментальной основой для понимания циркуляционной системы ГВС как объекта управления является одноименная работа Н.В. Сурикова, Д.А. Ковалева, А.В. Таянчина, А.П. Мирного «Исследование циркуляционной системы горячего водоснабжения как объекта управления» [1]. Данная работа вышла в межвузовском сборнике научных трудов НИЦ ВШТЭ и быстро стала настольным пособием для инженеров-проектировщиков и эксплуатационников. В этой статье авторы впервые в отечественной литературе рассматривают систему ГВС с позиций теории автоматического управления, выделяя её ключевые особенности: многоконтурность, наличие распределенных параметров, существенную нелинейность гидравлических характеристик и высокую чувствительность к изменениям режимов водоразбора. Под многоконтурностью понимается наличие нескольких циркуляционных колец (подающее кольцо через теплообменник, циркуляционное кольцо через обратный трубопровод, кольца через отдельные стояки), каждое из которых имеет свою динамику.

Особое внимание в работе [1] уделяется анализу возмущающих воздействий. Среди них авторы выделяют три основные группы. Первая группа – стохастический характер водоразбора, который описывается случайным процессом с суточной периодичностью и ярко выраженными утренними и вечерними пиками. Вторая группа – изменяющиеся теплотери в трубопроводах, зависящие от температуры наружного воздуха, скорости ветра и степени износа теплоизоляции. Третья группа –

изменение гидравлического сопротивления системы вследствие отложений накипи и коррозии, которое нарастает медленно (годами), но существенно влияет на характеристики системы. Авторы вводят понятие передаточной функции системы ГВС, описывающей реакцию температуры в точках разбора на изменение расхода циркуляционного насоса и тепловой мощности подогревателя. Показано, что система обладает значительным запаздыванием, которое может достигать нескольких минут в высотных зданиях (до 5-7 минут для 16-этажного дома), что существенно усложняет задачу автоматического регулирования. Запаздывание обусловлено временем транспортировки теплоносителя от источника тепла до удаленного потребителя и тепловой инерцией трубопроводов.

Суриков и соавторы [1] также предлагают классификацию методов управления циркуляционными системами ГВС. Первый метод – качественное регулирование, при котором изменяется температура теплоносителя на выходе из подогревателя при постоянном расходе. Этот метод эффективен при стабильном водоразборе, но неэкономичен. Второй метод – количественное регулирование, при котором изменяется расход циркуляционного насоса (обычно с помощью частотного преобразователя) при постоянной температуре. Этот метод более энергоэффективен, но сложнее в реализации из-за нелинейной зависимости гидравлических потерь от расхода. Третий метод – смешанное (качественно-количественное) регулирование, при котором изменяются оба параметра. Авторы показывают, что оптимальным является третий метод, однако его практическая реализация требует использования микропроцессорных контроллеров и надежной системы датчиков. Авторами представлен график, изменения температуры горячей воды потребителю в зимнее время при подаче теплоносителя с котельной температурой 98°C. График представлен на рисунке 2. На графике наглядно виден скачкообразный характер изменения температуры.

На графике:

Ттн – температура теплоносителя, приходящего от котельной; Тгв – температура горячей воды, подаваемой потребителю; пунктирными линиями отмечены Тгв макс – максимальная допустимая температура ГВ; Тгв мин – минимальная допустимая температура ГВ.

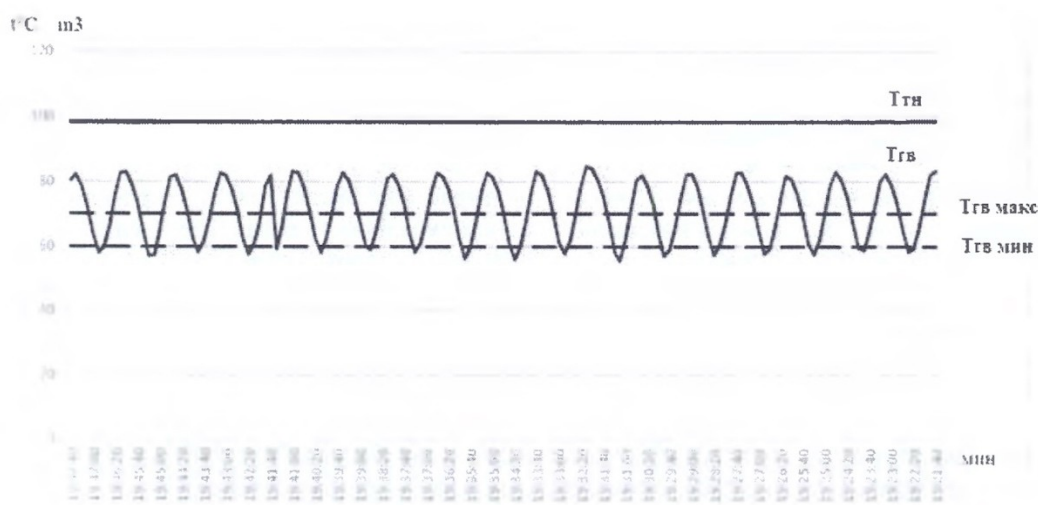


Рис. 2. График изменения температуры горячей воды, поступающей потребителю в зимнее время при температуре теплоносителя 98°C

Сравнительный анализ тупиковых и циркуляционных систем, проведенный в работах Петрусенко Д.А. и Бирюзовой Е.А. [5], показывает принципиальную разницу в подходах к эксплуатации. Авторы [5] приводят конкретные цифры: в тупиковой системе при отсутствии водоразбора в течение 8 часов (например, ночью или в рабочее время в офисном здании) температура воды в трубах снижается до температуры окружающего воздуха (20-25°C), и для восстановления нормативной температуры требуется слить от 50 до 200 литров воды в зависимости от диаметра и протяженности трубопроводов. Тупиковые системы (однотрубные), несмотря на меньшую металлоемкость (экономия до 30% металла по сравнению с циркуляционной) и более низкую стоимость монтажа, характеризуются «застаиванием воды при отсутствии разбора, значительным остыванием и нерациональным сбросом остывшей воды в канализацию» [5]. По оценкам экспертов, в домах с тупиковой системой ГВС до 40% горячей воды сливается в канализацию, не будучи использованной по назначению, что приводит к перерасходу как воды, так и тепловой энергии на её нагрев.

Это делает тупиковые системы непригодными для многоквартирных домов и объектов с неравномерным графиком потребления. Циркуляционные системы (двухтрубные) решают проблему за счет организации постоянного движения воды по замкнутому контуру «подача – обратка», что позволяет сохранять температуру даже у самого удаленного прибора. При правильно рассчитанном циркуляционном расходе температура воды у потребителя не опускается ниже 55°C даже в часы минимального водоразбора. Однако с точки зрения управления поддержание гидравлической стабильности при переменном расходе и компенсация естественных теплопотерь в стояках и полотенцесушителях представляют собой сложную инженерную задачу, требующую применения методов теории автоматического управления. Добавим, что полотенцесушители, установленные на циркуляционных стояках, являются нерегулируемым источником теплопотерь, которые в отопительный сезон частично компенсируют нагрузку на систему отопления, а в летний период приводят к перегреву помещений. Этот эффект, известный как «летний перетоп», является одной из нерешенных проблем управления современными системами ГВС.

Исследование циркуляционной системы как объекта управления требует рассмотрения двух основных режимов работы, каждый из которых предъявляет свои требования к системе автоматического управления. Первый режим – режим водоразбора (максимальное потребление) – характеризуется максимальными секундными и часовыми расходами. В утренние часы (7:00-9:00) и вечерние часы (18:00-21:00) водоразбор в многоквартирном доме может превышать среднесуточный в 3-5 раз. Управление в этом режиме направлено на предотвращение разрегулировки и обеспечение требуемого напора у всех потребителей, включая самые удаленные и верхние этажи. В этот период циркуляционный насос работает в условиях переменной производительности, и задача управления состоит в поддержании перепада давления на подающем и обратном трубопроводах в заданных пределах. Если перепад давления падает ниже нормы, потребители на верхних этажах могут остаться без воды или получать её с низким напором. Если перепад слишком высок, возникает риск гидравлических ударов и повышенного износа арматуры.

Второй режим – режим циркуляции (минимальный водоразбор, обычно ночью с 23:00 до 6:00) – в этот период система функционирует как замкнутый контур. Водоразбор практически отсутствует, и вся вода, проходящая через систему, возвращается в нагреватель. Циркуляционный расход рассчитывается исходя из необходимости восполнения теплопотерь [6]. При этом температура воды постепенно снижается от точки нагрева до самой удаленной точки циркуляционного кольца. Задача управления в этом режиме состоит в выборе такого циркуляционного расхода, при котором перепад температуры между подачей и обраткой не превышает нормативных значений (обычно 8-10°C).

Слишком низкий циркуляционный расход приведет к чрезмерному остыванию воды у удаленных потребителей, и при возобновлении водоразбора в утренние часы первые порции воды будут ниже нормативной температуры. Слишком высокий циркуляционный расход приведет к неоправданному перерасходу электроэнергии на работу насоса и увеличению теплопотерь, так как более интенсивная циркуляция означает более интенсивное охлаждение воды в трубопроводах.

Важным параметром управления является гравитационный напор, который в высотных зданиях может играть значительную роль. Как отмечается в работах [5] и [8], в зданиях выше 9 этажей за счет разности плотностей остывшей и горячей воды возникает естественная циркуляция.

Плотность воды при температуре 60°C составляет примерно 983 кг/м³, а при температуре 30°C – 996 кг/м³. Разность плотностей (13 кг/м³) создает движущий напор, пропорциональный высоте здания. В 16-этажном доме высотой около 45 метров гравитационный напор составит примерно 45 * 13 * 9,81 / 1000 ≈ 5,7 кПа, или 0,057 атмосферы. Это не так много по сравнению с напором циркуляционного насоса (20-40 кПа), но направление этого напора зависит от того, где находится нагреватель. Если нагреватель расположен в подвале (нижняя разводка), то гравитационный напор способствует циркуляции (горячая вода поднимается вверх, остывшая опускается вниз). Если нагреватель расположен на чердаке (верхняя разводка), что встречается в старых проектах, гравитационный напор противодействует работе насоса, так как остывшая вода стремится опуститься вниз, а насос пытается поднять её вверх. Гравитационный напор либо способствует работе насоса, либо, при неправильном проектировании, вступает с ним в противодействие, что может привести к остановке циркуляции и опрокидыванию направления потока.

Высота здания становится критическим фактором устойчивости системы, что подтверждается формулой, приведенной в [5]:

$$\Delta F = h \cdot (\rho_{\text{остывшей}} - \rho_{\text{горячей}}) \cdot g$$

В зданиях высотой более 50 метров (17+ этажей) гравитационный напор может достигать 0,1-0,15 атм, что составляет 20-30% от напора циркуляционного насоса. Это явление необходимо учитывать при выборе насосного оборудования и настройке систем автоматического регулирования. В противном

случае возможно возникновение гидравлических ударов и колебательных режимов, когда насос и гравитация «соревнуются» друг с другом, вызывая пульсации расхода и давления.

В практике эксплуатации известны случаи, когда неправильно подобранный циркуляционный насос в 24-этажном здании с верхней разводкой не мог преодолеть гравитационный напор, и система ГВС фактически работала как тупиковая, несмотря на наличие циркуляционного трубопровода.

Анализ современной литературы за период 2021–2025 гг. позволяет выделить несколько актуальных направлений в исследовании систем ГВС как объектов управления. Эти направления отражают общемировые тренды цифровизации и декарбонизации коммунальной энергетики, а также учитывают специфику российского жилого фонда и климатических условий. В работе Бакаловой В.В. и Самсонова Н.Д. (БНТУ, 2025) акцентируется внимание на особенностях применения циркуляционных насосов [2]. Авторы подчеркивают, что выбор насоса определяется не только гидравлическими характеристиками (напор, производительность), но и технико-экономическими показателями (стоимость, энергоэффективность, срок службы, стоимость обслуживания), а также возможностью работы на незамерзающих жидкостях в специфических условиях, например, в неотапливаемых чердачных помещениях или технических подпольях. Это указывает на тренд персонализации объекта управления под конкретные архитектурные и климатические условия. Универсальных решений не существует: то, что хорошо работает в Краснодаре, может оказаться неработоспособным в Иркутске.

Особое внимание в работе [2] уделяется насосам с мокрым ротором, которые составляют более 80% рынка циркуляционных насосов для ГВС. Конструкция с мокрым ротором означает, что ротор насоса вращается непосредственно в перекачиваемой жидкости, которая одновременно служит смазкой и охлаждением подшипников. Такие насосы обладают низким уровнем шума (обычно менее 30 дБ), не требуют обслуживания и имеют ресурс 8-10 лет. Однако они чувствительны к качеству теплоносителя: наличие абразивных частиц (песок, окалина) или воздушных пузырей приводит к быстрому износу подшипников и выходу насоса из строя. Альтернативой являются насосы с сухим ротором, у которых ротор отделен от перекачиваемой жидкости торцевыми уплотнениями. Такие насосы имеют более высокий КПД (до 70% против 50-60% у насосов с мокрым ротором), но требуют регулярного обслуживания (замена смазки, контроль торцевых уплотнений) и создают повышенный шум (до 50-60 дБ), что требует установки в отдельном помещении или применения шумопоглощающих кожухов. Выбор между этими двумя типами насосов – это компромисс между энергоэффективностью, надежностью и комфортом.

В отраслевых дискуссиях на портале РосТепло.ru, который является одной из ведущих площадок для обмена опытом среди инженеров-теплотехников, поднимается вопрос о несовершенстве существующих приборов учета (ОДПУ) и необходимости внедрения более точных средств измерения [3] [7]. Участники профессионального сообщества настаивают на переходе от простой рециркуляции к интеллектуальным системам, способным адаптироваться к реальному времени суток. Например, ночью интенсивность циркуляции может быть снижена на 50-70%, так как потребность в горячей воде минимальна, а допустимое снижение температуры в ночные часы не регламентируется санитарными нормами.

В частности, обсуждается внедрение недельно-суточных таймеров и термостатов в насосное оборудование, что позволяет рассматривать систему ГВС как управляемый элемент концепции «Умного дома» [4]. Экономический эффект от внедрения таких систем оценивается в 15-25% снижения теплопотребления на нужды ГВС, что при текущих тарифах (около 2000 руб./Гкал в большинстве регионов России) окупается за 2-3 отопительных сезона. Для многоквартирного дома на 100 квартир экономия может составить от 50 до 100 тыс. рублей в год.

В источниках, посвященных открытым системам водоснабжения [5], отмечается, что степень загрязнения воды в циркуляционных контурах выше, чем в тупиковых. Это кажется парадоксальным, ведь в тупиковых системах вода застаивается, а в циркуляционных – постоянно движется. Однако объяснение простое: постоянная циркуляция поддерживает температуру воды в диапазоне 30-50°C на некоторых участках (например, у удаленных потребителей или при недостаточном циркуляционном расходе), что является оптимальным для размножения бактерий и образования биопленок на стенках труб. Кроме того, циркуляционные контуры имеют более сложную конфигурацию с большим количеством поворотов, сужений и запорной арматуры, где скапливаются взвешенные частицы.

Это накладывает дополнительные требования к управлению эксплуатацией: необходима периодическая промывка трубопроводов при высоких скоростях (не менее 1,5-2 м/с) и регулярная очистка поверхностей нагрева подогревателей от солей жесткости [8]. Без внедрения автоматических систем контроля качества воды (датчики мутности, pH, окислительно-восстановительного потенциала) управление такой системой становится неэффективным, так как оператор не имеет объективной информации о состоянии трубопроводов.

Современные решения включают автоматические промывные устройства – так называемые «импульсные промывочные клапаны», которые по таймеру или по сигналу датчика перепада давления

открываются на короткое время (0,5-1 секунда), создавая гидравлический удар, который отрывает отложения от стенок труб. Затем эти отложения выносятся потоком воды через специальные фильтры-грязевики. Такие системы уже применяются на крупных тепловых пунктах Москвы и Санкт-Петербурга, но для массового внедрения в жилом секторе они пока слишком дороги (от 300 тыс. рублей на один узел ввода).

Современный подход к исследованию циркуляционной системы ГВС как объекта управления немаловажен без применения методов математического и компьютерного моделирования. Наиболее распространенными программными комплексами в российской практике являются гидравлические симуляторы, такие как «Зарница» (разработка НИИ Сантехники), «Гидравлик» (ООО «Поток») и импортозамещающий «Поток-Анализ» (компания «Теплоавтоматика»). Эти системы позволяют построить цифровой двойник реальной циркуляционной сети, задать параметры всех элементов (диаметры труб, шероховатость, местные сопротивления, характеристики насосов и арматуры) и провести расчет установившихся и переходных режимов.

Цифровой двойник – это математическая модель, которая обновляется в реальном времени на основе данных с датчиков, установленных на реальной системе.

Такой подход позволяет не только проектировать новые системы, но и диагностировать проблемы в существующих, например, находить скрытые засоры или утечки.

В работе Сурикова и соавторов [1] впервые была предложена методика линеаризации нелинейных гидравлических характеристик системы ГВС, что позволило применить к ней классические методы теории автоматического управления. Нелинейность проявляется в том, что гидравлическое сопротивление системы зависит от расхода по квадратичному закону (потери давления пропорциональны квадрату расхода), а характеристика насоса также нелинейна.

Авторы [1] показали, что в окрестности рабочей точки (то есть при небольших отклонениях от расчетного режима) систему можно описать линейными дифференциальными уравнениями, что позволяет рассчитать передаточные функции, построить логарифмические амплитудно-частотные характеристики и оценить запасы устойчивости по критериям Найквиста и Михайлова. Это стало прорывом, так как до появления этой методики настройка регуляторов ГВС велась эмпирически, методом проб и ошибок, что часто приводило к колебательным режимам и перерегулированию.

Оптимизация управления системой ГВС представляет собой многокритериальную задачу. С одной стороны, необходимо обеспечить нормативную температуру воды в точках разбора (60-75°C). С другой стороны, требуется минимизировать теплопотери в циркуляционном контуре, которые в нерегулируемых системах могут достигать 30-40% от общего теплопотребления. С третьей стороны, необходимо учитывать износ оборудования и трубопроводов, который ускоряется при повышенных температурах (скорость коррозии увеличивается вдвое при повышении температуры с 60 до 80°C) и при высоких скоростях потока (эрозионный износ). С четвертой стороны, нужно минимизировать электроэнергию, потребляемую циркуляционным насосом, которая пропорциональна кубу расхода. Задача усложняется тем, что критерии являются противоречивыми: повышение температуры воды увеличивает теплопотери, снижение циркуляционного расхода уменьшает потребление электроэнергии, но может привести к остыванию воды у удаленных потребителей, а повышение расхода улучшает температуру, но увеличивает износ.

Решением является применение методов многокритериальной оптимизации, таких как метод Парето (построение множества компромиссных решений) или свертка критериев с весовыми коэффициентами, которые выбираются в зависимости от приоритетов эксплуатирующей организации.

Основой для понимания систем ГВС как объектов управления являются труды классиков отечественной школы теплотехники, включая Н.В. Сурикова, Д.А. Ковалева, А.В. Таянчина, А.П. Мирного. В данной работе «Исследование циркуляционной системы горячего водоснабжения как объекта управления» [1] заложены фундаментальные принципы гидравлического расчета и тепловой компенсации, без которых невозможно построение современной системы управления. Авторы впервые применили системный подход к анализу ГВС, рассматривая её не как совокупность труб и арматуры, а как единый объект управления с обратными связями, возмущениями и запаздываниями. Это позволило перейти от эмпирических методов настройки к научно обоснованным расчетам, что особенно важно при проектировании сложных систем для высотных зданий и крупных жилых комплексов.

Однако при изучении современных источников (2021–2025 гг.) бросается в глаза разрыв между теорией и практикой эксплуатации. В то время как научная литература предлагает изящные схемы с секционными узлами и двухступенчатыми подогревателями [5][8], форумы экспертов [3][7] свидетельствуют о том, что большая часть жилого фонда (например, «хрущевки» и ранние «брежневки» 1960-70-х годов постройки) продолжает эксплуатироваться по тупиковым схемам или схемам с «нижней подачей» без обратных стояков, что противоречит физическому принципу естественной циркуляции. В таких домах циркуляция обеспечивается только на уровне магистралей, а стояки остаются тупиковыми.

Это приводит к тому, что на верхних этажах вода остывает за ночь до 30-40°C, и утром жильцы вынуждены сливать её в течение 2-3 минут, пока не пойдет горячая вода.

Управляющие компании обязаны обеспечивать качество (60°C в кране), но не имеют физической возможности изменить проектную схему дома, заложенную 50 лет назад [3][7]. Капитальная реконструкция системы ГВС в таком доме стоит от 2 до 5 млн рублей, что для большинства ТСЖ и УК неподъемно. Это создает ситуацию, когда объект управления (система ГВС) является «заведомо неуправляемым» в рамках существующих нормативов без капитальной реконструкции.

Складывается парадоксальная ситуация: теория управления ушла далеко вперед, предлагая интеллектуальные алгоритмы и предиктивные регуляторы, а практика продолжает бороться с банальным отсутствием циркуляционных стояков в типовых проектах.

Мнение о том, что циркуляция неизбежно ведет к перерасходу тепла, оспаривается в [4]. Авторы утверждают, что использование высококачественной теплоизоляции труб (например, вспененный каучук или PEX-трубы с предварительно нанесенной изоляцией) и программируемых насосов позволяет снизить потери до 10-15% от общего теплотребления, что сопоставимо с потерями в тупиковых системах при сливе остывшей воды. Исследования показывают, что в правильно спроектированной и отрегулированной циркуляционной системе суммарные потери (тепловые + на слив воды) на 20-30% ниже, чем в тупиковой. Однако, как отмечается в [8], для реализации такого потенциала необходимо применение современных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), что требует значительных инвестиций – от 500 тыс. до 2 млн рублей на один многоквартирный дом в зависимости от его размера и состояния существующих сетей. При существующих тарифах и отсутствии государственных программ энергосбережения (федеральная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» была свернута в 2020 году, а региональные программы финансируются по остаточному принципу) такие инвестиции для большинства управляющих компаний недоступны. Это создает замкнутый круг: без инвестиций нельзя снизить затраты, а без снижения затрат нет источников для инвестиций.

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие практические рекомендации по совершенствованию управления циркуляционными системами ГВС для различных категорий объектов. Для нового строительства (или капитального ремонта с полной заменой инженерных систем) при проектировании новых зданий необходимо закладывать возможность полной автоматизации: предусматривать места для установки частотных преобразователей на циркуляционных насосах (с возможностью плавного изменения частоты вращения от 0 до 50 Гц), датчиков температуры и давления в ключевых точках сети (как минимум на входе и выходе подогревателя, а также на наиболее удаленном циркуляционном стояке), а также шкафов автоматики с возможностью удаленного доступа через интернет или локальную сеть.

Также рекомендуется использовать трубы с повышенной теплоизоляцией (например, пенополиуретановая изоляция в полиэтиленовой оболочке), что снижает теплотери на 70-80% по сравнению с неизолированными трубами.

Для реконструкции существующих систем при реконструкции существующих систем следует отдавать приоритет внедрению ИТП с погодозависимым регулированием и программируемыми режимами циркуляции. При этом не обязательно менять всю разводку по дому: достаточно установить современный тепловой пункт с высокоэффективным пластинчатым теплообменником (коэффициент теплопередачи до 5000 Вт/(м²·К) против 500-1000 у кожухотрубных), циркуляционным насосом с частотным регулированием и контроллером с предустановленными алгоритмами оптимизации.

Опыт показывает, что это позволяет окупить затраты за 3-5 лет за счет снижения теплотребления на 15-25% и сокращения расхода электроэнергии на насосы на 30-50%. Для многоквартирных домов с высокой долей социального жилья целесообразно привлекать субсидии из региональных фондов капитального ремонта или энергосервисные контракты, когда подрядчик проводит модернизацию за свой счет, а затем получает оплату из фактической экономии.

Для эксплуатации без автоматизации для зданий, где автоматизация пока невозможна по финансовым причинам, рекомендуется внедрение хотя бы минимальных мер: установка простых таймеров на циркуляционные насосы (отключение насоса на 4-6 часов ночью при сохранении естественной циркуляции, если позволяет конструкция системы), балансировка циркуляционных колец с помощью регулирующих клапанов (чтобы выровнять гидравлическое сопротивление разных стояков), а также сезонная регулировка температуры подачи (летом можно снизить температуру до 60-65°C, так как теплотери через ограждающие конструкции минимальны, а зимой поддерживать 70-75°C для компенсации повышенных потерь).

Также необходимо внедрение систем диспетчеризации, позволяющих оперативно отслеживать параметры системы ГВС (температуру подачи и обратки, перепад давления, расход теплоносителя) и выявлять отклонения от нормативных режимов. Даже простая система с выводом параметров на дисплей

в диспетчерской и SMS-оповещением при аварийных отклонениях может сократить время реакции на нештатные ситуации с нескольких дней до нескольких часов и снизить потери тепла на 5-10%.

Кроме того, требуется разработка нормативной базы, стимулирующей управляющие компании к внедрению энергоэффективных решений. Например, дифференцированные тарифы на тепловую энергию для домов с автоматизированными и неавтоматизированными системами ГВС (более низкий тариф для автоматизированных), налоговые льготы для УК, инвестирующих в энергосбережение, или обязательные энергетические обследования с публикацией результатов в открытом доступе, что создаст рыночную конкуренцию между УК по энергоэффективности. Положительный опыт таких мер есть в Европе (например, немецкая программа KfW-40, где субсидируется до 50% затрат на модернизацию систем отопления и ГВС) и в некоторых регионах России (например, в Татарстане и Башкортостане действуют региональные программы энергосбережения с софинансированием до 30% затрат).

Стоит отдельно рассмотреть экономические аспекты управления циркуляционными системами ГВС, так как именно экономика является главным драйвером или барьером для внедрения новых решений. По данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения (РАВВ), средний удельный расход тепла на ГВС в многоквартирных домах России составляет 0,25-0,35 Гкал/чел. в год, что при населении 146 млн человек дает около 40 млн Гкал в год или примерно 80 млрд рублей в год в денежном выражении (при среднем тарифе 2000 руб./Гкал). Из них, по экспертным оценкам, от 15 до 30% (12-24 млрд рублей в год) теряется из-за несовершенства систем управления, отсутствия автоматизации и сверхнормативных теплопотерь.

Таким образом, потенциальная экономия от внедрения интеллектуального управления системами ГВС в масштабах страны составляет десятки миллиардов рублей в год, что сопоставимо с бюджетом крупной федеральной программы. Однако для реализации этой экономии необходимы инвестиции в модернизацию порядка 200-300 млрд рублей (если считать по 0,5-1 млн рублей на дом при 20 млн домохозяйств), что делает задачу долгосрочной и требующей государственно-частного партнерства.

Перспективными направлениями для будущих исследований и разработок являются создание недорогих ретрофит-комплектов для автоматизации существующих систем ГВС (например, «умный» клапан на батарейках с радиоканалом, который можно установить на существующий стояк без сварочных работ), разработка самообучающихся алгоритмов управления на основе нейронных сетей, которые адаптируются к индивидуальному графику водоразбора конкретного дома без участия настройщика, а также исследование влияния качества воды (жесткость, pH, содержание кислорода) на динамические характеристики объекта управления, чтобы алгоритмы могли корректировать свою работу при изменении качества воды.

Также актуальным является создание открытой базы данных с реальными гидравлическими и тепловыми характеристиками систем ГВС в типовых зданиях, которая могла бы использоваться для обучения нейросетей и верификации математических моделей.

Проведенный обзор позволяет сделать следующие выводы относительно исследования циркуляционной системы ГВС как объекта управления. Система ГВС является сложным объектом управления, требующим одновременного контроля гидравлических (давление, расход) и тепловых (температура, теплопотери) параметров. Управление должно учитывать два принципиально разных режима: водопотребления и циркуляции, причем переход между этими режимами носит стохастический характер, что требует применения адаптивных алгоритмов управления, способных обучаться и подстраиваться под конкретные условия эксплуатации.

Исследования 2021–2025 гг. показывают, что дальнейшее развитие систем ГВС лежит в плоскости внедрения «умных» насосов с таймерами, частотным регулированием и интеграцией в системы диспетчеризации зданий. Это позволяет сместить акцент с ручного регулирования на автоматическое поддержание оптимума между комфортом и энергосбережением. Перспективным направлением является применение методов предиктивного управления, использующих прогноз водоразбора на основе анализа статистических данных (например, по счетчикам с почасовым архивированием) и расписания работы здания (для офисных и общественных зданий).

Основным вызовом для теории управления является огромный пласт зданий старого фонда, где физически отсутствуют условия для нормальной циркуляции (нижняя разводка, отсутствие обратных стояков, изношенные трубы с внутренними отложениями, уменьшившими проходное сечение). В таких случаях любые управленческие решения упрутся в конструктивные ограничения, что требует разработки специализированных «адаптивных» методов эксплуатации.

Возможно, с использованием накопительных баков (буферных емкостей) и систем рециркуляции на уровне отдельных стояков или даже квартир (локальные рециркуляционные контуры). Однако такие решения пока находятся на стадии экспериментальных разработок и не имеют нормативной базы. Эффективное управление циркуляционной системой невозможно без решения смежных задач: качественной теплоизоляции трубопроводов (снижение теплопотерь до 80% по сравнению с неизолированными трубами), регулярной химической промывки (удаление накипи и биопленок,

восстановление проходного сечения) и использования точных приборов учета с возможностью телеметрии.

Таким образом, циркуляционная система ГВС представляет собой динамически развивающийся объект управления. Если теоретическая база (гидравлика, теплообмен, теория автоматического управления) разработана достаточно глубоко, то внедрение современных средств автоматизации и преодоление инерции существующего жилого фонда остаются ключевыми направлениями для дальнейших научных и практических исследований. Перспективными темами для будущих работ являются разработка недорогих ретрофит-комплектов для автоматизации существующих систем ГВС, создание самообучающихся алгоритмов управления на основе нейронных сетей, а также исследование влияния качества воды на динамические характеристики объекта управления.

Список литературы

1. Суриков, Н. В. Исследование циркуляционной системы горячего водоснабжения как объекта управления / Н. В. Суриков, Д. А. Ковалев, А. В. Таянчина, А. П. Мирный // Инженерные системы и сооружения: межвузовский сборник научных трудов / НИЦ ВШТЭ. – СПб., 2020. – Вып. 10. – С. 12–45.
2. Бакалова, В. В. Особенности применения циркуляционных насосов в системе теплоснабжения / В. В. Бакалова, Н. Д. Самсонов ; науч. рук. Л. А. Тарасевич // Теплоэнергетика и теплотехника: материалы 81-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. – Минск : БНТУ, 2025. – С. 293–297.
3. Пинигин А.В., Гимпельсон. Обсуждение проблем горячего водоснабжения // Форум РосТепло.ru. – 2024. – URL: <https://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 04.04.2026).
4. Рециркуляция ГВС: для чего необходима и как правильно смонтировать // DigestWIZARD. – 2018. – URL: <https://digest.wizardsoft.ru> (дата обращения: 04.04.2026).
5. Петрусенко, Д. А. Обзор систем горячего водоснабжения. Сравнение тупиковой и циркуляционной системы ГВС / Д. А. Петрусенко, науч. рук. Е. А. Бирюзова // Молодежный научный форум : электронный сборник статей по материалам XLV международной студенческой научно-практической конференции. – 2023. – № 15(45).
6. Основы расчета внутренних инженерных систем. Система горячего водоснабжения // Студопедия / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – URL: <https://studopedia.ru> (дата обращения: 04.04.2026).
7. Форум по теплоснабжению: О горячем водоснабжении. Обсуждение проблем эксплуатации // РосТепло.ru. – 2024. – URL: <https://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 04.04.2026).
8. Оптимизация систем отопления и водоснабжения (окончание) // Техническая библиотека портала РосТепло.ru. – URL: <https://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 04.04.2026).

References

1. Surikov, N. V. Research of the Hot Water Circulation System as an Object of Control / N. V. Surikov, D. A. Kovalev, A. V. Tayanchina, A. P. Mirny // Engineering Systems and Structures: Interuniversity Collection of Scientific Papers / Research Center of Higher School of Engineering. – St. Petersburg, 2020. – Issue 10. – Pp. 12–45.
2. Bakalova, V. V. Features of the application of circulation pumps in the heating system / V. V. Bakalova, N. D. Samsonov ; scientific. hand. L. A. Tarasevich // Thermal power engineering and heat engineering: materials of the 81st scientific and technical conference of students and post-graduate students. – Minsk : BNTU, 2025. – P. 293–297.
3. Pinigin A.V., Gimpelson. Discussion of hot water supply problems // RosTeplo.ru Forum. – 2024. – URL: <https://www.rosteplo.ru> (accessed on 04.04.2026).
4. Recirculation of Hot Water Supply: Why It Is Necessary and How to Install It Properly // DigestWIZARD. – 2018. – URL: <https://digest.wizardsoft.ru> (accessed on 04.04.2026).
5. Petrusenko, D. A. Overview of Hot Water Supply Systems. Comparison of a dead-end and a circulating system

УДК 003.26:004.056.55

Пастухов М.В., Егорова Т.Л.

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

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АСИММЕТРИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Аннотация. В работе выполнен обзор и сравнительный анализ асимметричных алгоритмов криптографической защиты информации — RSA и ECC. Получены математические основы алгоритма RSA на базе модульной арифметики и теории чисел. Проведён анализ существующих онлайн-ресурсов по шифрованию. Разработан виртуальный лабораторный практикум (ВЛП) на языке C++, реализующий алгоритм RSA в учебных целях. Программа обеспечивает автоматическое определение языка входного текста, поблочное шифрование и наглядную демонстрацию всех этапов RSA-алгоритма.

Ключевые слова: асимметричное шифрование, RSA, ECC, криптография, открытый ключ, закрытый ключ, электронная цифровая подпись, виртуальный лабораторный практикум, модульная арифметика.

Pastukhov M.V., Egorova T.L.

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

REVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ASYMMETRIC ENCRYPTION ALGORITHMS AND DEVELOPMENT OF A VIRTUAL LABORATORY WORKSHOP

Annotation. The paper presents a review and comparative analysis of asymmetric cryptographic algorithms — RSA and ECC. The mathematical foundations of the RSA algorithm based on modular arithmetic and number theory are described. An analysis of existing online encryption resources is conducted. A virtual laboratory workshop (VLW) in C++ implementing the RSA algorithm for educational purposes has been developed. The program provides automatic input language detection, block-by-block encryption, and a step-by-step demonstration of all RSA algorithm stages.

Keywords: asymmetric encryption, RSA, ECC, cryptography, public key, private key, electronic digital signature, virtual laboratory workshop, modular arithmetic.

Обеспечение конфиденциальности и целостности информации является одной из ключевых задач современной информационной безопасности. Асимметричные криптографические алгоритмы, впервые предложенные Диффи и Хеллманом в 1976 г., решили фундаментальную проблему классической криптографии — необходимость передачи секретного ключа по защищённому каналу [4]. С момента появления практической реализации в виде алгоритма RSA (1977) асимметричная криптография применяется в системах защиты информации непрерывно и по сей день.

В отличие от симметричного шифрования, где отправитель и получатель используют один и тот же секретный ключ, асимметричные алгоритмы применяют пару математически связанных ключей — открытый и закрытый. Открытый ключ может свободно распространяться и используется для шифрования данных или проверки подписи, тогда как закрытый ключ хранится в тайне и применяется для расшифрования или формирования подписи. Это свойство лежит в основе инфраструктуры открытых ключей (PKI), протоколов TLS/SSL, а также систем электронной цифровой подписи, без которых невозможно функционирование современного интернета и электронного документооборота [5].

Отклонение от установленных криптографических стандартов или некорректное применение алгоритмов приводит к серьёзным уязвимостям. Понимание математических принципов, лежащих в основе асимметричных алгоритмов, является обязательным условием грамотного проектирования защищённых систем передачи данных. В учебном процессе по дисциплинам информационной безопасности особую роль играет возможность практически наблюдать работу алгоритмов на конкретных числовых примерах — это позволяет связать абстрактную математическую теорию с реальными механизмами защиты информации [2].

Цель работы — проведение сравнительного анализа основных асимметричных алгоритмов шифрования (RSA, ECC), анализ существующих интернет-ресурсов по криптографии и разработка виртуального лабораторного практикума (ВЛП) для изучения алгоритма RSA.

Алгоритм RSA (Rivest–Shamir–Adleman) был предложен в 1977 году и основан на вычислительной сложности задачи факторизации больших полупростых чисел. Процедура генерации

ключей включает следующие шаги. Выбираются два независимых случайных простых числа P и Q достаточно большой разрядности. Вычисляется модуль:

$$N = P \cdot Q,$$

а также функция Эйлера:

$$F = (P - 1) \cdot (Q - 1).$$

Случайным образом выбирается открытый показатель $D < F$, взаимно простой с F . Нахождение взаимно простого числа осуществляется с применением алгоритма Евклида. Закрытый показатель E определяется как мультипликативная обратная величина к D по модулю F , то есть из условия:

$$E \cdot D \bmod F = 1.$$

Нахождение E выполняется расширенным алгоритмом Евклида. Открытый ключ — пара (D, N) , закрытый ключ — пара (E, N) . Шифрование каждого блока сообщения m_i выполняется по формуле:

$$C_i = m_i^D \bmod N,$$

расшифрование — по формуле:

$$m_i = C_i^E \bmod N.$$

Корректность расшифрования обеспечивается теоремой Эйлера: поскольку $E \cdot D \equiv 1 \pmod{F}$, выполняется $(m_i^D)^E \equiv m_i \pmod{N}$. Стойкость алгоритма определяется тем, что при больших значениях P и Q задача нахождения закрытого ключа E по известным D и N эквивалентна задаче факторизации N , которая является вычислительно неразрешимой за полиномиальное время на классических компьютерах. Согласно современным рекомендациям, минимально допустимая длина ключа RSA составляет 2048 бит, а для систем с долгосрочными требованиями к защите рекомендуется использовать ключи длиной 3072 бит и более [3].

Метод шифрования на эллиптических кривых (ECC) основан на задаче дискретного логарифма в группе точек эллиптической кривой над конечным полем. В отличие от RSA, сложность которого опирается на задачу факторизации целых чисел, ECC использует значительно более трудоёмкую вычислительную проблему, что позволяет достичь сопоставимого уровня стойкости при существенно меньшей длине ключа. Кривая задаётся уравнением Вейерштрасса:

$$y^2 = x^3 + ax + b,$$

где a и b — коэффициенты над конечным полем, удовлетворяющие условию ненулевого дискриминанта $4a^3 + 27b^2 \neq 0$, что исключает вырожденные кривые с особыми точками. Точки кривой образуют абелеву группу относительно операции сложения, а криптографические операции реализуются через многократное сложение базовой точки G . Закрытый ключ — случайное целое число k , открытый ключ — точка $K = k \cdot G$ на кривой. Восстановить k по известным G и K математически неразрешимо — это и есть задача дискретного логарифма на эллиптической кривой [5].

Стойкость ECC сопоставима с RSA при значительно меньшей длине ключа: 256-битный ключ ECC эквивалентен по стойкости 3072-битному ключу RSA. Это делает ECC предпочтительным выбором для ресурсоограниченных устройств — смарт-карт, IoT-устройств, мобильных платформ, — а также для высоконагруженных систем, где критична скорость криптографических операций [5].

В таблице 1 представлен сравнительный анализ рассмотренных асимметричных алгоритмов и их применений. При выборе конкретного алгоритма для практических задач необходимо учитывать вычислительные ресурсы среды исполнения, требуемую длину ключа, совместимость с существующей инфраструктурой и перспективную устойчивость к квантовым атакам.

Таблица 1. Сравнение асимметричных алгоритмов шифрования

Алгоритм	Основа стойкости	Применение
RSA (1977)	Сложность факторизации больших чисел	TLS, PGP, ЭЦП
ECC (эллиптические кривые)	Задача дискретного логарифма на кривой	Мобильные устройства, криптовалюты
PGP (гибридная)	RSA + симметричное шифрование	Защита электронной почты

Анализ показывает, что алгоритм RSA остаётся наиболее распространённым благодаря многолетней истории применения и широкой поддержке в существующей инфраструктуре (TLS, PGP). Однако алгоритм уязвим к атакам на основе квантовых вычислений: алгоритм Шора позволяет решить задачу факторизации за полиномиальное время на квантовом компьютере достаточной мощности. ECC превосходит RSA по эффективности при эквивалентной стойкости, что определяет его приоритетность в мобильных и встраиваемых системах; при этом ECC также подвержен квантовым атакам. PGP как гибридная система сочетает преимущества обоих подходов: асимметричное шифрование применяется

для защищённой передачи сеансового ключа, а основной массив данных шифруется быстрым симметричным алгоритмом [1].

Для оценки возможности использования существующих онлайн-инструментов в учебных целях был проведён анализ восьми онлайн-сервисов, реализующих функции шифрования: `сгуро.com`, `proprogramming.org`, `webcrypt.org`, `and-rey.us/crypt`, `the-x.cn`, `crypt-online.ru`, `2ip.ua`, `devglan.com`. Критериями оценки служили: поддержка кириллического алфавита, наличие пошагового отображения промежуточных вычислений, открытость исходного кода, возможность задавать произвольные параметры алгоритма и скорость работы интерфейса.

По результатам анализа ни один из рассмотренных ресурсов не удовлетворяет требованиям учебного инструмента в полной мере. Ресурс `webcrypt.org` предоставляет широкий набор криптографических функций, однако не отображает промежуточные шаги алгоритма. Сервис `the-x.cn` поддерживает RSA, но работает только с латиницей и не позволяет вручную задавать простые числа. Ресурс `сгурт-online.ru` предоставляет интерфейс RSA-шифрования с возможностью выбора ключей, однако отличается низкой скоростью обработки и нестабильной работой. Сервис `devglan.com` реализует несколько криптографических алгоритмов, но не поддерживает кириллицу и скрывает детали вычислений. Остальные рассмотренные ресурсы имеют аналогичные ограничения: закрытость исходного кода, отсутствие возможности наблюдать промежуточные шаги алгоритма и ограниченный набор настраиваемых параметров.

Таким образом, выявлена потребность в специализированном учебном инструменте, ориентированном на работу с русскоязычным контентом и обеспечивающем прозрачность всех этапов алгоритма RSA.

На основании проведённого анализа разработан виртуальный лабораторный практикум (ВЛП) — программа `RSA_blocks`, реализованная на языке C++ с графическим интерфейсом. Программа обеспечивает следующие функции:

- автоматическое определение языка входного текста (русский / английский) и выбор соответствующего алфавита;
- автоматическую подготовку текста к шифрованию (удаление пробелов и символов, не входящих в алфавит);
- поблочное шифрование и расшифрование с отображением промежуточных результатов;
- генерацию и отображение набора допустимых пар ключей (e, d) для выбранных простых чисел P и Q;
- валидацию вводимых чисел P и Q на простоту с выдачей сообщения об ошибке;
- контроль минимального значения модуля $N > 65535$ при выборе размера блока 2 байта.

Порядок работы с программой: пользователь вводит простые числа P и Q, выбирает размер блоков (1 или 2 байта), вводит исходный текст, нажимает «Вычислить ключи e и d» и выбирает пару ключей из предложенного списка. После этого доступны операции пошагового или полного шифрования и расшифрования. В пошаговом режиме программа выводит числовое представление каждого символа, результат возведения в степень по модулю N и итоговый зашифрованный блок, что обеспечивает наглядность всех этапов алгоритма.

Архитектура программы построена по модульному принципу. Модуль генерации ключей реализует алгоритм Евклида для проверки взаимной простоты и расширенный алгоритм Евклида для нахождения закрытого ключа E. Модуль шифрования использует быстрое возведение в степень по модулю (алгоритм «квадрат и умножение»), что обеспечивает приемлемую производительность даже при больших значениях N. Модуль определения языка анализирует кодовые точки символов входной строки и автоматически выбирает алфавит: кириллический (32 буквы) или латинский (26 букв).

Практическая проверка работы программы выполнена для двух вариантов: шифрование русскоязычного текста при $P = 257$, $Q = 263$, $e = 101$, $d = 41837$ и шифрование англоязычного текста при $P = 293$, $Q = 257$, $e = 149$, $d = 40637$. В обоих случаях результат расшифрования совпал с исходным сообщением, что подтверждает корректность реализации алгоритма RSA в разработанном ВЛП.

В работе проведён сравнительный анализ асимметричных алгоритмов RSA и ECC. Изложены математические принципы алгоритма RSA на основе модульной арифметики и теории чисел: генерация ключей, шифрование и расшифрование блоков с математическим обоснованием корректности. Для алгоритма ECC описан принцип формирования ключей на основе операций в группе точек эллиптической кривой. Показано, что ECC обеспечивает эквивалентную стойкость при значительно меньшей длине ключа, что делает его предпочтительным для ресурсоограниченных сред.

Анализ восьми существующих онлайн-ресурсов по RSA-шифрованию выявил их непригодность для учебного применения: ни один из рассмотренных сервисов не обеспечивает одновременно

поддержки кириллицы, пошаговой визуализации алгоритма и возможности задавать произвольные параметры ключей.

Разработанный ВЛП RSA_blocks на языке C++ реализует все этапы алгоритма RSA с возможностью наблюдения промежуточных вычислений, поддержкой кириллического и латинского алфавитов, автоматической генерацией пар ключей и валидацией входных параметров. Программа представляет собой эффективный инструмент для изучения асимметричной криптографии в рамках дисциплин информационной безопасности и может быть использована как в аудиторных занятиях, так и при самостоятельной подготовке студентов.

Научный руководитель: доктор техн. наук, профессор Кикин А.Б.

Scientific supervisor: Doctor of Technical Sciences, Professor A.B. Kikin

Список литературы

1. Скворцова Е.И. Асимметричные алгоритмы криптографической защиты данных. – М., 2022. – 32 с.
2. Кикин А.Б. Конспект лекций: учебно-методическое пособие. – СПб., 2022. – 21 с.
3. Коутинхо С.А., Ландо С.К. Введение в теорию чисел. Алгоритм RSA. – М.: ПОСТМАРКЕТ, 2001.
4. Diffie W., Hellman M. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory. – 1976. – Vol. 22, No. 6. – P. 644–654.
5. Мао В. Современная криптография. Теория и практика. – М.: Вильямс, 2005. – 768 с.

References

1. Skvorcova E.I. Asimmetrichnye algoritmy kriptograficheskoy zashhity dannyh [Asymmetric algorithms of cryptographic data protection]. Moscow, 2022. 32 pp. (in Rus.).
2. Kikin A.B. Konspekt lekcij: uchebno-metodicheskoe posobie [Lecture notes: teaching aid]. Saint Petersburg, 2022. 21 pp. (in Rus.).
3. Koutinho S.A., Lando S.K. Vvedenie v teoriju chisel. Algoritm RSA [Introduction to number theory. RSA algorithm]. Moscow: POSTMARKET, 2001. (in Rus.).
4. Diffie W., Hellman M. New Directions in Cryptography. IEEE Transactions on Information Theory. 1976. Vol. 22, No. 6. P. 644–654.
5. Mao V. Sovremennaja kriptografija. Teorija i praktika [Modern cryptography. Theory and practice]. Moscow: Vil'jams, 2005. 768 pp. (in Rus.).

УДК 614.8:004.42:681.5

Пресняков В.В., Энтин В.Я.

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

МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭВАКУАЦИИ ПОСТРАДАВШИХ В ЗОНАХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аннотация. В статье рассматривается архитектурное построение автоматизированной системы эвакуации (АСЭ) пострадавших из зон чрезвычайных ситуаций (ЧС). Предложена многоуровневая иерархическая архитектура, включающая нижний физический, средний координационный и верхний тактический уровни. Обоснован выбор манипулятора типа «рука» с шестью степенями свободы в качестве ключевого исполнительного механизма. Описаны алгоритмические основы взаимодействия подсистем навигации, управления манипулятором и силового взаимодействия с пострадавшим. Дополнительно рассмотрены вопросы отказоустойчивости системы, интеграции алгоритмов искусственного интеллекта и сравнительный анализ с существующими решениями.

Ключевые слова: автоматизированная система эвакуации, чрезвычайная ситуация, многоуровневая архитектура, манипулятор, SLAM, импедансное управление, обратная кинематика, отказоустойчивость, ROS/Gazebo

Presnyakov V.V., Entin V.Ya.

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

MULTI-LEVEL ARCHITECTURE OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR EVACUATING VICTIMS IN EMERGENCY SITUATIONS

Abstract. The article discusses the architectural structure of an automated evacuation system (AES) for evacuating victims from emergency situations (ES). A multi-level hierarchical architecture is proposed, including a lower physical level, an intermediate coordination level, and an upper tactical level. The choice of a six-degree-of-freedom arm-type manipulator as the key actuator is justified. The algorithmic foundations of the navigation, manipulator control, and force interaction with the victim subsystems are described. Additionally, the issues of system fault tolerance, the integration of artificial intelligence algorithms, and a comparative analysis with existing solutions are addressed.

Keywords: automated evacuation system, emergency, multi-level architecture, manipulator, SLAM, impedance control, inverse kinematics, fault tolerance, ROS/Gazebo

Рост числа техногенных, природных и социально обусловленных чрезвычайных ситуаций в современном мире обуславливает необходимость совершенствования технических средств проведения спасательных операций. По данным МЧС России, ежегодно в стране фиксируется свыше 300 крупных чрезвычайных ситуаций, в которых пострадавшие нуждаются в оперативной эвакуации из зон поражения [1]. Традиционные методы эвакуации, основанные на ручном управлении и непосредственном участии личного состава в зонах поражения, не всегда обеспечивают требуемый уровень оперативности и безопасности — особенно в условиях высокой задымленности, нестабильного рельефа и частичного разрушения инфраструктуры.

Согласно статистике, до 35 % потерь среди спасательных служб обусловлены необходимостью работы в непосредственной близости к зонам опасного воздействия. Это обстоятельство подчёркивает актуальность разработки автономных систем, способных принимать на себя наиболее рискованные операции по извлечению пострадавших из-под завалов, задымлённых помещений и нестабильных конструкций.

Развитие автономных робототехнических систем открывает принципиально новые возможности для решения задачи эвакуации. Современные мобильные платформы, оснащённые многосенсорными комплексами, манипуляционными системами и алгоритмами искусственного интеллекта, уже используются в военной и промышленной сферах: примерами являются платформы Boston Dynamics Spot, DARPA-funded ANYmal и японские разработки в области аварийной робототехники. Вместе с тем существующие симуляционно-аналитические инструменты (Pathfinder, STEPS и им подобные) предназначены для этапа проектирования и не адаптированы к оперативному управлению в реальном времени в ходе ЧС [2].

Данная работа посвящена разработке и обоснованию архитектуры АСЭ, способной функционировать автономно, адаптироваться к динамически изменяющейся обстановке и обеспечивать безопасное взаимодействие с пострадавшими. Предложенная система принципиально отличается от аналогов интеграцией полного цикла эвакуационных операций — от разведки до транспортировки пострадавшего в безопасную зону — в рамках единой программно-аппаратной платформы.

Разрабатываемая система рассматривает эвакуацию не как изолированную транспортную операцию, а как комплексный процесс, включающий четыре взаимосвязанных этапа: обнаружение пострадавшего, оценку его состояния, физическое взаимодействие и безопасную транспортировку из зоны опасности. Ключевые принципы концепции:

- автономность в условиях разрушенной или отсутствующей телекоммуникационной инфраструктуры — система должна сохранять полную работоспособность при полной потере внешнего канала управления на срок до 4 часов непрерывной работы;

- минимизация пребывания личного состава непосредственно в зоне поражения — оператор находится за пределами опасного периметра, осуществляя лишь стратегический мониторинг;

- универсальность применения при различных типах ЧС (техногенные аварии, природные катастрофы, последствия разрушений) — обеспечивается модульностью программного обеспечения и сменными рабочими инструментами манипулятора;

- медицинская безопасность — все операции по перемещению пострадавшего сопровождаются мониторингом витальных показателей через интегрированные биодатчики и строгим соблюдением анатомически допустимых параметров захвата.

Оператор в данной концепции выполняет стратегические функции мониторинга и принятия решений, тогда как тактические и исполнительные задачи возлагаются на техническую систему. Передача полномочий между оператором и автономным режимом осуществляется по явно определённым протоколам с регистрацией событий в защищённом журнале.

Архитектура АСЭ построена по трёхуровневому иерархическому принципу, обеспечивающему разделение функций и устойчивость к внешним воздействиям (рис. 1). Каждый уровень реализован на выделенных вычислительных ресурсах, взаимодействующих через стандартизированные интерфейсы на основе протокола ROS 2 (Robot Operating System).

Нижний (физический) уровень охватывает мобильную гусеничную платформу, шестистепенной манипулятор типа «рука», сенсорный комплекс (лидары, стереокамеры, инерциальные измерительные модули, биодатчики) и исполнительные приводы. На данном уровне осуществляется сбор первичных данных об окружающей среде, положении пострадавших и параметрах рельефа, а также непосредственное выполнение манипуляционных операций. Гусеничная платформа обеспечивает проходимость по завалам с перепадом высот до 0,5 м и преодоление уклонов до 35°; бортовые аккумуляторные батареи суммарной ёмкостью 10 кВт·ч рассчитаны на автономную работу не менее 4 часов. Сенсорный комплекс включает: твердотельный лидар с дальностью 100 м и частотой сканирования 20 Гц, пару стереокамер с базой 20 см для трёхмерной реконструкции, шестиосевой IMU для компенсации вибраций платформы и набор газоанализаторов для оценки химического состава атмосферы зоны ЧС.

Средний (координационный) уровень реализует локальное управление и обработку сенсорных данных. Здесь формируются управляющие воздействия для приводов платформы и манипулятора, контролируется безопасность выполняемых операций и обеспечивается адаптация системы к изменению внешних условий. Ключевыми функциями уровня являются: решение задач прямой и обратной кинематики, реализация алгоритмов одновременной локализации и построения карты (SLAM), а также импедансное управление при контакте с пострадавшим. Аппаратно уровень реализован на встраиваемом вычислительном модуле NVIDIA Jetson AGX Orin с производительностью 275 TOPS, обеспечивающем обработку сенсорных потоков в реальном времени.

Верхний (тактический) уровень формирует целостное представление об обстановке и осуществляет планирование действий всей системы. При наличии устойчивого канала связи он взаимодействует с оператором или командным центром через защищённые протоколы передачи данных; при его отсутствии обеспечивает полностью автономное функционирование. На данном уровне реализуется трёхзонная модель тактического зонирования территории ЧС: зона абсолютной нестабильности (Альфа) — активная зона поражения с вероятностью вторичного обрушения выше 50%; зона тактического манёвра (Бета) — промежуточная зона с контролируемым риском, где осуществляется основная манипуляционная работа; зона логистического объединения (Гамма) — безопасная зона, используемая для передачи пострадавших медицинским бригадам и дозарядки системы.

Принципиальным достоинством предложенной архитектуры является её деградационная устойчивость: частичная утрата функций верхнего или среднего уровня не приводит к полному отказу системы, поскольку каждый уровень содержит резервные алгоритмы автономного функционирования. В частности, при отказе тактического уровня средний уровень переходит в режим ситуативного управления, завершая текущую операцию по предзагруженным приоритетным алгоритмам.

Навигационная подсистема обеспечивает определение положения мобильной платформы в пространстве и формирование безопасной траектории движения к пострадавшему. Вектор состояния платформы задаётся тройкой (x_p, y_p, θ_p) , где x_p и y_p — декартовы координаты, θ_p — курсовой угол.



Рис.1. Автоматизированная система эвакуации

Интеграция разнородных сенсорных данных (лидар, одометрия, IMU, камеры) выполняется алгоритмами SLAM на основе графовой оптимизации [6]. В отличие от фильтровых методов (EKF-SLAM, UKF-SLAM), графовые алгоритмы обеспечивают глобальную оптимизацию при обнаружении замкнутых циклов — критически важное свойство при работе в помещениях со схожими структурными элементами (коридоры, лестничные пролёты). Применяется оптимизатор $g2o$ с бэкендом на основе разложения Холецкого, что обеспечивает повторную оптимизацию карты с частотой не ниже 1 Гц даже при размере графа в 10 000 вершин.

По построенной карте реализуется планирование траектории с применением графовых методов (алгоритм A^* с эвристикой Манхэттенского расстояния) или метода потенциальных полей, минимизирующих длину маршрута либо энергозатраты при соблюдении ограничений по безопасности. Для динамического перепланирования в режиме реального времени применяется инкрементальный алгоритм D^* Lite, обеспечивающий пересчёт траектории при обнаружении ранее неизвестных препятствий за время не более 50 мс.

Отдельно решается задача обнаружения пострадавших. Применяется мультимодальный подход: детектирование тепловых сигнатур посредством тепловизионной камеры (диапазон 8–14 мкм), акустическая локация источников голосовых сигналов и детектирование характерных поз человека нейронными сетями типа YOLO-Pose. Слияние оценок из трёх каналов реализуется байесовским фильтром вероятностного присутствия, что снижает долю ложных обнаружений до уровня менее 3 %.

Пространственное положение рабочего органа манипулятора описывается через цепочку однородных преобразований координат (матрицы Денавита–Хартенберга): от мировой системы к системе координат платформы, от платформы к основанию манипулятора, и от основания к рабочему органу [4].

Целевая поза рабочего органа задаётся вектором положения и матрицей ориентации в декартовом пространстве; соответствующие суставные координаты определяются решением обратной кинематической задачи. Для конфигурации R–R–R–R–R аналитическое решение обратной задачи кинематики существует при наличии сферического запястья, что гарантирует декомпозицию задачи на позиционную и ориентационную составляющие. При наличии нескольких решений предпочтение отдаётся конфигурациям, удовлетворяющим критериям отсутствия сингулярностей (значение определителя матрицы Якоби выше порогового $J_{\min} = 0,05$) и минимизации энергопотребления (квадратичный функционал по суставным скоростям).

Низкоуровневое управление приводами осуществляется через замкнутые контуры на основе алгоритмов ПИД-регулирования либо модельно-ориентированных методов. Кинематическая связь между скоростями суставов и скоростями рабочего органа описывается матрицей Якоби $J \in \mathbb{R}^{(6 \times 6)}$. При работе вблизи сингулярных конфигураций применяется регуляризованное псевдообратное разложение с демпфированием по методу Левенберга–Марквардта, что исключает скачки суставных скоростей при малом детерминанте Якоби.

Точность позиционирования рабочего органа составляет ± 2 мм по положению и $\pm 0,5^\circ$ по ориентации в рабочем объёме манипулятора. Контроль нагрузок на суставах осуществляется посредством встроенных тензодатчиков с частотой опроса 1 кГц; предельный момент на каждом суставе ограничивается программным образом исходя из биомеханических ограничений взаимодействия с человеком.

Контакт манипулятора с человеком предъявляет особые требования к ограничению усилий и плавности движения. Для их выполнения применяется импедансное (или адмитансное) управление, впервые формализованное Хоганом [5] и описываемое виртуальной динамической моделью:

$$M \cdot \Delta \ddot{x} + B \cdot \Delta \dot{x} + K \cdot \Delta x = F,$$

где M , B , K — параметры виртуальной механической системы (инерция, демпфирование, жёсткость), F — измеренная контактная сила, Δx — отклонение от желаемой траектории. Параметры M , B , K настраиваются адаптивно в зависимости от фазы операции: при первичном захвате применяются высокое демпфирование и низкая жёсткость ($B = 200$ Н·с/м, $K = 50$ Н/м), при транспортировке жёсткость возрастает ($K = 500$ Н/м) для поддержания стабильной позы пострадавшего.

Такой подход обеспечивает адаптивное поведение манипулятора при взаимодействии с объектами переменной жёсткости и исключает травматизацию пострадавшего при случайных столкновениях. Максимальная контактная сила в нормальном направлении ограничивается на уровне 50 Н; при превышении порога система автоматически переходит в режим отведения (compliant retreat).

Дополнительно реализован алгоритм оценки состояния сознания пострадавшего на основе анализа биосигналов (пульсоксиметрия, термография кожи). При выявлении признаков травматического шока система автоматически корректирует параметры перемещения: снижает скорость транспортировки и уведомляет оператора о необходимости медицинского вмешательства.

Выбор манипулятора типа «рука» с шестью степенями свободы (конфигурация R–R–R–R–R–R) обусловлен рядом функциональных преимуществ по сравнению со специализированными захватными устройствами [4]:

- 1) кинематическая избыточность, позволяющая выполнять сложные операции в ограниченном пространстве без переориентации всей платформы — рабочий объём манипулятора ($\approx 1,2$ м³ при длине звеньев 0,45/0,4/0,35 м) перекрывает типичные габариты тела взрослого человека;
- 2) универсальность — возможность реализации захвата, поддержки, зондирования и удержания без смены рабочего инструмента благодаря адаптивному торцевому эффектору с управляемым давлением на каждый из четырёх пальцев;
- 3) развитая система обратной связи по усилию и положению, критически важная при работе с людьми — шестиосевые силомоментные датчики расположены на запястье и каждом дистальном суставе;
- 4) масштабируемость алгоритмов управления с перспективой интеграции методов машинного обучения — интерфейс ROS 2 Action позволяет подключать внешние политики на основе обучения с подкреплением (RL) без изменения базовой кинематической библиотеки.

В рамках предложенной архитектуры манипулятор выполняет пять ключевых ролей:

- разведка и зондирование среды — манипулятор позиционирует дальномерный щуп и тепловизионную камеру в труднодоступных полостях завала для поиска пострадавших;
- первичный контакт с пострадавшим — деликатное касание для верификации состояния сознания и биометрического сканирования;
- освобождение из завалов — управляемое перемещение фрагментов конструкций с контролем нагрузок во избежание вторичного обрушения;
- позиционирование и транспортировка — обхват торса и нижних конечностей с соблюдением анатомически допустимых углов сгибания суставов;
- стабилизация корпуса пострадавшего в ходе движения платформы — активная компенсация вибраций и наклонов на основе данных IMU с частотой обновления 500 Гц.

Сравнительный анализ с альтернативными решениями показывает, что шарнирный манипулятор с шестью степенями свободы превосходит специализированные стреловые захваты по точности позиционирования (± 2 мм против ± 10 – 15 мм) и универсальности, уступая им по максимальной грузоподъёмности (до 30 кг против 100 кг и более). Однако для задач эвакуации пострадавших массой до 120 кг целесообразно использование двух кооперирующих манипуляторов, работающих в режиме синхронизированного управления, что является предметом дальнейших исследований.

Алгоритм тактического управления АСЭ реализуется в виде замкнутого цикла восприятие–анализ–действие (perception–reasoning–action) и включает последовательно шесть фаз:

1) Проникновение в зону ЧС (фаза Альфа→Бета): платформа движется по предварительно построенному маршруту, манипулятор находится в сложенном положении и используется как балансировочный элемент при преодолении препятствий. Принятие решения о входе основывается на картографических данных и оценке риска обрушения по алгоритму структурного анализа завала.

2) Тактическая разведка: манипулятор осуществляет зондирование завалов, тепловизор сканирует полости в поисках биологических тепловых сигнатур, акустический модуль фиксирует голосовые сигналы. Построенная карта присутствия пострадавших передаётся на тактический уровень для приоритизации целей.

3) Первичное взаимодействие: переход в режим высокоточной работы с активацией импедансного управления. Биодатчики фиксируют пульс и температуру тела; нейронная сеть оценивает вероятность травмы позвоночника, что определяет допустимую кинематику последующего перемещения.

4) Освобождение из ограниченного пространства: поэтапное удаление блокирующих фрагментов конструкции с непрерывным контролем суммарных нагрузок на завал во избежание цепного обрушения. Каждый шаг освобождения подтверждается сенсором вибраций.

5) Позиционирование: захват пострадавшего с анатомически допустимой конфигурацией, учитывающей рост, массу тела и выявленные травмы. Хватка верифицируется по распределению давления на поверхности торцевого эффектора.

6) Транспортировка в безопасную зону: движение по кратчайшему маршруту в зону Гамма с непрерывной стабилизацией положения пострадавшего и мониторингом витальных показателей. По прибытии в зону Гамма система инициирует передачу пострадавшего медицинскому персоналу.

Алгоритм предусматривает обработку нештатных ситуаций: при угрозе вторичного обрушения (превышение порога сейсмического датчика) система автоматически переходит в режим стабилизации, приостанавливая эвакуационные действия до стабилизации обстановки. При длительном отсутствии связи (более 120 с) тактический уровень активирует предзагруженную стратегию возврата на базовую позицию.

Предложенная трёхуровневая архитектура АСЭ обеспечивает системное решение задачи автоматизации эвакуации пострадавших в условиях ЧС. Разделение функций на физический, координационный и тактический уровни формирует основу для гибкого и устойчивого функционирования системы с гарантированной деградационной устойчивостью при отказе отдельных подсистем. Манипулятор с шестью степенями свободы в сочетании с навигационной подсистемой на базе SLAM и алгоритмами импедансного управления позволяет реализовать все этапы эвакуации при минимальном риске для пострадавшего.

К основным научным и техническим результатам работы относятся: формализация трёхзонной модели тактического зонирования ЧС, постановка и решение задачи адаптивного импедансного управления с переменными параметрами по фазам эвакуации, а также обоснование

мультимодального подхода к обнаружению пострадавших с байесовским слиянием сигналов трёх независимых каналов.

Дальнейшие исследования предполагают: разработку детальной кинематической модели манипулятора с численной верификацией в среде MATLAB/Robotics Toolbox, проведение симуляционных экспериментов в среде ROS 2/Gazebo Fortress с фотореалистичными сценами разрушений, исследование применимости методов обучения с подкреплением (SAC, PPO) для выработки политики захвата пострадавших, а также создание физического прототипа для натуральных испытаний на полигоне ЧС.

Список литературы

1. Шойгу С.К. и др. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. М.: Деловой экспресс, 2003. 408 с.
2. Thunderhead Engineering. Pathfinder Technical Reference. Manhattan, KS, 2023.
3. Siegwart R., Nourbakhsh I.R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. MIT Press, 2011.
4. Siciliano B. et al. Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer, 2009.
5. Hogan N. Impedance Control: An Approach to Manipulation // ASME J. Dyn. Syst. Meas. Control. 1985. Vol. 107. P. 1–24.
6. Grisetti G. et al. A Tutorial on Graph-Based SLAM // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2010. Vol. 2(4). P. 31–43.
7. Quigley M. et al. ROS: An Open-Source Robot Operating System // ICRA Workshop on Open Source Software. 2009.
8. Boston Dynamics. Spot Robot Technical Documentation. 2023. URL: <https://www.bostondynamics.com/spot>.
9. Koenig N., Howard A. Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator // Proc. IEEE/RSJ IROS. 2004. P. 2149–2154.
10. Schulman J. et al. Proximal Policy Optimization Algorithms // arXiv:1707.06347. 2017.

References

1. Shoigu S.K. et al. Protection of the Population and Territories in Emergency Situations. M.: Business Express, 2003. 408 p.
2. Thunderhead Engineering. Pathfinder Technical Handbook. Manhattan, Kansas, 2023.
3. Zigwart R., Nurbakhsh I.R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. MIT Press, 2011.
4. Siciliano B. et al. Robotics: Modeling, Planning, and Control. Springer, 2009.
5. Hogan N. Impedance Control: A Manipulation Approach // ASME J. Dyn. System. Measurements. Control. 1985. Vol. 107. P. 1-24.
6. Grisetti G. et al. Tutorial on Graph-Based SLAM // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2010. Vol. 2(4). Pp. 31-43.
7. Quigley M. et al. ROS: An Open Source Robot Operating System // ICRA Workshop on Open Source Software. 2009.
8. Boston Dynamics. Technical Documentation for the Spot Robot. 2023. URL: <https://www.bostondynamics.com/spot>.
9. Kenig N., Howard A. Design paradigms and use

УДК 681.5

Н.А. Солонуха, Т.Л. Егорова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (MOTION CONTROL) В ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ: ИНЖИНИРИНГ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПРИВодОВ**

Аннотация. В статье рассмотрены системы точного позиционирования и управления движением (Motion Control) как сложные объекты управления в дискретной автоматизации. Проведен анализ современных научных публикаций, посвященных построению высокоточных приводов, методам управления и архитектуре систем. Показано, что современные исследования направлены на повышение точности, устойчивости и энергоэффективности приводов за счет применения цифровых технологий, предиктивного и адаптивного управления. Особое внимание уделено вопросам нелинейности, возмущающих воздействий и необходимости комплексного подхода к инжинирингу систем Motion Control.

Ключевые слова: Motion Control, сервопривод, точное позиционирование, автоматизация, управление движением, электропривод, адаптивное управление

Системы Motion Control в последние десятилетия стали одним из ключевых элементов дискретной автоматизации, определяющих точность, производительность и надежность технологических процессов. Их широкое распространение связано с развитием станкостроения, робототехники и микроэлектроники, где требуется высокая повторяемость и минимальные погрешности позиционирования. Анализ научных публикаций последних лет показывает устойчивую тенденцию к усложнению этих систем. Если ранее управление приводами ограничивалось простыми регуляторами, то современные решения представляют собой сложные киберфизические системы с цифровыми контроллерами и интеллектуальными алгоритмами [1, 2]. В обзорных работах отмечается, что переход к цифровому управлению позволил существенно повысить точность и динамические характеристики сервосистем, однако одновременно увеличил требования к моделированию и настройке [2]. Таким образом, Motion Control следует рассматривать как интегрированную систему, объединяющую механику, электронику и алгоритмы управления. Дополнительно следует отметить, что развитие вычислительных мощностей и встроенных систем управления привело к появлению распределённых архитектур управления движением. В таких системах отдельные узлы (приводы, датчики, контроллеры) обладают собственной вычислительной логикой и взаимодействуют через промышленные сети. Это позволяет повысить масштабируемость и гибкость систем, особенно в условиях гибкого производства и быстрой перенастройки технологических линий.

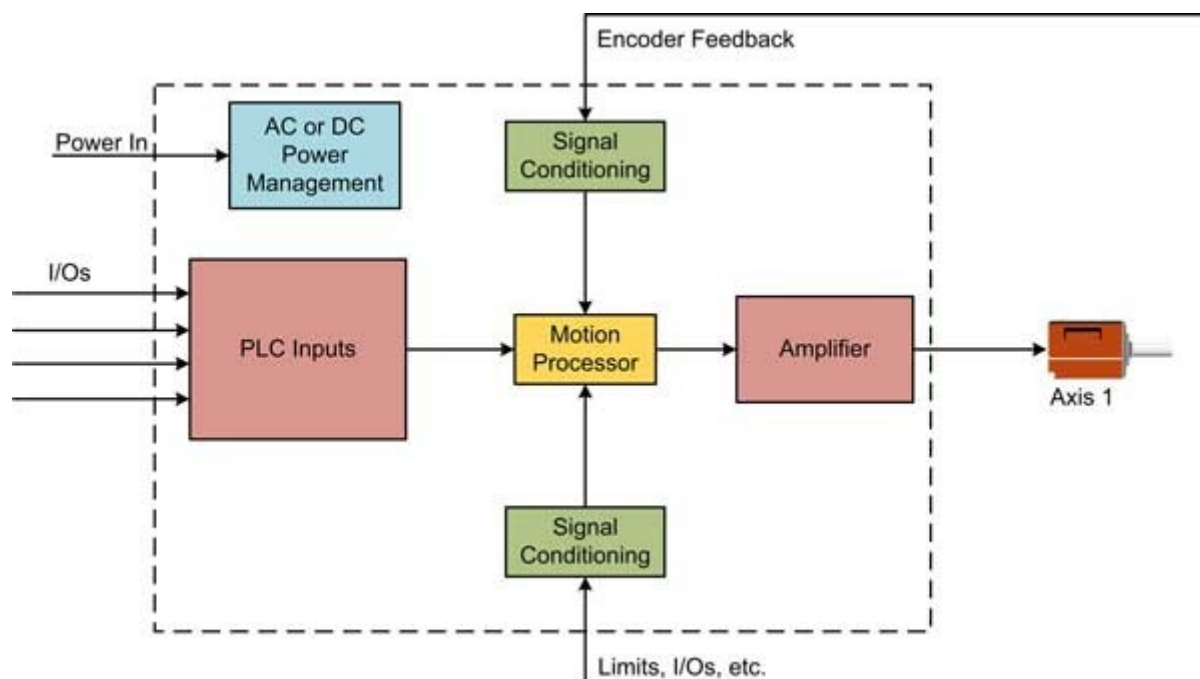


Рисунок 1 — Пример системы позиционирования движения

С точки зрения теории автоматического управления система Motion Control представляет собой многосвязный динамический объект с распределенными параметрами и выраженной нелинейностью. Ее поведение определяется не только характеристиками двигателя, но и параметрами механической нагрузки [7]. Современные исследования показывают, что ключевой особенностью таких систем является каскадная структура управления, включающая контуры тока, скорости и положения [5]. Наличие нескольких вложенных контуров позволяет обеспечить устойчивость системы при высоких требованиях к точности, однако усложняет процесс синтеза регуляторов. Дополнительной сложностью является влияние возмущающих факторов, включая изменение нагрузки, температурные эффекты и нелинейности трения. В ряде работ отмечается, что именно внешние возмущения являются основной причиной снижения точности позиционирования [3]. В последние годы активно исследуются методы наблюдателей состояния (state observers), позволяющие оценивать неизмеряемые параметры системы в реальном времени. Применение таких методов, включая наблюдатели Калмана и расширенные нелинейные наблюдатели, позволяет существенно повысить точность управления при наличии неопределенностей. Таким образом, Motion Control представляет собой сложный нелинейный объект управления, требующий применения современных методов теории управления, включая робастные и нелинейные подходы.

Выбор типа привода является определяющим фактором при проектировании системы управления движением. Наиболее распространенными являются электрические сервоприводы, обеспечивающие высокую точность и широкий диапазон регулирования скорости [4]. Анализ научных публикаций показывает, что в последние годы наблюдается рост применения синхронных двигателей с постоянными магнитами, которые обладают высоким КПД и улучшенными динамическими характеристиками [2]. Дополнительно следует отметить, что развитие силовой электроники, в частности широкозонных полупроводников (SiC и GaN), позволило повысить эффективность преобразователей энергии, снизить потери и увеличить частоту коммутации. Это, в свою очередь, улучшает динамику систем Motion Control и уменьшает уровень электромагнитных помех. В сравнительных исследованиях отмечается преимущество синхронных двигателей по точности управления моментом. Шаговые двигатели сохраняют актуальность благодаря простоте управления, однако их применение ограничено из-за резонансных явлений и меньшей динамики [4]. В то же время линейные двигатели и прямые приводы позволяют исключить механические передачи и снизить влияние люфтов, что подтверждается рядом современных исследований [1]. Также растёт интерес к гибридным приводам и системам с комбинированной кинематикой, где используются как вращательные, так и линейные исполнительные механизмы. Это особенно актуально для высокоточных станков и аддитивных технологий.

Современные системы Motion Control имеют сложную архитектуру, включающую несколько уровней управления и развитую систему обратной связи. В типовой конфигурации используется каскадная структура, в которой внутренние контуры обеспечивают быстрое регулирование тока и скорости, а внешний контур отвечает за позиционирование [5]. В научной литературе отмечается, что использование цифровых контроллеров позволило реализовать более сложные алгоритмы управления и повысить точность регулирования. Применение DSP, FPGA и PLC обеспечивает обработку данных в реальном времени и интеграцию с промышленными сетями, такими как EtherCAT, PROFINET и CANopen. Эти сети обеспечивают детерминированный обмен данными с минимальными задержками, что критически важно для синхронизации приводов. Особое внимание уделяется датчикам обратной связи. Современные энкодеры (оптические, магнитные, инкрементальные и абсолютные) обладают высоким разрешением и устойчивостью к помехам. В последние годы активно развиваются бездатчиковые (sensorless) методы управления, позволяющие оценивать положение и скорость ротора без использования физических датчиков, что снижает стоимость и повышает надежность системы.

Методы управления в системах Motion Control претерпели значительную эволюцию. Классические ПИД-регуляторы остаются широко используемыми благодаря своей простоте и универсальности, однако современные системы дополняются более сложными алгоритмами [7]. В научных публикациях отмечается широкое распространение векторного управления (FOC), которое обеспечивает независимое управление моментом и магнитным потоком двигателя [2]. Этот метод является базовым для современных сервоприводов. В дополнение к нему активно используется прямое управление моментом (DTC), обеспечивающее высокую быстродействие. Перспективным направлением является предиктивное управление (MPC), позволяющее учитывать ограничения системы и прогнозировать ее поведение на заданный горизонт времени. Такие методы особенно эффективны в многомерных системах и при наличии ограничений по току и напряжению. Также активно исследуются адаптивные методы управления, способные компенсировать изменение параметров системы [3]. Интеллектуальные методы, включая нейронные сети, нечеткую логику и методы машинного обучения, демонстрируют высокую эффективность при работе с нелинейными объектами. В частности, нейросетевые регуляторы позволяют аппроксимировать сложные нелинейные зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации. Отдельного внимания заслуживает использование методов обучения с подкреплением (reinforcement learning), которые начинают применяться для оптимизации управления движением в робототехнике и автономных системах.

Несмотря на высокий уровень развития технологий, системы Motion Control сталкиваются с рядом ограничений. Одной из ключевых проблем является наличие нелинейностей, связанных с трением, люфтами

и упругими деформациями [3]. В научных исследованиях подчеркивается, что даже незначительные механические дефекты могут существенно снизить точность позиционирования. Особую сложность представляют резонансные явления, возникающие в механических системах [4]. Для их подавления применяются методы активного демпфирования и фильтрации, включая notch-фильтры и адаптивные фильтры. Также существенное влияние оказывают задержки в системе управления, обусловленные вычислительными процессами и передачей данных по сети [5]. Для компенсации задержек применяются методы прогнозирования и специальные алгоритмы синхронизации. Дополнительно следует отметить проблему энергетической эффективности. Современные исследования направлены на снижение энергопотребления систем Motion Control за счёт оптимизации траекторий движения, использования рекуперации энергии и интеллектуального управления режимами работы.

Анализ публикаций последних лет показывает, что развитие систем Motion Control идет по пути повышения интеллектуальности и интеграции с цифровыми технологиями. Одним из ключевых направлений является внедрение цифровых двойников, позволяющих моделировать систему в реальном времени [6]. Это позволяет проводить виртуальную наладку, прогнозировать поведение системы и снижать время ввода оборудования в эксплуатацию. Другим важным направлением является интеграция в концепцию Industry 4.0, предполагающую объединение оборудования в единую информационную среду [6]. В рамках этой концепции системы Motion Control становятся частью более широкой экосистемы, включающей системы управления производством (MES) и облачные сервисы анализа данных. Также наблюдается рост интереса к многодвигательным системам, в которых требуется координация нескольких приводов. В научных обзорах подчеркивается сложность синхронизации таких систем и необходимость применения специализированных алгоритмов управления, включая методы мастер-слейв и распределённого управления. Перспективным направлением является использование технологий искусственного интеллекта для диагностики и предиктивного обслуживания. Анализ вибраций, токов и других параметров позволяет выявлять неисправности на ранних стадиях и предотвращать аварии.

Значительный вклад в развитие теории и практики систем управления движением внесли отечественные исследователи, чьи работы охватывают широкий спектр задач — от фундаментальной теории управления до прикладных решений в электроприводе, робототехнике и мехатронных системах. Анализ их публикаций показывает, что российская научная школа традиционно сильна в области математического моделирования, оптимального управления и синтеза сложных динамических систем. Одним из ключевых представителей отечественной школы является К.А. Пупков, чьи работы заложили основы алгоритмического обеспечения управляющих систем. В его трудах, посвящённых автоматизации научного эксперимента и разработке математического обеспечения управляющих систем, рассматриваются вопросы построения вычислительных структур и алгоритмов управления сложными объектами. Особое внимание Пупков уделял интеграции вычислительных методов и управления в реальном времени, что в дальнейшем стало основой для разработки современных цифровых систем Motion Control. Его работы также затрагивают вопросы человеко-машинного взаимодействия, что особенно актуально для операторских систем и интеллектуальных интерфейсов. Существенный вклад в развитие теории управления многоприводными системами внес В.В. Смирнов. В его монографии, посвящённой управлению оборудованием с параллельными приводами, рассматриваются алгоритмы синхронизации и координации движения нескольких исполнительных механизмов. Данные исследования имеют важное значение для современных систем Motion Control, особенно в контексте многокоординатных станков и роботизированных комплексов. Смирнов предлагает методы компенсации ошибок, возникающих при взаимодействии приводов, а также рассматривает вопросы устойчивости и точности в распределённых системах управления. В области планирования движения и робототехники значительный вклад внесли Ю.Н. Казаков и его соавторы. В их обзорной работе по современным методам планирования движения представлен анализ алгоритмов, применяемых в робототехнических системах, включая методы на основе выборки и оптимизации. Авторы рассматривают такие подходы, как RRT и его модификации, а также методы, основанные на принципе максимума Понтрягина.

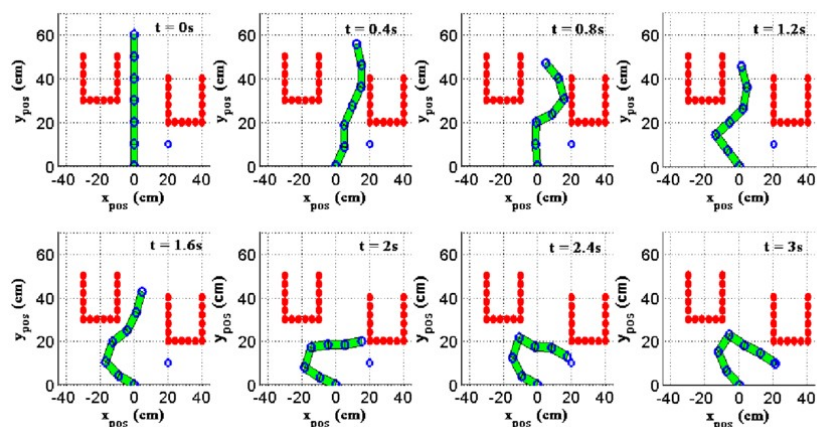


Рисунок 2 — Графическое изображение плана движения манипулятора в среде с множеством препятствий, созданное с применением RRT подхода.

Эти исследования важны для систем Motion Control, поскольку планирование траектории является неотъемлемой частью управления движением, особенно в условиях ограничений и динамических препятствий. Интерес представляет также работа Ю.Н. Казакова в области управления динамическими системами с использованием интеллектуальных методов. В частности, в исследовании, посвящённом полуактивному управлению в подшипниковых системах, используется аппроксимация на основе нейронных сетей для моделирования поведения ротора. Это демонстрирует переход отечественных исследований к использованию методов искусственного интеллекта для решения задач управления движением. В области электроприводов и векторного управления следует отметить исследования, связанные с оптимизацией управления электромеханическими системами. В частности, работы, посвящённые векторному управлению электроприводами с переменными параметрами, рассматривают применение LQR-оптимизации и современных методов синтеза регуляторов. Эти исследования направлены на повышение энергоэффективности и устойчивости систем Motion Control. Отдельного внимания заслуживает вклад В.А. Квасникова (и близких по тематике исследователей, работающих в области электропривода и мехатроники), чьи работы посвящены анализу динамики электромеханических систем и синтезу систем управления приводами. В отечественной научной школе данное направление традиционно связано с разработкой методов компенсации нелинейностей и повышением точности позиционирования. В контексте развития интеллектуальных систем управления следует отметить исследования, направленные на применение методов машинного обучения и адаптивного управления. Современные публикации российских авторов демонстрируют рост интереса к использованию нейросетевых алгоритмов для управления движением, включая задачи управления беспилотными летательными аппаратами и роботами. Эти работы подтверждают тенденцию к интеграции классической теории управления с методами искусственного интеллекта. Особое место занимает Я. Корен (Jacob Koren) — исследователь, широко известный в области прецизионного управления и станкостроения. Несмотря на международный характер его научной деятельности, его работы активно используются и цитируются в русскоязычной научной среде. Корен является одним из основателей теории точности станков и систем компенсации ошибок. В его исследованиях рассматриваются методы повышения точности позиционирования за счёт компенсации геометрических и динамических погрешностей. Эти подходы лежат в основе современных высокоточных систем Motion Control, применяемых в станках с ЧПУ и измерительных системах. В работах отечественных исследователей также активно рассматриваются вопросы повышения точности за счёт компенсации ошибок и идентификации параметров системы. Например, исследования в области прецизионного управления линейными приводами показывают, что учет структурных и кинематических ошибок позволяет существенно повысить точность позиционирования. Это направление тесно связано с работами Корена и демонстрирует преемственность научных идей. Дополнительно следует отметить вклад российских научных школ, представленных ведущими университетами и научными центрами (МГТУ им. Баумана, МЭИ, ИПУ РАН и др.), где ведутся исследования в области мехатроники, робототехники и интеллектуального управления. В рамках этих школ активно развиваются методы адаптивного и робастного управления, а также цифровые технологии моделирования и оптимизации.

Проведенный анализ показывает, что системы Motion Control являются сложными объектами управления, требующими комплексного подхода. Современные исследования подтверждают необходимость интеграции методов теории управления, цифровых технологий и инженерных решений. Перспективы развития связаны с внедрением адаптивных, предиктивных и интеллектуальных методов управления, а также с дальнейшей цифровизацией промышленных систем. Ожидается, что в ближайшие годы ключевыми факторами развития станут искусственный интеллект, распределённые вычисления, высокоскоростные сети и новые материалы в электротехнике. Таким образом, Motion Control продолжает эволюционировать от

классических систем управления приводами к интеллектуальным киберфизическим системам, являющимся основой современной промышленной автоматизации.

Список литературы

1. Болтон У. Системы автоматического управления. – М.: ДМК Пресс, 2021.
2. Квасников В. А. Электропривод и системы управления. – СПб.: Лань, 2022.
3. Казаков Ю. Н. Сервоуправление и прецизионные приводы. – М.: Машиностроение, 2023.
4. Иванов Д. С. Прецизионные электромеханические системы // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 3. – С. 15–22.
5. Пупков К. А., Егоров А. И. Теория автоматического управления. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.
6. Смирнов В. В., Кузнецов П. А. Многодвигательные системы и их управление // Электротехника. – 2024. – № 7. – С. 45–52.
7. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. – М.: Лаборатория знаний, 2021.
8. Корен Я. Компьютерное управление производственными системами / пер. с англ. – М.: Техносфера, 2022.

References

1. Bolton U. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya. – M.: DMK Press, 2021.
2. Kvasnikov V. A. Elektroprivod i sistemy upravleniya. – SPb.: Lan', 2022.
3. Kazakov Yu. N. Servoupravlenie i pretsizionnye privody. – M.: Mashinostroenie, 2023.
4. Ivanov D. S. Pretsizionnye elektromekhanicheskie sistemy // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2025. – No. 3. – Pp. 15–22.
5. Pupkov K. A., Egorov A. I. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. – M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2020.
6. Smirnov V. V., Kuznetsov P. A. Mnogodvigatelnye sistemy i ikh upravlenie // Elektrotehnika. – 2024. – No. 7. – Pp. 45–52.
7. Dorf R., Bishop R. Sovremennye sistemy upravleniya / per. s angl. – M.: Laboratoriya znaniy, 2021.
8. Koren Ya. Komp'yuternoe upravlenie proizvodstvennymi sistemami / per. s angl. – M.: Tekhnosfera, 2022.

УДК 621.01

А.Г. Черданцев, А. Б. КикинСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**О ПРИМЕНЕНИИ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ВЫСОКИХ КЛАССОВ ДЛЯ ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

© А. Г. Черданцев, А. Б. Кикин, 2026

В статье рассмотрены особенности применения шестизвенных рычажных механизмов высоких классов в приводах рабочих органов технологических машин. В качестве структурных схем анализируются механизмы Стефенсон III и Стефенсон II. Показано, что одна и та же кинематическая схема при различном выборе входного звена может интерпретироваться как диадный механизм, либо как механизм высокого класса. Отмечено, что для диадных интерпретаций анализ обычно сводится к решению квадратных уравнений и обеспечивается однозначное распознавание сборки, связанное со знаком перед радикалом; тогда как для механизмов высоких классов анализ приводит к уравнению шестой степени и возникает проблема надежной идентификации сборок.

Ключевые слова: шестизвенный рычажный механизм, механизм высокого класса, механизм Стефенсон III, механизм Стефенсон II, трехповодковая группа, сборка.

A.G. Cherdantsev, A. B. KikinSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**ON THE APPLICATION OF HIGH-CLASS LINKAGE MECHANISMS TO DRIVE THE WORKING BODIES OF TECHNOLOGICAL MACHINES**

The paper considers the specific features of applying high-class six-bar linkages in the drive systems of the working members of technological machines. Stephenson III and Stephenson II mechanisms are analysed as the structural schemes under consideration. It is shown that the same kinematic scheme, depending on the choice of the input link, can be interpreted either as a dyad mechanism or as a high-class mechanism. It is noted that, for dyad interpretations, the analysis is usually reduced to solving quadratic equations, and unambiguous assembly-mode identification is ensured by the sign before the radical; whereas for high-class mechanisms the analysis leads to a sixth-degree equation, and the problem of reliable assembly-mode identification arises.

Keywords: six-bar linkage, high-class linkage, Stephenson III mechanism, Stephenson II mechanism, group with three links, assembly.

Практический интерес к шестизвенным рычажным механизмам обусловлен возможностью формировать сложный закон движения выходного звена при сравнительно простой конструктивной реализации привода. В отличие от кулачковых систем, такие механизмы позволяют получать требуемые кинематические эффекты за счёт рационального выбора структурной схемы и геометрических параметров звеньев. Это особенно важно для приводов рабочих органов технологических машин, где необходимо обеспечить выстой выходного звена в крайних или промежуточных положениях в соответствии с технологической циклограммой. Среди механизмов данного типа особый интерес представляют шестизвенные схемы Стефенсон III и Стефенсон II, поскольку их кинематические и структурные свойства существенно зависят от выбора входного звена, что делает актуальными задачи анализа таких механизмов с позиций как их функциональных возможностей, так и структурной классификации.

Шестизвенный механизм Стефенсон III может рассматриваться по-разному в зависимости от выбора входного звена. При одном выборе структура сводится к диадному шестизвенному шарнирному механизму (ШШМ-2) с присоединением выходной диады к шатуну базового четырехзвенника. При другом выборе та же схема интерпретируется как шестизвенный шарнирный механизм высокого класса с трехповодковой группой (ШШМ-3). Такой переход от одной трактовки к другой принципиален, поскольку меняет как процедуру анализа, так и характер задач синтеза.

Для схемы Стефенсон III (рис. 1) при выборе в качестве входного звена 1 или 3 механизм может трактоваться как механизм первого класса, состоящий из последовательно присоединяемых диад; в этом случае анализ положений сводится к решению квадратных уравнений, а признаки сборки оказываются однозначными, связанные со знаком перед радикалом. Если же входным принимается звено 5, структура соответствует механизму второго класса с трехповодковой группой, и задача определения положений существенно усложняется, приводя к уравнению шестой степени [1] и проблеме автоматической сортировки полученных решений, т.е. выбору необходимого решения из всех возможных. Именно отсутствие надежного определения сборок для таких случаев в значительной степени ограничивает более широкое применение подобных схем в прикладных задачах.

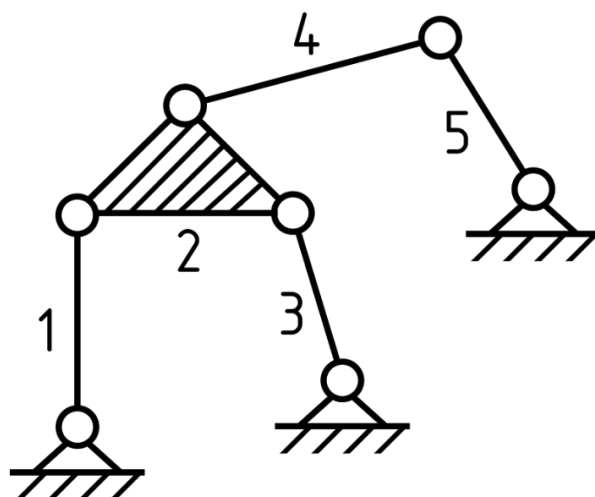


Рис. 1. Шестизвенный механизм Стефенсон III

Схема Стефенсон II (рис. 2) также допускает различные трактовки. В зависимости от выбора входного звена в ней может выделяться либо четырехзвенный замкнутый контур, для которого дальнейший анализ приводит к уравнению шестой степени, либо трехповодковая группа с двумя поводками, присоединенными к подвижному звену. В практическом смысле это означает, что уже на стадии анализа необходимо выбирать наиболее удобную форму представления механизма, так как от этого зависит вычислительная трудоемкость и возможность надежно различать сборки. При выборе в качестве входного звена 1 схема рассматривается как механизм третьего класса с группой четвертого класса, при выборе звена 5 – с трехповодковой группой с двумя подвижными поводками [1]. В любом случае анализ этого механизма приводит к уравнению шестой степени.

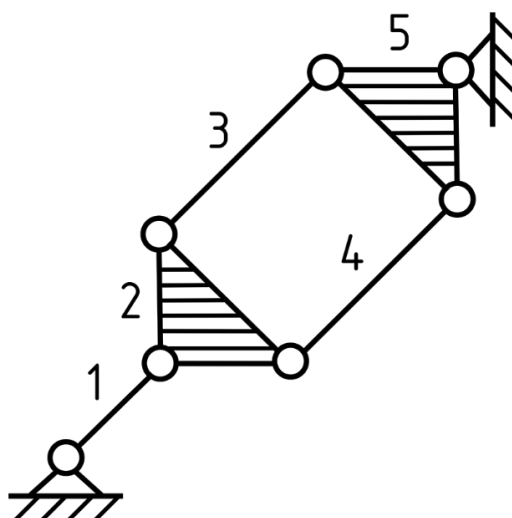


Рис. 2. Шестизвенный механизм Стефенсон II

Для механизма типа ШШМ-2 анализ положений сравнительно удобен, поскольку исследование последовательно присоединяемых диад обычно сводится к решению квадратных уравнений. Такая схема хорошо приспособлена как для численного расчета, так и для компьютерной реализации. Поэтому диадные механизмы в инженерной практике используются заметно чаще, чем механизмы высоких классов. Функциональные возможности данного механизма достаточно подробно исследованы [2].

Иная ситуация возникает для ШШМ-3, где задача определения положений трехповодковой группы приводит к определяющему уравнению шестой степени. Формально это означает наличие нескольких математически допустимых решений, из которых физически могут быть реализованы все сборки, однако не все они полезны и представляют интерес для привода рабочих органов машин. Часто возникают конфигурации, не обеспечивающие полный оборот входного звена. Обычно в технологических машинах используются механизмы, приводимые в движение кривошипами, следовательно, входное звено должно совершать полный оборот. Как правило, необходим только один закон движения выходного звена, соответствующий требованиям технологического процесса, но формальными методами сложно выделить из шести решений именно то, которое реализует требуемую циклограмму. Если все полученные решения представлены в форме графиков функции вида $\psi_i = \psi_i(\varphi)$, где $(i = 1, 2, \dots, 6)$, то визуально определить требуемый закон движения не являются проблемой. Однако автоматизировать этот процесс на стадии получения числовых решений уравнения шестой степени пока не представляется возможным. Надежная система определения и идентификации сборок для механизмов высоких классов до настоящего времени не разработана. Именно поэтому при анализе приходится не только решать уравнение, но и дополнительно отслеживать непрерывность движения, принадлежность решения требуемой ветви и соответствие получаемой конфигурации исходной геометрии механизма.

Из этого следует важный прикладной вывод: чем выше класс механизма, тем богаче потенциальная форма функции перемещения выходного звена, но тем сложнее процедура вычислительного сопровождения. Для приводов рабочих органов технологических машин данное обстоятельство имеет двойственный характер. С одной стороны, механизм высокого класса дает более широкие возможности согласования закона движения с технологической циклограммой. С другой стороны, возрастание числа возможных сборок и ветвей решения повышает требования к программным средствам анализа и синтеза.

Инженерный интерес к механизмам высоких классов подтверждается не только их теоретическими возможностями, но и наличием соответствующих практических решений. В частности, в немецком инженерном стандарте VDI 2727 [3] по конструкциям приводных рычажных механизмов ряд механизмов относится к механизмам высоких классов (4 механизма из 20).

В качестве примера рассмотрим подробнее механизм №47 типа ШШМ-3 из стандарта VDI 2727. Схема данного механизма представлена на рис. 3. Входное звено механизма A_0A , выходное – C_0C , BCK – треугольное звено, AK , B_0B , C_0C – поводки трехповодковой группы.

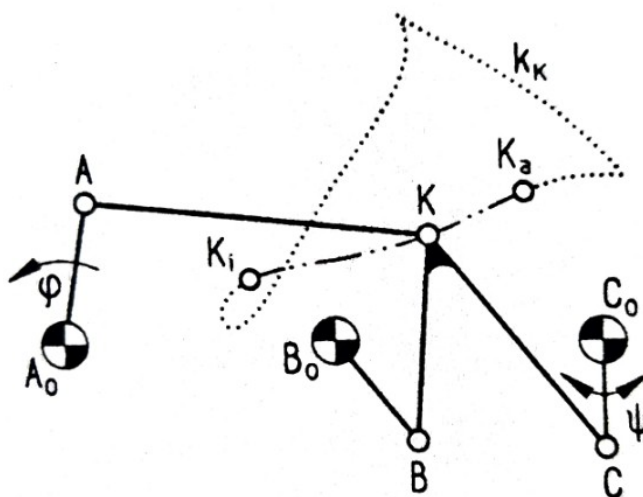


Рис. 3. Механизм №47 из стандарта VDI 2727

Как изложено в стандарте, данный механизм является плоским шестизвенным механизмом второго рода, в котором требуемый закон движения формируется за счёт кинематического взаимодействия нескольких звеньев и согласования их положений вблизи мёртвых точек. Эффект выстоя достигается за

счёт множественного кинематического сопряжения двух частных кинематических контуров (групп), один из которых подводит точку K по заданному участку траектории, а второй вблизи мёртвого положения обеспечивает формирование участка выстоя выходного звена. При этом выходное звено C_0C совершает качательное движение с полным углом качания $\psi_0 = 80^\circ$, а ширина участка выстоя по входному движению при принятом критерии точности составляет $\varphi_R \approx 46.5^\circ$, при допустимом относительном отклонении на участке выстоя $P = 1\%$.

На рис. 4 представлены результаты анализа механизма №47 (рис.3), выполненные по разработанной на кафедре АПП программе. По оси абсцисс отложен угол поворота входного звена, по оси ординат – угол поворота выходного звена. На графике приведены две кривые, при этом верхняя кривая соответствует требуемому движению механизма (размах 80°), а нижняя – второму полученному решению, которое должно быть отбраковано. Этот пример представляет интерес для теории и практики синтеза рычажных механизмов, поскольку показывает возможность получения сложного закона движения выходного звена конструктивно-кинематическими средствами, без введения дополнительных управляемых приводов.

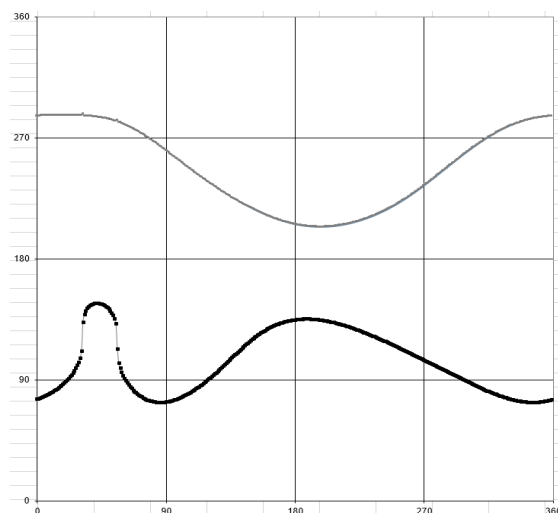


Рис. 4. Результаты анализа механизма №47 из стандарта VDI 2727

Рассмотренный пример также свидетельствует о том, что механизмы высоких классов уже находят применение в инженерной практике. Такой опыт особенно важен для современных технологических машин. В настоящее время конструктор стремится упростить систему управления и одновременно обеспечить сложный цикл движения рабочего органа. В этих условиях шестизвенные механизмы могут рассматриваться как средство кинематического программирования движения. Следовательно, расширение области их применения напрямую связано с разработкой надежных компьютерных методов анализа, способных корректно различать ветви решения и сохранять выбранную сборку на всем рабочем цикле.

Указанное свойство позволяет рассматривать возможность анализа механизма Стефенсон III для случая трехповодковой группы без прямого решения уравнения шестой степени. В качестве одного из возможных подходов может использоваться метод двойной инверсии. В общем виде идея состоит в том, чтобы вместо непосредственного поиска всех допустимых положений по заданному входному параметру проанализировать многозначную зависимость между входным и выходным перемещениями, а затем перейти к инверсированному представлению этой зависимости.

Зависимость вида $\beta_{\text{вых}} = f(\alpha_{\text{вх}})$ для одного и того же диапазона изменения входного угла может иметь несколько ветвей движения. При прямом рассмотрении такие ветви накладываются друг на друга и затрудняют идентификацию нужной сборки. Построение инверсированного графика позволяет выделить участки, на которых функция становится более удобной для анализа, а затем использовать непрерывность отображения для восстановления нужной кинематической ветви.

Таким образом, среди подходов к анализу трехповодковых групп метод двойной инверсии может рассматриваться не как полная замена аналитического решения, а как инструмент сопровождения вычислительной процедуры. Он полезен для предварительной оценки числа реально существующихборок в рабочем диапазоне и для визуального контроля поведения выходного звена. Особенно ценным это оказывается при компьютерном синтезе, когда необходимо многократно пересчитывать механизм для

разных наборов параметров и быстро выявлять конфигурации, не представляющие практического интереса.

Проведенное исследование показывает, что механизмы Стефенсон III и Стефенсон II представляют значительный интерес для приводов рабочих органов технологических машин. Их основное достоинство заключается в возможности формировать сложный закон движения, включая выстой, без применения кулачковых систем. Вместе с тем переход к механизмам высоких классов сопровождается усложнением анализа положений, увеличением числа возможных сборок и необходимостью выбора единственной физически реализуемой ветви решения.

Для диадных интерпретаций шестизвенных схем задача анализа остается сравнительно доступной и хорошо приспособленной к компьютерной реализации. Для механизмов с трехповодковыми группами требуется дальнейшая разработка методов идентификации сборок, сопровождения ветвей решения и структурного анализа в зависимости от выбора входного звена. В этом отношении перспективным направлением является сочетание классических методов кинематического анализа с дополнительными приемами, в частности с методом двойной инверсии. Именно развитие таких подходов может стать основой более широкого применения рычажных механизмов высоких классов в современных технологических машинах.

Список литературы

1. Пейсах Э. Е., Нестеров В. А. Система проектирования плоских рычажных механизмов / под ред. К. В. Фролова. М.: Машиностроение, 1988. 232 с.
2. Кикин А.Б., Калянова Л. И. Функциональные возможности плоских рычажных механизмов // Справочник. Инженерный журнал. 2017. № 5 (242). С. 8-15.
3. VDI 2727 Blatt 4. Konstruktionskataloge. Lösung von Bewegungsaufgaben mit Getrieben. Erzeugung von Schwingbewegungen mit Rast(en). Antrieb gleichsinnig drehend. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2000. 60 с.

References

1. Pejsah E. E., Nesterov V. A. Sistema proektirovaniya ploskih rychazhnyh mekhanizmov / pod red. K. V. Frolova. M.: Mashinostroenie, 1988. 232 pp. (in Rus.)
2. Kikin A.B., Kalayanova L. I. Funkcional'nye vozmozhnosti ploskih rychazhnyh mekhanizmov // Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. 2017. № 5 (242). 8-15 pp. (in Rus.)
3. VDI 2727 Blatt 4. Konstruktionskataloge. Lösung von Bewegungsaufgaben mit Getrieben. Erzeugung von Schwingbewegungen mit Rast(en). Antrieb gleichsinnig drehend. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2000. 60 pp.

УДК 004.7:681.5

Шубин Д.Э., Егорова Т.Л.Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ПРОМЫШЛЕННОМ ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ (IIOT)**

© Д.Э. Шубин, Т.Л. Егорова, 2026

Аннотация. В работе рассматривается проблема избыточности служебной информации при передаче коротких телеметрических сообщений в системах промышленного интернета вещей (IIoT), функционирующих в условиях узкополосных и нестабильных каналов связи. Проведен сравнительный анализ протоколов HTTP/REST, MQTT, CoAP и OPC UA с учетом структуры заголовков сетевого, транспортного и прикладного уровней, а также затрат на установку и поддержание соединения. Получены количественные оценки эффективности передачи данных для различных объемов полезной нагрузки (10–250 байт) и определена доля служебной информации в общем трафике. Показано, что при передаче ультракоротких телеметрических сообщений доля служебных данных может превышать 90%, а использование протоколов на базе UDP обеспечивает наибольшую эффективность передачи.

Ключевые слова: телеметрия, каналы связи, трафик, транспортные сессии, автономный IIoT-узел, нагрузка, эффективность

Shubin D.E., Egorova T.L.Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, Saint Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA TRANSMISSION PROTOCOLS REDUNDANCY IN THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIOT)**

Abstract. This paper addresses the issue of service information redundancy in the transmission of short telemetry messages in industrial Internet of Things (IIoT) systems operating in narrowband and unstable communication channels. A comparative analysis of HTTP/REST, MQTT, CoAP, and OPC UA protocols is conducted, taking into account the structure of network, transport, and application layer headers, as well as the costs of establishing and maintaining a connection. Quantitative assessments of data transfer efficiency are obtained for different payload sizes (10-250 bytes), and the proportion of service information in the overall traffic is determined. It is shown that when transmitting ultra-short telemetry messages, the share of service data can exceed 90%, and the use of UDP-based protocols provides the highest transmission efficiency.

Keywords: telemetry, communication channels, traffic, transport sessions, autonomous IIoT node, load, efficiency

В современных системах промышленного интернета вещей (IIoT) ключевой задачей является сбор телеметрических данных с удаленных объектов (например, мониторинг состояния фильтров газотурбинных установок). Особенностью таких систем является передача малых объемов полезной нагрузки – зачастую это одно или несколько значений типа float или int (4–16 байт) – через узкополосные и нестабильные каналы связи (NB-IoT, LoRaWAN, GSM/GPRS).

Традиционные протоколы прикладного уровня, заимствованные из веб-разработки (например, HTTP), изначально проектировались для передачи больших массивов данных в условиях стабильного соединения. При использовании их в IIoT возникает проблема «доминирования заголовков»: суммарный объем служебной информации на транспортном и прикладном уровнях в десятки раз превышает объем самих данных. Это приводит к нерациональному расходу трафика, увеличению времени работы радиомодуля и, как следствие, быстрому истощению автономных источников питания датчиков.

Основная проблема исследования заключается в количественном несоответствии между размером полезной нагрузки и общим объемом пакета при использовании различных стеков протоколов. Для оценки эффективности передачи данных введем показатель доли полезной нагрузки в общем трафике:

$$\eta = \frac{P}{V} = \frac{P}{P + O} \cdot 100\% \quad (1)$$

- P – объем полезной нагрузки (байты);
- V – общий объем переданных данных на проводе/в эфире (байты);
- O – суммарный объем служебной информации, включающий заголовки сетевого (IP), транспортного (TCP/UDP) и прикладного уровней.

Целью данной работы является сравнительный анализ четырех протоколов – HTTP/REST [1], MQTT [2], CoAP [3] и OPC UA [4] – для определения наиболее эффективного стека при передаче коротких телеметрических сообщений (10, 50 и 250 байт). В ходе исследования необходимо учесть не только «сухой» вес заголовков в установленном режиме, но и затраты на установку соединения и поддержание сессии в условиях нестабильного канала.

Основные технические особенности анализируемых протоколов сведены в таблицу 1 [1-4].

Таблица 1. Технические параметры протоколов

Протокол	Транспортный протокол (L4)	Кодирование	Управление сессией	Ключевой фактор избыточности
HTTP/1.1	TCP	Текстовое (ASCII)	Без сохранения состояния	Избыточные текстовые заголовки
MQTT	TCP	Бинарное	С сохранением состояния	Трафик Keep-alive и TCP-handshake
CoAP	UDP	Бинарное	Без сохранения состояния	Отсутствие транспортных хендшейков
OPC UA	TCP	Бинарное	С сохранением состояния	Сложная объектная модель и защита

- **HTTP/1.1:** Максимальный объем служебной информации обусловлен текстовым форматом заголовков. Даже при передаче 1 байта полезной нагрузки, размер прикладного заголовка составляет не менее 170–200 байт.

- **MQTT v3.1.1:** эффективен в стабильных сетях благодаря компактному бинарному кадру (от 2 байт). Однако на нестабильных каналах цена поддержания TCP-сессии и переподключений (120 байт на каждый цикл SYN/ACK) нивелирует выигрыш.

- **CoAP (RFC 7252):** оптимизирован для микроконтроллеров. Работа поверх UDP исключает затраты на установку соединения. Надежность обеспечивается подтверждениями на прикладном уровне с минимальным объемом служебной информации.

- **OPC UA (бинарный):** обладает наибольшей избыточностью среди бинарных протоколов из-за необходимости создания безопасного канала и передачи метаданных объектной модели.

Для анализа эффективности введем показатель η (доля полезной нагрузки в общем трафике):

В таблице 2 приведен расчет суммарного «веса» одного цикла передачи данных (запрос + подтверждение) в установленном режиме.

Таблица 2. Распределение служебной нагрузки по уровням (байты)

Уровень / Протокол	HTTP/1.1 (TCP)	MQTT (TCP)	CoAP (UDP)	OPC UA (TCP)
Сетевой (IP)	20 Б	20 Б	20 Б	20 Б
Транспортный (L4)	20 Б	20 Б	8 Б	20 Б
Прикладной (L7)	~180 Б	18 Б*	13 Б**	62 Б***
Суммарный объем служебной информации (O)	220 Б	58 Б	41 Б	102 Б

* MQTT: PUBLISH (Topic=8B, ID=2B) + PUBACK.

** CoAP: Confirmable (CON) + Piggybacked ACK.

*** OPC UA: Минимальный вариант SecureChannel + ServiceHeader.

На основе полученных данных рассчитана эффективность передачи для типичных IoT-нагрузок по формуле (1).

Таблица 3. Эффективность передачи η (%)

Полезная нагрузка (P)	HTTP/1.1	MQTT	CoAP	OPC UA
10 байт (Телеметрия)	4.3%	14.7%	19.6%	8.9%
50 байт	18.5%	46.3%	54.9%	32.8%
250 байт	53.2%	81.1%	85.9%	71.0%

Полученные результаты также представлены в виде графической зависимости (рис.1) и гистограммы

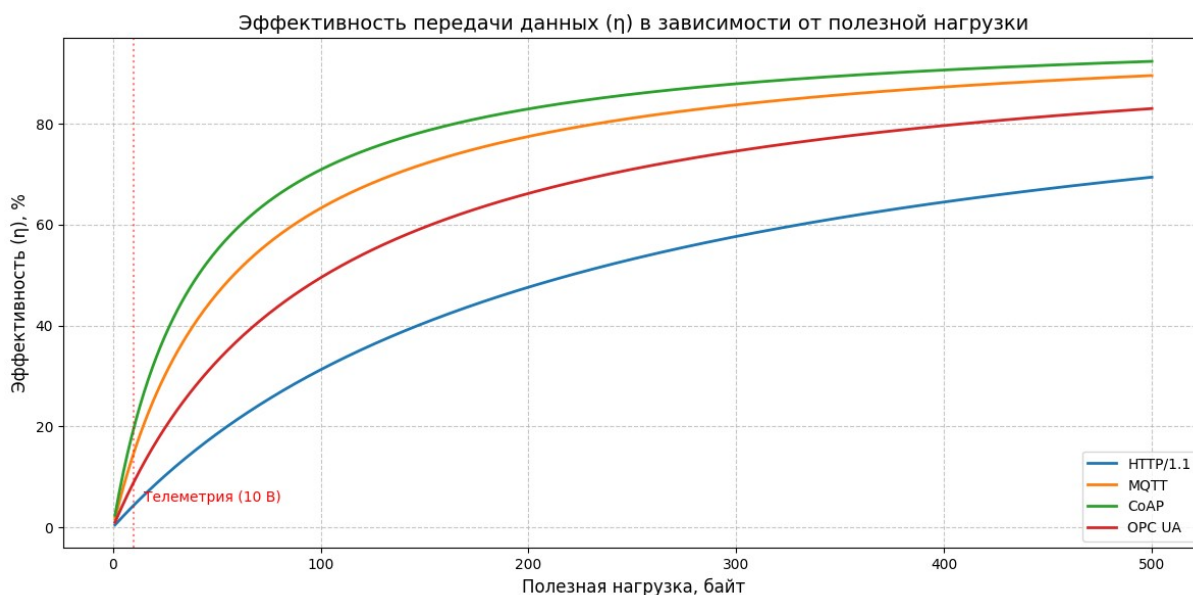


Рис.1. Эффективность передачи данных в зависимости от полезной нагрузки

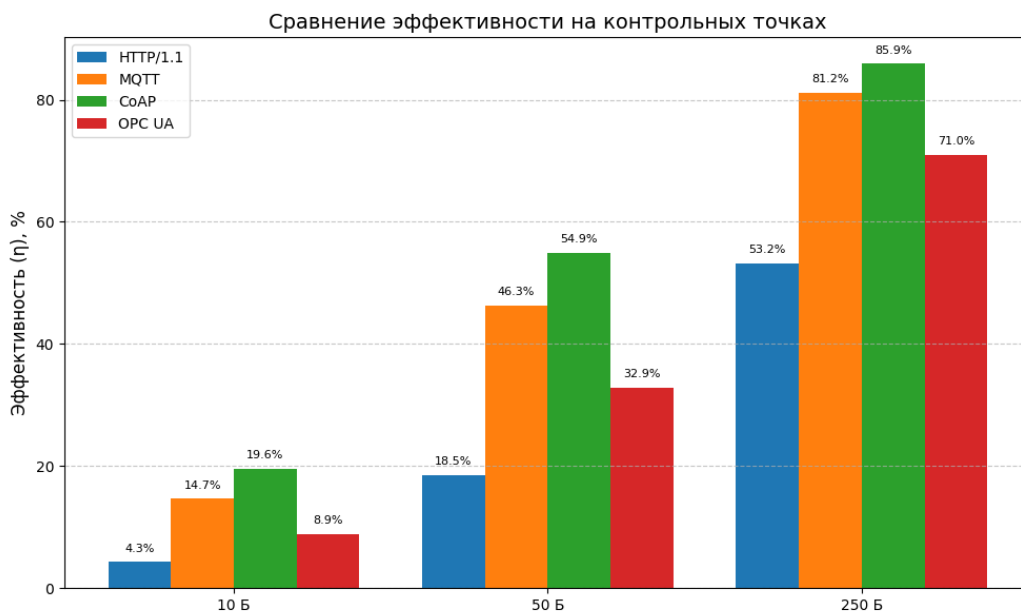


Рис.2 Сравнение эффективности на контрольных точках

В условиях частых разрывов связи (характерно в промышленных зонах) к суммарному объему служебной информации добавляются затраты на восстановление сессии:

1. TCP-рукопожатие (HTTP, MQTT, OPC UA): минимум 120 байт (3 пакета SYN/ACK) до начала передачи данных.
2. MQTT Connect: дополнительные ~80–100 байт на авторизацию и подписку.
3. UDP (CoAP): затраты на установку соединения отсутствуют.

Проведенный анализ выявил «парадокс эффективности» для малых объемов данных в IoT. При передаче телеметрии объемом 10 байт через протокол HTTP/1.1 на каждые 10 байт полезной нагрузки приходится около 500 байт служебной информации (учитывая TCP-рукопожатие и заголовки). Таким образом, 98 % трафика тратится на «мусор», не несущий полезной информации для системы.

CoAP демонстрирует преимущество над HTTP в 4.5–5.5 раз при малых нагрузках за счет отказа от TCP в пользу UDP и бинарной упаковки.

MQTT показывает сопоставимую с CoAP эффективность в установившемся режиме, однако его

соединения инициирует процедуру TCP-рукопожатия и повторную авторизацию на брокере, что в условиях частых разрывов и восстановления связи делает суммарный объем служебной информации сопоставимым с HTTP.

На основании проведенного сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Для систем сбора телеметрии с ультра-короткими пакетами (10–50 байт) использование HTTP/REST является технически необоснованным из-за избыточности более 1000%.
2. CoAP является оптимальным выбором для автономных датчиков на нестабильных каналах связи, обеспечивая минимальный расход трафика и времени работы радиомодуля за счет отсутствия транспортных сессий.
3. MQTT рекомендован для использования только в условиях относительно стабильного канала связи (Wi-Fi, Ethernet, стабильный 4G), где затраты на поддержание TCP-соединения окупаются удобством архитектуры Pub/Sub.
4. Использование OPC UA должно быть ограничено уровнем межмашинного взаимодействия внутри предприятия, так как его избыточность препятствует эффективной работе на батарейных конечных устройствах.

Практическое применение данных рекомендаций позволяет снизить нагрузку на узкополосные каналы связи и продлить срок службы автономных IIoT-узлов в 2–3 раза.

Список использованных источников

1. Филдинг Р., Решке Дж. Протокол передачи гипертекста (HTTP/1.1): синтаксис сообщений и маршрутизация // RFC 7230. IETF, 2014. 89 с.
2. Бэнкс А., Гупта Р. MQTT версии 3.1.1. Стандарт OASIS. OASIS, 2014.
3. Шелби З., Хартке К., Борман С. Протокол ограниченного применения (CoAP) // RFC 7252. IETF, 2014.
4. OPC Foundation. Объединенная архитектура OPC (OPC UA). Обзор IEC 62541 / официальные материалы. Фонд OPC.

References

1. Fielding R., Reschke J. Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Message Syntax and Routing // RFC 7230. IETF, 2014. 89 p.
2. Banks A., Gupta R. MQTT Version 3.1.1. OASIS Standard. OASIS, 2014.
3. Shelby Z., Hartke K., Bormann C. The Constrained Application Protocol (CoAP) // RFC 7252. IETF, 2014.
4. OPC Foundation. OPC Unified Architecture (OPC UA). IEC 62541 overview / official materials. OPC Foundation.

УДК 677.025

Н.Н. Голубцов, Н.И. Пригодина, Е.М. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗРАБОТКА ХУДОЖЕСТВЕННОГО ПРОЕКТА АВТОРСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРИКОТАЖА**

© Н. Н. Голубцов, Н. И. Пригодина, Е.М. Ермолаева

В данной статье описывается художественно-технологическая разработка коллекции трикотажных изделий, посвященной авторскому проекту – фэнтези комиксу “Четверка”. В статье исследуется актуальность темы, описывается анализ тенденций в мерче и трикотаже, на основе чего разрабатывается коллекция, состоящая из четырех комплектов одежды, каждый из которых посвящен отдельному персонажу комикса. Обосновано и представлено художественное решение объекта проектирования. Также в статье описаны этапы технологической разработки одного из изделий – платья с орнаментом, и предоставлены фотографии готового изделия на манекене.

Ключевые слова: комикс, персонаж, мерч, трикотаж, орнамент, жаккардовый орнамент, комплект одежды, платье

N. N. Golubtsov, N. I. Prigodina, E. M. ErmolaevaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DEVELOPMENT OF AN ARTISTIC PROJECT FOR ORIGINAL KNITWEAR DESIGNS**

This article describes the technological development of a knitwear collection dedicated to the original project – the fantasy comic book “The Four”. The article explores the relevance of the topic and analyzes trends in merch and knitwear, which served as the basis for the development of the collection, which consists of four clothing sets, each dedicated to a different character from the comic. The artistic solution for the designs is substantiated and presented. The article also describes the stages of technological development of one of the items – a dress with an ornament – and provides photographs of the finished product on a mannequin.

Keywords: comic book, character, merch, knitwear, ornament, jacquard pattern, clothing set, dress

В области проектирования продукции особую ценность приобретают небольшие и аутентичные бренды и проекты. Одним из эффективных приемов создания разнообразного ассортимента для молодых людей является выпуск тематической продукции, объединенной в единое целое под авторским началом. К этой продукции относятся предметы одежды и сувенирной продукции.

Известно, что современный потребитель ищет способы самовыражения своей индивидуальности. В этом поиске он может обращаться к различным образам, которые близки ему. Одним из образов может стать любимый персонаж, которым молодой человек или девушка восхищается и интересуется. Это позволяет молодому человеку почувствовать себя лучшей версией себя, ассоциируя себя с этим персонажем. В результате возникает интерес к образности дизайнерских орнаментов, которые разрабатываются с учетом характера и внешнего вида героя. Создается символика авторских проектов в одежде, пропагандируется и доносится до фанатов и покупателей [1].

Актуальность темы продиктована растущим интересом молодых людей к разным субкультурам и локальным проектам. Создание одежды с орнаментами по мотивам собственного персонажа позволяет решить две задачи: с одной стороны, это помогает фанатам больше погрузиться в исследование авторского проекта, выбрать одежду, похожую на их любимого героя, а с другой — создается уникальный продукт, способный конкурировать на рынке аналогичных товаров и привлекать новых покупателей.

Основной целью данной работы является художественно-техническая разработка проекта авторских изделий из трикотажа. Поставлены следующие задачи:

- Выполнить эскизную разработку объекта проектирования;
- Разработать орнаменты для объекта проектирования;
- Сделать обоснованный выбор структур переплетений;
- Разработать заправочные карты на вязание;
- Изготовить трикотажные полотна.

Главным источником вдохновения для объекта проектирования послужил авторский проект «Четверка». Это комикс в жанре фэнтези, находящийся на данный момент в процессе разработки. Комикс – это история, рассказанная в картинках. Произведение комикса создается на стыке литературы и изобразительного искусства. Первые произведения, наиболее похожие своим внешним видом на комиксы, были созданы в XIX веке. В XXI веке этот жанр приобрел новую волну популярности и стал как никогда востребованным за счет новых технологий, например новых растровых и графических редакторов. Они позволяют художникам создавать комиксы интересными и разнообразными с визуальной точки зрения. Сегодня каждый человек может придумать и разработать свой авторский комикс с придуманными героями. Действие может происходить как в нашем мире, так и в выдуманном. Несмотря на то, что проект еще полностью не реализован и не выпущен, он уже является актуальным источником вдохновения.

На данный момент на рынке одежды большую часть занимает сегмент продукции, посвященной различным проектам: фильмам, сериалам, играм и др. Различные элементы гардероба, худи или джемпер, выполненные в стилистике проекта, такого как Harry Potter или Games of Thrones, являются такими же популярными среди покупателей, как и одежда, продаваемая некоторыми известными брендами. Дата выхода проекта также не важна, он может сохранять актуальность среди своей аудитории даже спустя десятилетия, примером чего служит вселенная Harry Potter. Обусловлено это тем, что данные проекты – это новые бренды для покупателей. Эти проекты имеют свою собственную символику и идеи, которые аудитория хочет поддерживать и соответственно покупать [2].

Сейчас, в 2026 году, когда происходит активный упадок монокультуры, когда люди сплачиваются вокруг каких-то глобальных культурных событий или явлений, на смену приходят локальные культуры. Поэтому в последнее время число субкультур возрастает. Благодаря этому различные маленькие бренды, направленные на определенную субкультуру, или проекты, собирающие небольшую аудиторию, могут быть актуальными. Вместо попытки угодить большой аудитории, эти бренды и проекты выбирают свою небольшую, но лояльную аудиторию, которая будет поддерживать их на протяжении долгого времени [3].

Примером этого служит проект Hazbin Hotel – мультсериал, первая серия которого была выпущена 28 октября в 2019 году. Не смотря на то, что следующая серия проекта была выпущена 19 января в 2024 году, за пять лет проект не потерял свою аудиторию, она лишь выросла. Существование данного мультсериала стало возможным благодаря поддержке аудитории, в том числе и благодаря покупке продукции, посвященной этому проекту. Ситуация с проектом Hazbin Hotel показала, что монокультура потеряла свою силу в цифровом веке, что позволило даже маленьким проектам, которые находятся на стадии разработки, набрать свою аудиторию и стать актуальными. Выводом из этого служит то, что нынешнее общество позволяет разным проектам быть актуальными, не смотря на их глобальную популярность [4].

Также эта продукция может быть не только сувенирной, но и быть самостоятельными предметами гардероба. Примером успешной линии одежды, вдохновленной персонажами, может послужить игра Genshin Impact (рис. 1). По данному проекту выпускается несколько коллекций одежды, которая разработана в стилистике определенного персонажа из игры. Поэтому «Четверка» является актуальным источником вдохновения. Проект сможет найти потенциальную аудиторию для покупки продукции, посвященной данному проекту.



Рис. 1. Коллекции одежды по игре Genshin Impact

Также были проанализированы актуальные тренды в трикотажной одежде, так как именно в этом материале предполагается дальнейшее производство. Одними из главных трендов сезона остаются многослойность и частое использование жилета в образах. Примером этого служат такие коллекции модных домов как Brunello Cucinelli Fall Winter 2026 и Kiton Fall Winter 2026. Brunello Cucinelli

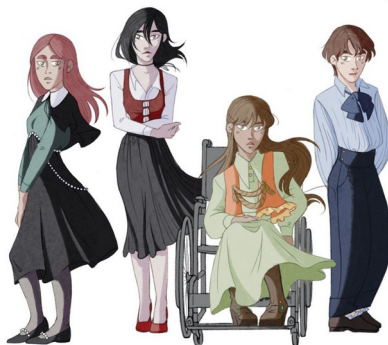
активно использует жилеты в своих моделях. Эти тренды были учтены при дальнейшей разработке художественного образа коллекции [5].

Вселенная комикса “Четверка” – небольшая планета, расположенная на конце галактики, на которой обитает своя человекоподобная раса. Планета называется «Аха». Общество в этом придуманном мире развилось примерно до этапа, который напоминает 40-е годы XX века на нашей планете Земля, что отражается в визуальном стиле среды обитания, одежды героев произведения и используемых технологиях во вселенной. Сюжет произведения рассказывает о четверке героев, в нем описывается их внешность и характерные черты. Это сообщество друзей, которые находятся в противостоянии со злыми силами, угрожающими их планете. В основу художественного проекта положены отличительные особенности главных персонажей “Четверки”. Визуальной базой для создания образов коллекции послужили собственные идеи, рисунки, наброски, иллюстрации, относящиеся к комиксу. На рис. 2 представлены эскизы и сцены из комикса.



Рис. 2. Эскизы для “Четверки”

Испокон веков некоторым жителям этой планеты передавалась способность обладать магией, которая может иметь разную форму: от телепатии до телекинеза. События комикса, в свою очередь, повествуют о четырех магах по имени Мод, Элиза, Трилл и Каян (рис. 3), и об их приключениях. В комиксе рассказывается о том, как главные герои неожиданным образом узнают о своих магических способностях, после чего каждого из них находит таинственная группировка и собирает вместе. Новоиспеченной команде героев рассказывают, что их главная миссия, была предрешена древним пророчеством еще много лет назад – им нужно остановить скверну, которая начинает охватывать всю планету и заражать ее жителей, превращая их в монстров. С этого момента начинаются приключения главной “четверки”, во время которых они путешествуют по планете, учатся овладевать своими магическими способностями, преодолевают трудности взросления, побеждают врагов, становятся лучшими друзьями и узнают, почему именно они были выбраны для исполнения пророчества.



Образ каждого из главных героев имеет свой уникальный дизайн, который основывается на истории его жизни, характере и других особенностях поведения и общения в группе друзей:

Мод – девушка низкого роста с розовыми волосами и зелеными глазами. Она является лидером команды, так как самая ответственная, отважная и целеустремленная среди своих друзей. Также на это влияет и ее происхождение, она родом из королевской семьи и является наследницей престола. Ответственность, возложенная на девушку с рождения, сделала ее характер таким сильным, но иногда это перерастает в излишнюю строгость к самой себе. Несмотря на все вышеперечисленное, Мод – молодая девушка, поэтому в ней сохраняются такие черты, как утонченность и женственность. Так как девушка из королевского рода, ее одежда строгая и элегантная. Основные цвета персонажа – черный, изумрудный и темно-розовый (рисунок 3). Каждый из героев «Четверки» обладает уникальной магической способностью. Магической силой Мод стала магия разрушения. Именно поэтому доминирующим цветом в ее одежде является черный, часто ассоциируемый с разрухой (например, черные дыры). Также цвет соответствует строгому характеру девушки.

Элиза – высокая девушка с бледной кожей и черными волосами. Она самая энергичная, эмоциональная и вспыльчивая, из-за чего начинается большинство ссор. Несмотря на свой характер, девушка остается женственной и сексуальной, именно она считается главной красавицей в команде. Элиза единственный персонаж небогатого происхождения, ее родители – обычные ремесленники. Это отражается и в одежде персонажа. Вместо платья девушка носит жилет, рубашу и юбку. Их фасоны просты и мало задекорированы, но сохраняют женственность и сексуальность девушки за счет приталенного силуэта и глубокого выреза. Сила Элизы – управление агрегатным состоянием предметов, то есть она может их воспламенить и вызывать пожары. Магическая способность персонажа, как и его характер, отражена в его цветовой палитре. Основной цвет – красный, который часто ассоциируется с огнем и вспыльчивостью.

Трилл – девушка со смуглой кожей, что говорит о ее южном происхождении, и длинными золотистыми волосами. Она веселая, добродушная и иногда легкомысленная. Именно Трилл в ответе за поддержание хорошего настроения всей команды во время приключений. Девушка всегда старается смотреть на мир с позитивной точки зрения, чему она обязана своему недугу. Ноги героини парализованы с самого рождения, и всю жизнь она передвигается на инвалидной коляске. Несмотря на это, Трилл легко отправляется в путешествие с командой и обучается магии. Ее способность – телепортация. Цвета в одежде персонажа – пастельные оттенки розового, зеленого и охры – передают легкий характер Трилл. Ее фасоны также легки и воздушны за счет пышной юбки платья. Цвета выбраны в теплых оттенках, чтобы передать “солнечную” натуру девушки и ее южное происхождение.

Каян – единственный парень в команде, шатен с голубыми глазами. Он рос в строгой семье знаменитого военного, отчего его характер стал спокойным, скромным и покладистым. Также персонаж придерживается альтруистических взглядов, поэтому всегда помогает своим друзьям, иногда забывая о себе. В этом ему помогает его сила. Каян обладает магией жизни, за счет чего может лечить других людей. Все эти особенности персонажа переданы в его дизайне. Голубой и синие цвета выбраны, так как они ассоциируются с водой – энергией жизни, спокойствием, умиротворением. Силуэты простые и лаконичные, а банты в его одежде выдают его происхождение из семьи зажиточного военного.

Для героев «Четверки» важен символизм, выраженный в виде цветка. Каждый из них обладает своими особенностями в дизайн-коде, собственной узнаваемой палитрой цветов, а также символов в виде цветка, которые будут использоваться в дизайне проектируемых изделий. Эти символы тесно связаны с самими героями и сюжетом комикса, поэтому являются неотъемлемой частью проекта.

Авторская коллекция разрабатывается на следующей стилиевой основе:

- Характер героев «Четверки»;
- Цветочные орнаменты предложены в проекте как символы, связанные с каждым героем;
- История костюма, его силуэтная форма 40-х годов XX века.

Основные силуэты – прилегающие на участке талии, с летящей юбкой, лаконичные на участке лифа, также минималистичные платья-рубашки, жилеты, одежда в стиле милитари. Коллекция одежды перенимает некоторые из стилиевых особенностей 40-х XX века, но не точно копирует моду того времени, так как основным источником вдохновения все же остается фэнтези комикс “Четверка” [6].

В проекте цветы являются “знаком перерождения”. В сюжете комикса упоминается пророчество, которое гласит о том, что каждый из главных героев должен умереть, чтобы снова возродиться, более могущественной версией себя. Во время возрождения каждого из героев, вокруг них всегда присутствуют цветы, которые ассоциируются с конкретным персонажем (рис. 4). Для Мод цветком-символом является пион. У остальных героев тоже есть собственный цветок-символ, появляющийся во время их возрождения, и присутствующий в дизайн-коде персонажей. У Элизы – лилия, у Трилл – подснежник, у Каяна – ландыш. Именно поэтому эти цветы тоже были выбраны как источник вдохновения для создания орнаментов коллекции. Таким образом, авторская коллекция изделий будет полностью отражать дух фэнтези комикса.



Рис. 4. Цветы-символы главных персонажей

Один из примеров символизма цветов в “Четверке” – сцена возрождения Мод, когда девушка оказывается окруженной пионами в пруду, представлен на рис. 5.

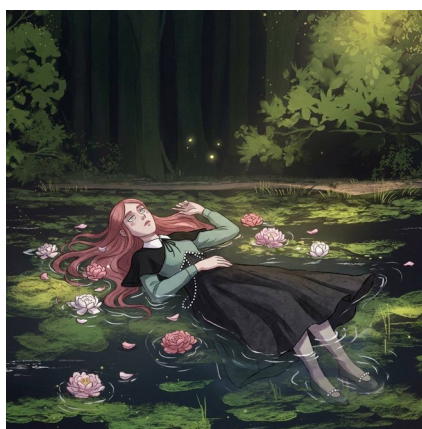


Рис. 5. Сцена воскрешения Мод

Цветовая гамма коллекции предполагает разделение на четыре линейки, каждая из которых посвящена своему персонажу. Также каждая линейка имеет свои уникальные цветочные орнаменты, посвященные каждому из героев.

В линейке каждого персонажа – уникальные трикотажные изделия, которые носят сами персонажи вселенной во время приключений в комиксе. Каждое изделие, входящее в модель, помимо цветового решения и орнамента, напоминает о персонаже своим силуэтом и декоративными элементами, например, бантами и жемчугом. Помимо этого, в линейках каждого персонажа присутствуют шапка, шарф и носки с уникальным цветовым решением и орнаментом. Дополнительные изделия проектируются для разработки линейки аксессуаров, что позволит продвигать комикс и создавать группу поддержки среди поклонников этого жанра. Представленные фотографии моделей из журналов мод 40 –х годов прошлого века отсылает нас к силуэтам и фасонам трикотажной одежды того периода. Узкий лиф и широкая юбка характерны для женских нарядов. Цветочные композиции на этой одежде представлены как источники вдохновения для разработки авторских рисунков.

В ходе работы над формированием концепции коллекции был создан мудборд (рис. 6). В разрабатываемой коллекции были учтены модные тенденции в трикотажной одежде последних сезонов: многослойность и использование жилетов.

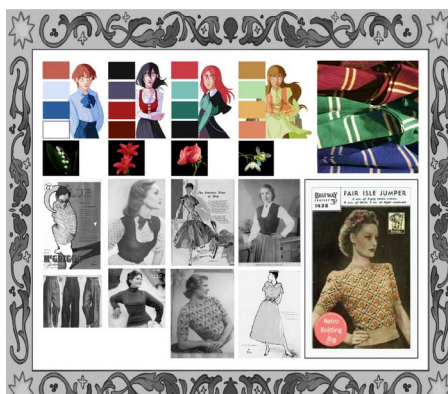


Рис. 6. Мудборд

В конце разработки художественного образа коллекции были созданы эскизы моделей применения (рис. 7).

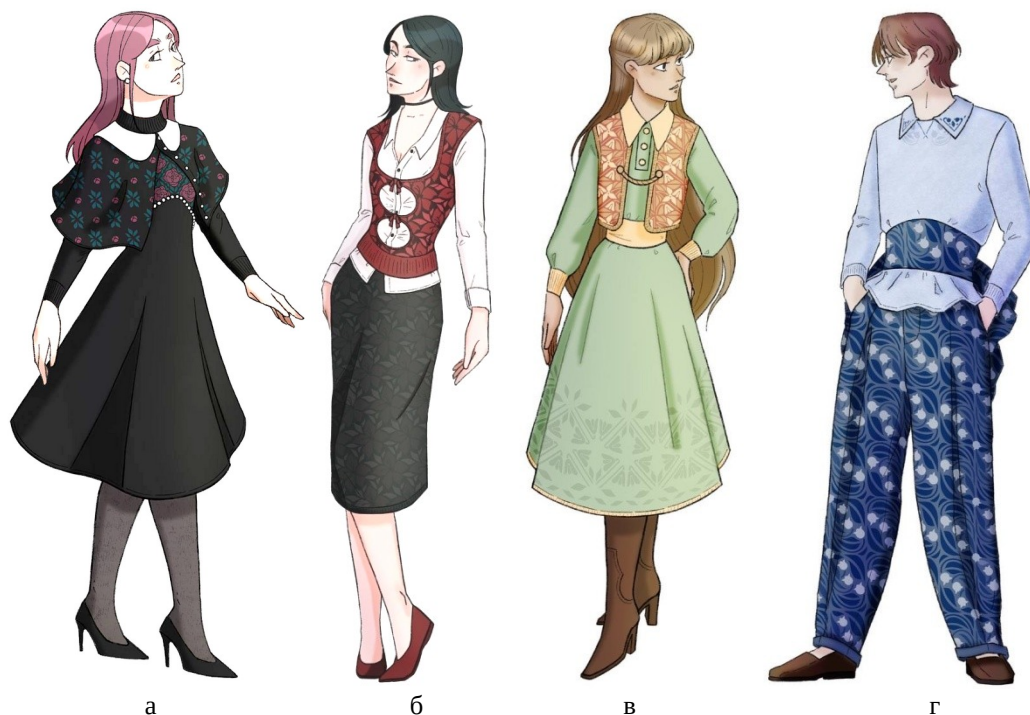


Рис. 7. Эскизы моделей применения: а) комплект Мод; б) комплект Элиза; в) комплект Трилл; г) комплект Каян

Для проектирования модели в материале выбран образ Мод, художественный эскиз представлен на рисунке 7, а. Данный персонаж является лидером команды в комиксе.

Модель Мод представлена комплектом, который состоит из платья и пелерины.

Платье черного цвета, длиной ниже колена, с длинными рукавами и высоким воротником - стойкой. Лиф платья декорирован орнаментом с цветами пиона, который является символом героини. Юбка платья расширяется к низу за счет клиньев, расположенных по линиям рельефов и бока.

Пелерина черного цвета, длиной ниже линии груди спереди и до линии талии сзади украшена орнаментом - компаньоном. Образ модели подчеркнут вышивкой жемчугом орнаментальной и однотонной частей платья. Декоративные элементы, цветовая гамма и орнаменты в модели напоминают об особенностях персонажа, таких как строгость, утонченность, принадлежность к королевской семье.

Платье разделено по фасонной линии на лиф с цветочным орнаментом, юбка платья, рукава и воротник - стойка выполнены в черном цвете. Орнамент располагается на передне и спинке лифа платья. Орнаментальная часть платья отделяется от черного низа симметричной по средней линии переда дугообразной линией, которую на эскизе перекрывают бусины. На спинке изделия линия более плоская, почти представляет собой прямую линию, а на передне более изогнутая. Верхняя точка линии на 2 см ниже линии груди, далее линия проходит под грудью, подчеркивая ее и делая образ более женственным и элегантным. Линия идет симметрично вниз от средней линии переда к линии бока изделия и соединяется на линии талии спинки. Самая низкая точка линии находится на линии талии спинки. Таким образом, эта дугообразная линия элегантно отделяет орнаментальный лиф от других частей изделия, сохраняя целостность образа и придавая ему утонченность за счет ее плавности [7].

Перелина оформлена более простой растительной композицией, которая является компаньоном и содержит узнаваемые элементы рисунка основной композиции.

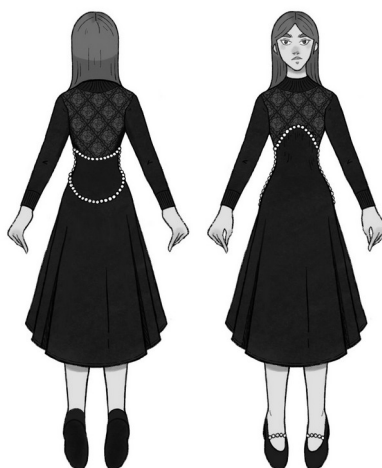
Также для комплекта были разработаны орнаменты. На рис. 8 представлен художественный эскиз растительного орнамента «пион», центром композиции которого является пион. Композиция ромбовидная, оформленная листьями, в центре ромба находится стилизованное изображение пиона (рис. 8а). Композиция – компаньон представлена бутонами пиона (рис. 8б). Орнамент для платья состоит из повторяющегося по сетке раппорта.



Рис. 8. Художественный эскиз цветочной композиции «Пион» а) основной орнамент; б) орнамент - компаньон

Основным элементом раппорта является ромб, в который вписан выбранный для персонажа Мод природный мотив – цветок пиона с листьями. Пион и листья нарисованы в виде плавных цветных пятен розового и зеленого цвета и изображены на черном фоне. Таким образом, в раппорте применен прием цветового контраста, за счет чего орнамент хорошо различим на изделии. Форма цветочных пятен, из которых состоит орнамент закругленная и заостренная, это делает орнамент женственным и романтичным, что украшает платье и подходит под образ персонажа Мод. Также, в орнаменте применен прием контраста форм. Цветок пиона нарисован больше, по сравнению с обрамляющими его листьями, что делает его главным элементом раппорта, делая основной источник вдохновения в нем легко узнаваемым. Бутон нераскрывшегося пиона позволяет создать более сдержанный мотив для орнамента полотна – компаньона, что выражает незаконченность действия или событий.

Также в ходе работы было сделано техническое описание по рис. 9: женское трикотажное платье для повседневной носки в осенне-зимний период, изготовленное из полушерстяной пряжи черного, темно-розового и темно-зеленого цветов. Основное переплетение – трехцветный неполный жаккард. Форма платья: силуэт платья, прилегающий по линии груди и по линии талии, свободный от линии бедер до линии низа изделия, с втачными клиньями по линиям рельефа переда и спинки, по линии бокового шва. Линия проймы естественная; прилегающий силуэт конструктивно решен талевыми вытачками, расположенными в боковом шве. Длина платья ниже линии колен на 10 см; верх платья плотно облегает фигуру, вытачки на выпуклость груди и лопаток заменены посадками в швах. Поверхность юбки платья драпируется за счет клиньев. Конструктивно форма юбки платья решена посредством конического расширения и вертикального членения прямого силуэта. Клинья вшиваются в подрезы, расположенные по линиям рельефов и боковой шов. Рукава узкие, малого объема, с манжетами 5 см, выполненными переплетением ластик 2+2. Горловина круглая, воротник – стойка, плотно прилегающий к шее высотой 7 см, связанный переплетением ластик 2+2. Линия низа лифа оформлена ручной вышивкой бусинами, расположенными по краю орнамента, по всей ширине лифа изделия в соответствии с эскизом. Изделие не имеет подкладки. Рекомендованный рост – 164, 170, размеры – 80 - 92.



В процессе были выбраны переплетения, которые будут использоваться в изделии. Это – трехцветный жаккард (для основных элементов платья: спинки, переда, рукавов), и ластик 2+2 (для манжет и воротника - стойки).

Для проектирования трикотажа с цветным орнаментом требуется учитывать не только эстетические предпочтения, но и функциональные характеристики материала. Важно, чтобы орнамент сохранял свою четкость и выразительность даже при растяжении или сжатии трикотажа, что является неотъемлемой частью его эксплуатационных свойств.

Жаккардовые переплетения, для которых разрабатываются цветные орнаментальные оформления в ходе курсовой работы, чаще всего получают на двухфонтурных ПВМ и КВМ. Принято считать, что рисунок находится на лицевой стороне и образуется иглами передней игольницы, либо иглами цилиндра. Изнаночная сторона образуется иглами задней игольницы, либо иглами диска. Жаккардовые переплетения могут быть полными и неполными. В полном жаккардовом переплетении нить каждого цвета провязывается на всех иглах, образуя изнаночную сторону, даже в тех случаях, когда в жаккардовом ряду она не образует лицевых петель. На лицевой стороне – чередующиеся петли разного цвета соответствуют патрону, на изнанке ряды разного цвета – признак полного жаккарда. В то время как в неполных жаккардовых переплетениях петли одного цвета формируются на изнанке последовательно через иглу. Для проектируемого изделия было выбрано основное переплетение неполный трехцветный жаккард. Трехцветный жаккард был выбран, так как в орнаменте для изделия используется три цвета пряжи. В качестве дополнительных переплетений выбран ластик 2+2, сдвоенная гладь, неполный двухцветный жаккард [8].

Платье изготовлено полурегулярным способом. Чтобы связать купоны переда и спинки изделия, был разработан патрон рисунка трехцветного жаккарда и переведен в программу плосковязального автомата Stoll. Орнамент и патрон рисунка представлены на рис. 10. Для выполнения необходимых технологических расчетов был связан образец полотна. Фото образца полотна показано на рис. 11. Чтобы раппорт был такого же размера как на разработанном эскизе, были сделаны расчеты, по которым задается размер рисунка 10 см в длину и 9 см в ширину. Далее был связан образец трехцветного неполного жаккарда, по которому была посчитана плотность по вертикали и горизонтали, что позволило в нужных линейных размерах изобразить сетчато-раппортный рисунок с границей разделения от монохромного участка купона на компьютере.

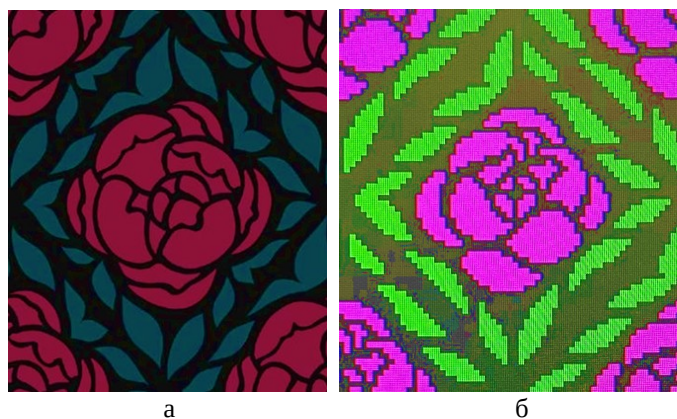


Рис. 10. Разработка раппорта трехцветного жаккардового рисунка: а) мотив орнамента; б) раппорт



На рис. 12 представлены схемы купонов с указанием линейных размеров для расчета заправочных карт на вязание купонов.

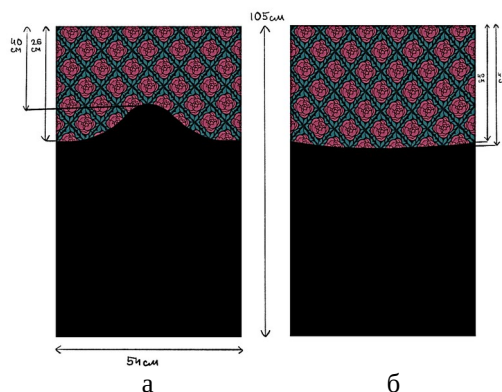


Рис. 12. Схема купонов платья: а) для переда; б) для спинки

Также для дальнейшего вязания купонов были рассчитаны Пг и Пв, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики купонов переда и спинки

Участок	Плотность по горизонтали, пет./100 мм	Плотность по вертикали, пет./100 мм	Ширина, см	Длина, см	Кол-во игл	Кол-во петель
Спинка и перед	64	60	54	108	346	650

Для вязания купонов платья была выбрана плосковязальная машина 12 класса Stoll 502 К. Именно Stoll создали первую плосковязальную машину в мире, и до сих пор все самые важные разработки в области плосковязального оборудования принадлежат Stoll. Машины Stoll способны выполнять множество операций, включая автоматическую подачу пряжи и возможность интеграции с CAD-системами для проектирования, что делает их максимально удобными для разработки жаккардовых переплетений. Визуализация пиксельного изображения рисунка в петельную фактуру полотна позволяет без вязания образцов уточнять жаккардовый рисунок и вносить уточнения по внешнему виду полотна. Характеристика машины представлена в таблице 2 [9].

Таблица 2. Техническая характеристика плосковязального автомата Stoll

Характеристика	Параметры
Марка машины	Stoll 502 К
Класс машины	12
Рабочая ширина, дюйм (мм)	45
Число игл	539
Число игольниц	2
Число петлеобразующих систем	2
Число нитеводов	12
Линейная скорость каретки, м/с	1,2
Способ программирования	электронный
Технологические возможности	Вязание купонов и деталей заданной формы в автоматическом режиме

В таблице 3 представлены технологические параметры полотна жаккардового переплетения.

Вид трикотажного полотна	Плотность по горизонтали, пет./100 мм	Плотность по вертикали, пет./100 мм	Петельный шаг А, мм	Высота петельного ряда В, мм
Трехцветное неполное жаккардовое переплетение	64	60	1,6	1,7

Прилегающий силуэт платья конструктивно решен талиевой вытачкой, расположенной в боковом шве. Фасонная линия лифа должна плавно переходить с одной детали платья на другую и стыковаться в боковом шве. Для решения этой задачи была выполнена корректировка орнамента на купонах. С учетом прилегающей силуэтной формы платья и дальнейшего подкроя деталей были внесены изменения в рисунок купона переда и спинки.

Фотографии готовых рисунков купонов платья представлены на рис. 13.



Рис. 13. Стыковка орнамента купона переда с орнаментом купона спинки с учетом талиевой вытачки в боковом шве

В соответствии с заправочными картами были изготовлены купоны для переда, спинки, рукавов и клиньев юбки платья (рис. 14).

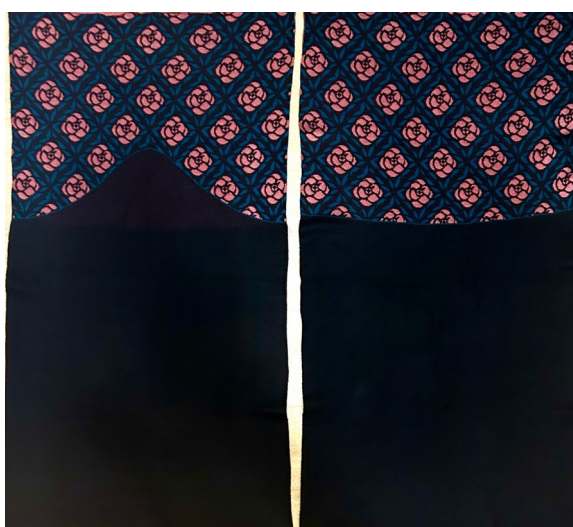


Рис. 14. Фото купонов переда и спинки

После изготовления купонов следует этап производства швейных операций. После их выполнения была произведена примерка изделия на манекене (рис. 15), что послужило итогом проделанной работы.



Рис. 15. Фотография примерки платья на манекене с переда и спинки

В ходе сформированы уникальные визуальные образы в виде эскизов трикотажных комплектов одежды и орнаментов для одного из них, который не только обогатил образ самого персонажа, но и может существовать самостоятельно. Также в процессе работы разработаны заправочные карты на вязание и цветные орнаментальные оформления трикотажных полотен жаккардовых переплетений для двухфонтурной плосковязальной машины Stoll 502 K, которые будут использованы в дальнейшем в создании образа выбранного персонажа. Создание одежды, посвященной фэнтези комиксу, открывает перспективы для дальнейшей работы над продукцией проекта “Четверка”: расширение линейки товаров, их продвижение, создание капсульной коллекции одежды. Также разработка трикотажных полотен, которые в дальнейшем будут использованы в создании моделей из коллекции, значительно облегчат будущую рекламу проекта “Четверка”. Создание таких уникальных образов поможет привлекать новых фанатов и мотивировать их поддерживать проект на протяжении долгого времени.

Список литературы:

1. Символ принадлежности: почему люди платят за мерч, чтобы показать свою верность сообществу // Gitwell [сайт]. – URL: <https://gitwell.ru/blog/merch/simvol-prinadlezhnosti-pochemu-lyudi-platyat-za-merch-chtobyi-pokazat-svoyu-vernost-soobshhestvu> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Что такое мерч и зачем он нужен бренду // Bang Bang Education [сайт]. – URL: <https://bangbangeducation.ru/point/grafichieskii-dizain/cto-takoe-merch/> (дата обращения: 03.03.2026).
3. Интерпретация термина “монокультура” до и после цифрового состояния // HSEUNIVERSITY [сайт]. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/984067568> (дата обращения: 03.03.2026).
4. Отель Хазбин // Wikipedia [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%A5%D0%B0%D0%B7%D0%B1%D0%B8%D0%BD (дата обращения: 03.03.2026).
5. Самые модные вещи из трикотажа на осень зиму 2026 // Дзен [сайт]. – URL: <https://dzen.ru/a/ZvnugGzSPE2fibu2> (дата обращения: 07.03.2026).
6. Стиль милитари и красная помада: что носили советские женщины в 1940-ых годах // Culture [сайт]. – URL: <https://www.culture.ru/materials/258767/stil-militari-i-krasnaya-pomada-cto-nosili-sovetskie-zhenshiny-v-1940-kh> (дата обращения: 21.03.2026).
7. Васильева Е. В. Деконструкция и мода: порядок и беспорядок // Теория моды: одежда, тело, культура. – 2018. – № 4. – С. 58-79.
8. Макаренко, С. В. Строение и проектирование трикотажа: практикум // С. В. Макаренко. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. С. – 77. ISBN 978-5-7937-2787-7.
9. Плосковязальные машины Stoll // Дамир Текстиль: [сайт]. – URL: <https://www.da-mir.ru/oborudovanie/ploskovazalnye-masiny-stoll/> (дата обращения: 21.03.2026).

References

1. Simvol prinadlezhnosti: pochemu lyudi platyat za merch, chtoby pokazat' svoyu vernost' soobshchestvu. [A Symbol of Belonging: Why People Pay for Merch to Show Their Allegiance to a Community]. Gitwell. – URL: <https://gitwell.ru/blog/merch/simvol-prinadlezhnosti-pochemu-lyudi-platyat-za-merch-chtobyi-pokazat-svoyu-vernost-soobshhestvu> (accessed: 03.03.2026). (in Rus.).
2. Chto takoye merch i zachem on nuzhen brendu. [What is merch and why does a brand need it?]. Bang Bang Education . – URL: <https://bangbangeducation.ru/point/grafichieskii-dizain/cto-takoe-merch/> (accessed: 03.03.2026). (in Rus.).

3. Interpretatsiya termina “monokul'tura” do i posle tsifrovogo sostoyaniya. [Interpretation of the term “monoculture” before and after the digital state]. HSEUNIVERSITY. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/984067568> (accessed: 03.03.2026). (in Rus.).
4. Otel' Hazbin. [Hazbin Hotel]. Wikipedia. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%A5%D0%B0%D0%B7%D0%B1%D0%B8%D0%BD (accessed: 03.03.2026). (in Rus.).
5. Samyye modnyye veshchi iz trikotazha na osen' zimu 2026. [The most fashionable knitwear items for fall/winter 2026]. Dzen. – URL: <https://dzen.ru/a/ZvnugGzSPE2fibu2> (accessed: 07.03.2026). (in Rus.).
6. Stil military I krasnaya pomada: chto nosily sovetskie zhenshini v 1940-h godah [Military style and red lipstick: what Soviet women wore in the 1940s]. Culture. – URL: <https://www.culture.ru/materials/258767/stil-militari-i-krasnaya-pomada-chto-nosili-sovetskie-zhenshiny-v-1940-kh> (accessed: 21.03.2026). (in Rus.).
7. Vasileva E.V. Destruktsiya: moda I besporyadok. [Deconstruction and Fashion: Order and Disorder]/ Fashion Theory: The Journal of Dress, Body and Culture, no. 4 (50), 2018. pp. 58–79. (in Rus.).
8. Makarenko S.V. Stroenie I proektirovanie trikotaga: praktikum. [Structure and designing of knitted fabrics: a practical guide]. Saint Petersburg: SPbGUPTD, 2025. pp. 77. (in Rus.).
9. Ploskovyazalnie mashini Stoll [Flat knitting machines Stoll]. Damir Textile. – URL: <https://www.damir.ru/oborudovanie/ploskovyazalnye-mashiny-stoll/> (accessed: 21.03.2026). (in Rus.).

УДК 7.05

В.А. Ежевская, Е.М. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ХУДОЖЕСТВЕННАЯ РАЗРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ АРТ-ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ИНТЕРЬЕРА**

© В.А. Ежевская, Е.М. Ермолаева, 2026

В данной статье описывается концепция взаимосвязи природы и города и ее художественно-стилистическое решение для панно в интерьере. В начале исследуется визуальная и структурная взаимосвязь природных и городских объектов, основными мотивами которых выступают скалы и архитектурные сооружения. После чего, на основе данного исследования, разрабатываются эскизы художественно-стилистического решения текстильных полотен и их последующая реализация. В работе представлены элементы готовых полотен для последующей разработки панно.

Ключевые слова: панно, трикотаж, модуль, текстиль, взаимосвязь, природа, город**V. A. Ezhevskaya, E.M. Ermolaeva**Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**ARTICLE TITLE**

This article describes the concept of the relationship between nature and the city and its artistic and stylistic solution for interior murals. First, the visual and structural relationship between natural and urban objects is explored, with rocks and architectural structures serving as the main motifs. Then, based on this research, sketches for the artistic and stylistic solutions for textile canvases and their subsequent implementation are developed. The work presents elements of finished canvases for subsequent development of the mural.

Keywords: panel, knitwear, module, textile, interconnection, nature, city

Темой данного исследования является создание текстильных арт-объектов, вдохновлённых слиянием и подобием структур природы и города. Природные формы, выраженные через структуры поверхностей, перекликаются с урбанистическими мотивами - архитектурными конструкциями и геометрическими ритмами. На первый взгляд противопоставленные друг другу, природа и город обнаруживают общие принципы организации - ритм, модульность, повторяемость, динамика и развитие. Их синтез становится концептуальной основой художественного проектирования.

Актуальность темы обусловлена возрастающим интересом к бионическому дизайну, экологическому мышлению и интеграции природных образов в урбанистическую среду. Создание текстильных арт-объектов для общественных интерьеров отвечает современным тенденциям формирования эмоционально комфортных, эстетически насыщенных пространств, способных влиять на восприятие и настроение общества.

Цель данной работы — проектирование текстильного арт-объекта, отражающего взаимосвязь и структурное подобие природных и городских форм, а также создание художественного решения интерьерного оформления для общественного пространства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ источника вдохновения и модных тенденций текстиле;
- формирование художественной концепции проекта;
- описание художественного решения текстильных полотен и разработка эскизов применения;
- проработка конструктивные и технологические аспекты реализации проекта;

Для создания текстильных арт-объектов главным источником вдохновения послужили визуальные структуры природы и города. Данное направление было выбрано не случайно: современное художественное проектирование всё чаще обращается к идее синтеза органического и индустриального начал, стремясь выявить скрытые закономерности их сосуществования. Природа и город традиционно воспринимаются как противоположности: первая ассоциируется с естественностью, текучестью и спонтанностью, второй — с рациональностью, геометрией и технологичностью. Однако при более глубоком анализе обнаруживается, что оба феномена строятся на сходных принципах организации формы и пространства. В основе лежат ритм, модульность, повторяемость, развитие структуры от простого к сложному. Природные формы — ветвления пастилей, прожилки листьев, ячеистые структуры, волновые и спиралевидные движения — представляют

динамикой. Эти формы не хаотичны; напротив, они подчиняются законам симметрии, фрактальности и гармонических пропорций. Городская среда, в свою очередь, формируется на основе конструктивной сетки, каркасных систем и модульных повторов. Архитектурные фасады, транспортные схемы, ритм оконных проёмов, световые композиции ночного города создают упорядоченную визуальную сетку пространства. Город можно рассматривать как искусственно созданный организм, обладающий собственной структурной системой. Сопоставление этих двух начал позволило выявить их структурное подобие. Так, были выявлены похожие структуры, как визуально, так и концептуально.

Первым и основным источником вдохновения стал мотив реки и мотив дороги. Оба данных образа отражают путь и движение. Река выглядит как непрерывный поток, который формирует ландшафт, разделяя его, но при этом образующая пространство. Линия реки текуча, извилиста и подвижна. Линия реки визуальное создает плавное, но динамичное очертание, подчинённое естественным изгибам рельефа. Дорога в городской среде выполняет аналогичную функцию. Она организует пространство, связывает между собой районы и направляет движение человека. Если река прокладывает свой путь в природном ландшафте, то дорога - в урбанистическом. Несмотря на различие формирования данных структур, их графика перекликается. Обе структуры представляют собой протяжённую линию, задающую направление и формирующую ритм окружающей среды. Концептуально, образы реки и дороги символизируют жизненный путь человека в прямом и переносном смысле. Они становятся метафорой развития, трансформации и постоянного изменения. Визуальная схожесть мотива реки и мотива дороги проявляется в протяжённости и линейности формы, а также в изгибах и поворотах, создающих динамику. Кроме того, оба данных понятия разделяют пространство на зоны, а также создают эффект перспективного сужения и ощущение движения временного процесса.

Так, данная пара мотивов (рис. 1) была сформулирована как симбиоз органической плавности и урбанистической структурированности. Важно упомянуть, что данные понятия рассматриваются не как противопоставление друг другу, а как взаимосвязанные структуры.

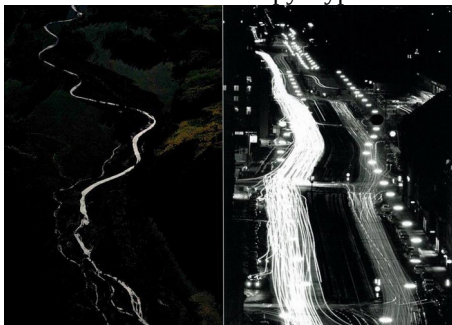


Рис. 1 – Мотивы реки и дороги

Вторым важным направлением исследования стал мотив скал и мотивы архитектуры. Скала является монументальным природным строением, обладающим устремлённостью вверх и сложной рельефной фактурой. На ее поверхности можно наблюдать ритм трещин, расщелин и естественных прорезей, которые и создают рельефную плоскость. Высокие здания с рельефными фасадами создают схожий визуальный образ. Их фасады визуальное разделены вертикальными линиями и ритмом оконных проёмов. Подобно скале, небоскрёб воспринимается зрителем как массивная, устремлённая вверх форма, организованная внутренней конструктивной логикой. Визуальная схожесть данных мотивов проявляется в доминировании вертикального направления и повторяемости прорезей. Чередовании света и тени, масштаб, монументальность и текстурная выразительность поверхности форм, также указывают на схожесть в логике их формообразования. Скала формируется природными силами, такими как ветер и вода. В то время как архитектура создаётся человеком, но, при этом, её вертикальная доминанта и ритмическая организация перекликаются с природной пластикой. Таким образом, архитектура визуальное схожа с принципом формообразования скал (рис. 2).



Рис. 2 – Мотивы скал и архитектуры

Концепция проекта основана на идее структурного родства природы и города, а также их единства, которое проявляется через человека, как центр восприятия и преобразования среды. Город рассматривается не как противоположность природе, а как её трансформированное и рационализированное продолжение. Архитектура сохраняет в себе общие принципы организации, а именно модульность, системность и ритм. В основе взаимосвязанной идеи лежит сопоставление природным и урбанистическим структурам. Река и дорога

соотносятся между собой визуально и скалы сопоставляются с высотной архитектурой. Данные схожести в мотивах становятся основой для формирования пластического языка проекта.

Центральным мотивом выступает путь, как символ движения и развития. Он объединяет в себе два пространства: природное и городское. Линия пути визуально интерпретируется через плавные текущие формы, напоминающие русло реки и траекторию дороги. Вертикальные ритмы, отсылающие к скалам и высотным зданиям, формируют ощущение устремлённости вверх, а также символизируют собой рост и динамику. Их взаимодействие создаёт пространственную напряжённость и визуальный диалог между органическим и конструктивным началом. В основе проектной идеи лежит не только образное, но и материальное разделение двух сред. Их различие, и, одновременно, взаимосвязь выражаются через контраст текстильных структур, где природные образы выражаются через плавные и хаотичные переплетения, а городские мотивы решены узорами с прямыми линиями и геометрическими структурами.

Объектами проектирования становятся композиция из модульного панно, состоящего из трёх квадратных блоков и декоративный напольный светильник в общей концепции темы. Рассматривая структуру панно, состоящего из квадратных модулей, важно упомянуть композиционную и смысловую роль, а также расположение каждого из них. Три части композиции арт-объекта располагаются в вертикальной плоскости стены по горизонтальной оси в следующем порядке:

1. Природное начало — модуль с преобладанием органичных, текучих форм, мягких ритмов и природной пластики, выполненный, преимущественно из трикотажных полотен. По своей природе трикотажное полотно напоминает органические ткани живого организма, текучие линии рельефа и природные переплетения и волнообразные движения. За счет этих особенностей материала формируется художественное оформление данного модуля, главным источником вдохновения которого служат природные структуры – скалы и реки.

2. Урбанизация — модуль, построенный на более чётком ритме, повторе и геометрии. Художественное решение данного модуля построено на принципах повторяемости, модуля и сетки. Линии становятся направленными, строятся пересечения и ритмические блоки, а источником вдохновения выступают структура окон и ритмы фасадов зданий. Ритм принимает регулярный характер — с четкими интервалами и повторяющимися элементами, что создает ощущение порядка и системности.

3. Слияние — модуль, объединяющий в себе две материи – город и природа. Оно выражается в постепенном взаимопроникновении одним структур в другие. Природное начало представлено органичными, текучими формами и мягкими ритмами. Городское начало, напротив, выражается через чёткую геометрию, структурированность и ритмическую упорядоченность. В процессе объединения этих двух систем возникает переходная зона, в которой мягкие органические постепенно упорядочиваются, переходя в геометрические структуры. Текучий ритм природной формы начинает подчиняться модульности, а гибкая поверхность — приобретать четкость и направленность. При этом сохраняется их глубинное сходство: структура, основанная на принципе взаимосвязи элементов.

Так, концепция проекта (рис. 3) основана на идее симбиоза природы и города, где человек выступает связующим звеном между двумя данными средами. Их структурное сходство — ритм, модульность, рост и движение — выражается через сопоставление органических и геометрических форм, мотивов реки и дороги, скал архитектуры.

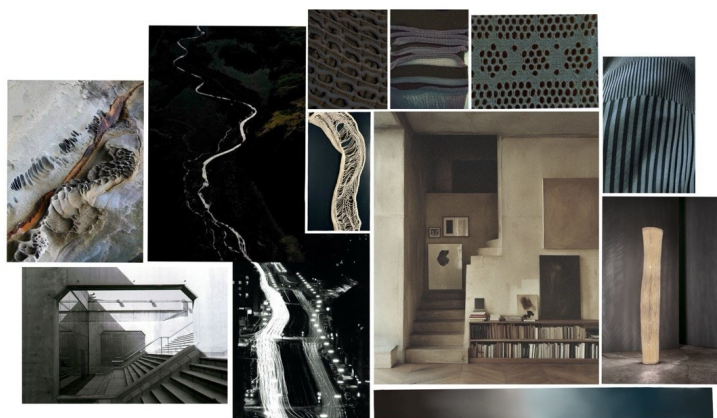


Рис. 3 – Концепция проекта

Для формирования художественного решения текстильных полотен, необходимо определить ключевой образ и принцип его трансформации в рамках заданной темы. В данном проекте начальной точкой становится мотив камня, который последовательно развивается от природной, органичной формы к упорядоченной урбанистической структуре, задавая направление композиции, ритма и пластики. Художественное решение текстильных полотен строится на раскрытии темы симбиоза природных и архитектурных структур, через образ трансформации камня — от природной, первичной формы к

урбанистической, структурированной. В основе лежит идея постепенного перехода: от мягкой, органической пластики к более чёткой, геометризированной системе.

Форма полотен сохраняет общую модульность (модули квадратной формы), однако внутри каждого модуля развивается собственная пластическая динамика. Композиция строится на постепенном «упорядочивании» формы: в начальной стадии преобладают свободные, текучие, асимметричные линии, напоминающие природный рельеф, скальные образования и горные ландшафты. Эти формы неровные, хаотичные, с плавными переходами и отсутствием жёстких границ. По мере развития композиции слева направо линии становятся более чёткими, ритм — организованным, а структура — геометрически выстроенной, что отражает процесс преобразования природного материала в архитектурный элемент [1].

Ритм играет ключевую роль в художественном решении. В природной части он нерегулярный, текучий, с переменной плотностью — как трещины в камне или наслоения породы. В «городской» части ритм становится повторяющимся, модульным, с чёткой системой интервалов, отсылающей к каменной облицовке здания, фасадной или структуре расположения окон. Таким образом, ритмика отражает переход от хаотичной природной организации к упорядоченной архитектурной системе [1].

Особое значение имеет работа с фактурой, обусловленной особенностью структуры трикотажа. Петлевая структура позволяет варьировать плотность, создавать утолщения, разреженные участки, объёмные выступы и углубления. За счёт этого поверхность полотна может напоминать камень — с его шероховатостью, трещинами, сколами и неровностями. В процессе трансформации фактура также изменяется: от более рыхлой, «живой» и пластичной к более плотной, структурной и «собранной».

Линия в композиции выступает как основной выразительный элемент. В природной части она свободная, извилистая, напоминающая естественные трещины или слои породы. В урбанистической части линия выпрямляется, становится направленной, формирует сетку или систему пересечений. Важно упомянуть, что главной горизонтальной линией выступают продолговатые трикотажные полотна, имитирующие реку и дорогу. Таким образом, линия визуально фиксирует процесс перехода от природного состояния к архитектурному. Цветовое решение поддерживает эту трансформацию: природные, тёплые, земляные оттенки постепенно переходят в более холодные и нейтральные синие, ассоциирующиеся с городской средой. При этом возможно использование промежуточного цвета как «связующего слоя», подчеркивающего сам процесс перехода [1].

Все полотна вяжутся отдельными элементами, для композиционной компоновки на основном полотне и дальнейшем прикреплении их к нему методом аппликации. Рассмотрим подробнее художественное решение каждого отдельного текстильного полотна, с учетом анализа источников вдохновения.

Художественное решение деталей панно в «природной части» выражено мотивами скал, гор и структуры камня в целом. Для структуры поверхности прибрежных скал характерны небольшие полости, образованные физическим воздействием соленой воды и ветра. Визуально, они напоминают пчелиные соты и имеют свободный ритм. Данные «ячейки» варьируются по размеру и частоте размещения на поверхности. Поняв, как структурно выглядит скала, было разработано художественный прием текстильного полотна для данного мотива. На эскизе (рис. 4) показано стилистическое решение для мотива поверхности скал.

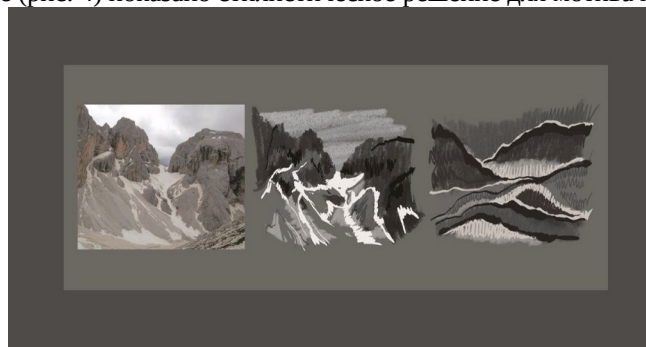


Рис. 4 – Эскиз мотива скалы

Важным и «движущим» композицию мотивом, является мотив реки. Мотив реки в художественно-стилистическом подходе воспринимается как образ непрерывного движения, текучести и естественной пластики. Он выражается через плавные, извилистые линии, мягкие изгибы и постепенные переходы форм, лишнюю жёсткостью и резкими границами. На эскизе (рис. 5) показано стилистическое решение мотива реки.

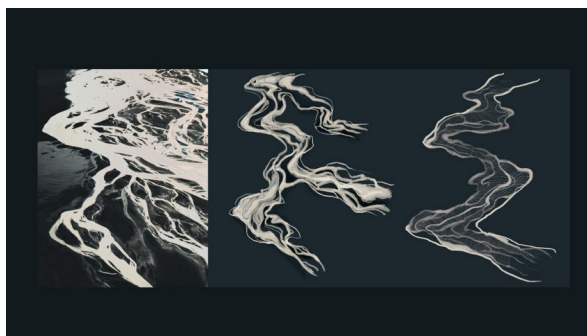


Рис. 5 – Эскиз мотива реки

Мотив ритма окон на фасаде здания (рис. 6) в художественно-стилистическом измерении воспринимается как упорядоченность, повторяемость и структурность образа. Он строится на чередовании одинаковых или соразмерных элементов, действующих в чёткой системе по горизонтали и вертикали. Визуально такой задает четкость композиции, собранность и звуковую логику, где каждый элемент подчиняется общему ритму.

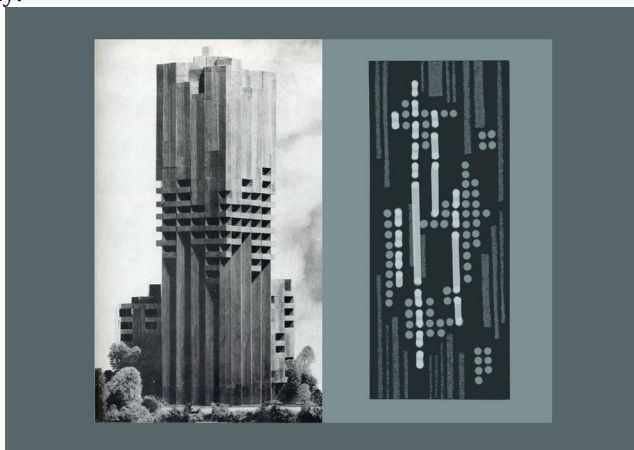


Рис. 6 – Эскиз мотива окон

Мотив ритма фасада здания в художественно-стилистическом представлении воспринимается как образ конструктивной архитектуры, повторяемости и упорядоченности. Стилистический ритм фасада связан с геометрией, закономерностью и ясной структурой. Такой мотив (рис. 7) формирует ощущение масштаба, устойчивости и жесткой композиционной организации.

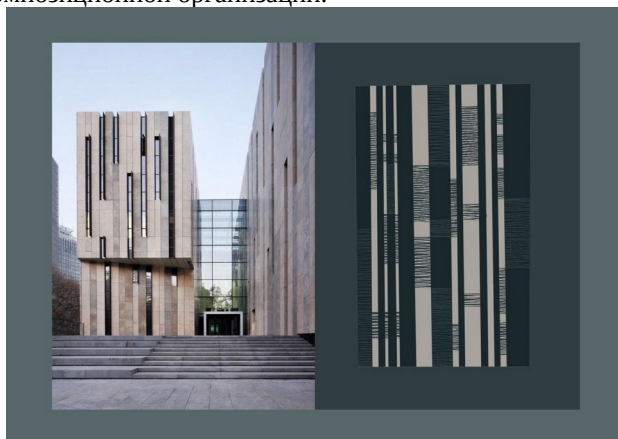


Рис. 7 – Эскиз мотива фасада здания

Разработка эскизов является обязательным этапом проектирования, так как позволяет определить, каким образом художественная идея будет реализована в пространстве и как композиция будет взаимодействовать с интерьерной формой. На данном этапе концепция «природа — город» получает визуальное воплощение через эскиз (рис. 8), отражающий композиционное построение, характер модулей, их взаимосвязь и особенности размещения в общественном интерьере.

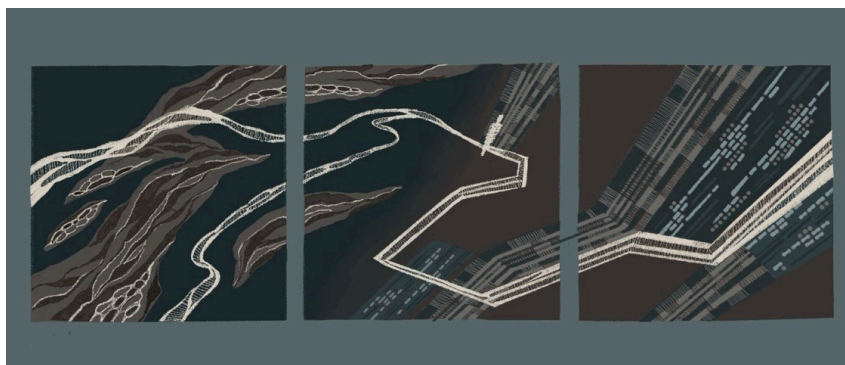


Рис. 8 – Эскиз модульного панно

При разработке эскизов особое внимание уделено композиционному равновесию модулей, их масштабному соотношению и характеру ритмической связи. Несмотря на то, что каждый элемент обладает собственной пластикой и пространственным ограничением, все три части должны восприниматься как единая система. Для этого используются общие линии движения, перекликающиеся мотивы и единая цветовая гамма, в которых природные и городские соединяются через промежуточные, связующие акценты.

Модульное текстильное панно (рис. 9) предназначено для декоративного оформления интерьера в жилых или коммерческих помещениях. Подойдет для тех, кто ценит уют и оригинальность в декоре, а также любит мягкие текстуры и теплую атмосферу. Панно выполнено из трикотажа и ткани, состоящее из трех отдельных квадратных модулей, образующих единую композицию. Предназначено для декоративного оформления стен, а также создания определенной атмосферы.

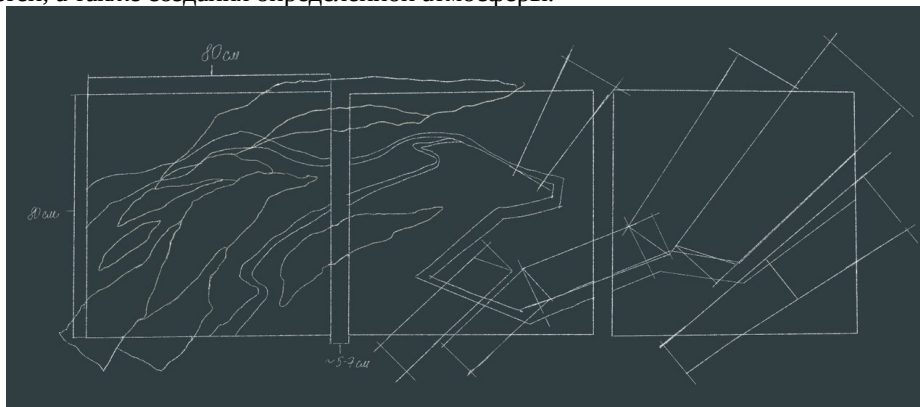


Рис. 9 – Технический рисунок панно

Панно представляет собой квадратные модули, собранные в горизонтальную композицию. Размер каждого модуля равняется 80 на 80 см. Отступы между модулями могут варьироваться, но изначально подразумевается расстояние в 5-7 см. Единая композиция составляет примерно 255 см, с учетом расстояний между модулями. Есть возможность перестановки и/или разделения модулей. Декоративные элементы арт-объекта вяжутся отдельно и в дальнейшем прикрепляются к основному тканюму полотну каждого из модулей.

Панно выполнено регулярным способом изготовления. Пряжа характеризуется смесовым волокнистым составом пряжи, где 70% — это полиакрилонитрил и 30% - натуральная шерсть. Цветовая гамма состоит преимущественно из натуральных, приглушенных оттенков: глубокий темно-коричневый, нейтральный светло-коричневый, светло-бежевый и глубокий синий цвета. Основные переплетения - комбинированные. В качестве орнаментального решения использованы геометрические абстрактные узоры. Фактурное оформление достигнуто за счет сочетания гладких и рельефных структур [2].

Обработка краев трикотажных деталей панно выполнена изначальным заработком на вязальной машине и последующим закрытием петель в конце создания детали. Такой способ позволяет не выполнять дополнительную обработку краев, так как они уже обработаны от роспуска. В данном изделии застежек нет — модули крепятся к стене при помощи скрытых крючков. Декоративные элементы выполнены за счет защипов расположенных на лицевой части отдельных деталей. Также, некоторые детали частично дополнены тканевыми вставками, для достижения требуемого декоративного эффекта, в соответствии с эскизом. В качестве фурнитуры использованы скрытые крючки и петли для крепления на стене [2].

Разработка структурных переплетений является обязательным этапом проектирования текстильных изделий, поскольку именно она определяет не только внешний вид, но и пластические и тактильные свойства материала. На данном этапе формируется взаимосвязь между художественной идеей и ее материальным воплощением посредством выбора и конструирования определенных типов переплетений [3].

Для создания деталей отражающих мотив скал, применяется метод частичного вязания. Благодаря данной технологии на полотне образуются «клинья», цвет и плотность которых варьируема. Схема структуры переплетения и готовый образец представлены на рисунке 10.

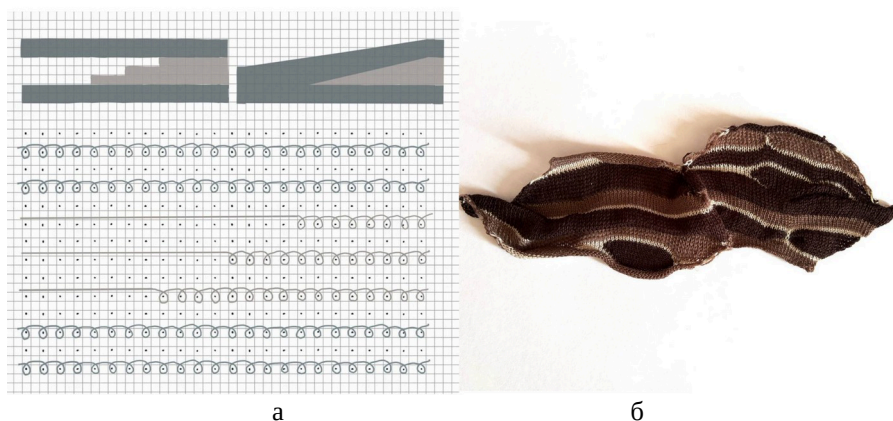


Рис. 10 – Образец «клинья»: а – схема структуры переплетения; б – готовый образец

Для создания деталей отражающих мотив фасадов зданий, применяется комбинированное переплетение, состоящее из чередования столбиков платировки разного цвета и включением в данную структуру вязание протяжек. Благодаря данной комбинации на полотне образуются столбики и части, где располагаются протяжки. Схема структуры переплетения и готовый образец изображены на рисунке 11.

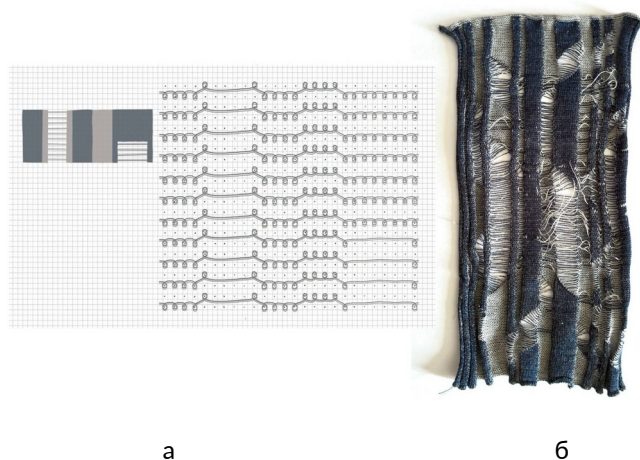


Рис. 11 – Образец комбинированного переплетения: платировка и протяжки: а – схема структуры переплетения; б – готовый образец

Мотив реки выражен переплетением с протяжками, а также постепенным смещением столбиков глади. Данное переплетение позволяет достигнуть визуального эффекта заполненной извилистой и неравномерной линии, в окружении полупрозрачной структуры. Схема структуры данного переплетения и готовый образец изображены на рисунке 12.

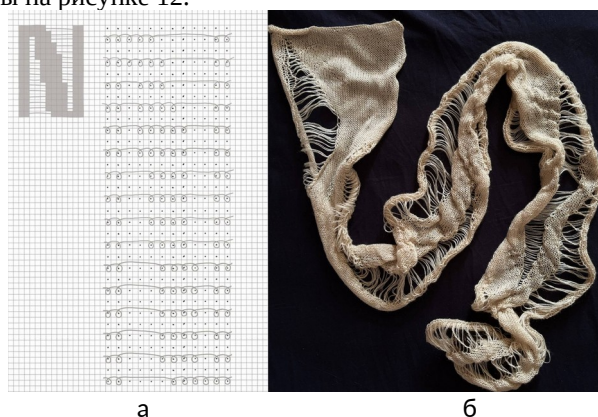


Рис. 12 – Образец с протяжками: а – схема структуры переплетения; б – готовый образец

Мотив окон зданий выражен комбинированным переплетением, сочетающим в себе вертикальные линии из столбиков лицевых и изнаночных петель, а также ажурными отверстиями. Данное переплетение позволяет достигнуть визуального эффекта ячеек, имитирующих окна, а также оно имитирует фактуру фасада архитектурного строения. Схема структуры данного переплетения и готовый образец представлены на рисунке 13.

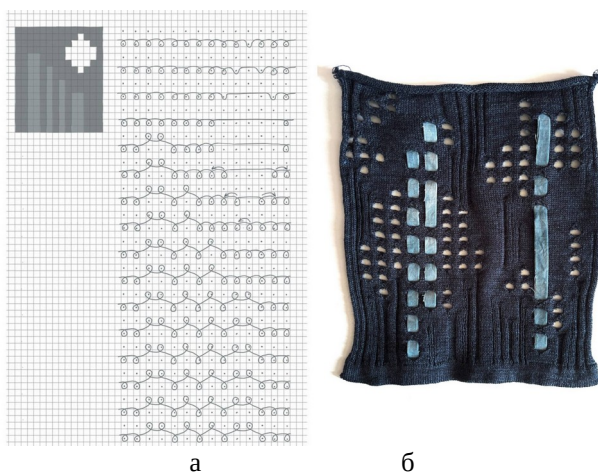


Рис. 13 – Образец комбинированного переплетения: ажурные отверстия и двухзиганочная гладь: а – схема структуры переплетения; б – готовый образец

В итоге данного исследования рассмотрены понятия природы и города, выявлена их визуальная и структурная схожесть. На основе данных понятий разработаны художественные эскизы и выполнена их практическая реализация. В условиях активной урбанизации особую инновационность проявляется в стремлении к восстановлению связей с природой, что проявляется в современных подходах к дизайну интерьера, ориентированных на создание современной и психологически комфортной среды. В процессе исследования выявлено, что текстильные изделия обладают широкими художественными возможностями благодаря своей пластичности, фактурной выразительности и способности к формообразованию. Эти качества позволяют использовать их в качестве средства создания арт-объектов. Разработанная концепция проекта основана на идее взаимосвязи и структурного подобия природы и города. Таким образом несмотря на внешнюю противоположность, природные и урбанистические формы объединяют общие принципы организации — ритм, модульность, повторяемость и развитие. Их синтез стал художественного решения, направленного на создание целостности образа. В ходе работы приняты меры по построению текстильных полотен, разработаны эскизные решения, а также проработаны конструктивные и технологические аспекты реализации проекта, включая выбор структурных переплетений.

Список литературы

1. Е. М. Ермолаева *Художественное проектирование трикотажа*. - 1-е изд. - Санкт-Петербург: Издано в авторской редакции, 2022. - 50 с.
2. Е. М. Ермолаева О. А. Вигелина Н. И. Пригодина *Художественное проектирование трикотажа*. - 1-е изд. - Санкт-Петербург: Издано в авторской редакции, 2020. - 31 с.
3. Макаренко, С. В. *Строение и проектирование трикотажа: практикум* / С. В. Макаренко. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – 77 с.

References

1. E. M. Ermolaeva *Hudozhestvennoe proektirovanie trikotazha*. [Artistic design of knitwear] - 1st edition - Saint- Petersburg, 2022. - 50 s.
2. E. M. Ermolaeva O. A. Vigelina N. I. Prigodina *Hudozhestvennoe proektirovanie trikotazha*. [Artistic design of knitwear] - 1st edition - Saint- Petersburg, 2020. - 31 s.
3. Makarenko, S. V. *Stroenie i proektirovanie trikotazha: praktikum* [Knitwear structure and design: practical course] / S. V. Makarenko. – Saint- Petersburg: FGBOUVO «SPbGUPTD», 2025. – 77 s.

УДК 677.025

Е.А. Мохова, О.А. Вигелина, Е.М. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРНАМЕНТАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН**

© Е.А. Мохова, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева

В данной статье описывается разработка орнаментальных композиций для трикотажных полотен с использованием архитектурных мотивов. В первую очередь исследуется источник вдохновения в виде архитектуры города Балаково Саратовской области. Отдельное внимание уделено художественной разработке орнаментальных решений на основе фасадов зданий города. Также в работе описано технология изготовления предложенных вариантов.

Ключевые слова: Архитектура, орнамент, трикотаж, композиция, костюм, жаккард

E.A. Mokhova, O. A. Vigelina, E. M. ErmolaevaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**ARTISTIC DESIGN OF ORNAMENTAL COMPOSITIONS FOR KNITTED FABRICS**

This article describes the development of ornamental compositions for knitted fabrics using architectural motifs. The article primarily explores the source of inspiration in the form of the architecture of the city of Balakovo in the Saratov region. Special attention is given to the artistic development of ornamental solutions based on the city's building facades. The article also describes the manufacturing techniques for the proposed designs.

Keywords: Architecture, ornament, knitwear, composition, costume, jacquard

Трикотаж является одним из древнейших текстильных материалов. Его история насчитывает тысячелетия, и он продолжает оставаться невероятно востребованным в современной модной индустрии. Уникальные свойства трикотажа — эластичность, универсальность, комфортность и способность принимать сложные объемные формы — открывают безграничные возможности для работы дизайнеров. В условиях динамично развивающегося рынка и изменчивых потребительских запросов разработка орнаментальных решений трикотажных полотен представляет собой актуальную работу.

Целью проекта является художественное проектирование орнаментальных композиций трикотажных полотен, отвечающим актуальным технологическим и эстетическим требованиям.

Задачами, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели является эскизная разработка орнаментальных композиций для трикотажных полотен, которая также включает поиск и изучение источника вдохновения, анализ модных тенденций в трикотаже и создание эскизов коллекции трикотажных изделий. А также формулировка основных концептуальных идей, художественная разработка проекта и выполнение в материале одной из пяти моделей.

Источником вдохновения для создания коллекции послужили здания маленького города Саратовской области под названием Балаково. Архитектурный ансамбль, складывающийся на протяжении нескольких столетий, соединил в себе деревянные и каменные постройки восемнадцатого века, русское узорчье, классические здания и пр.

В проекте заложена идея возможности переосмысления старых взглядов на то, что окружает нас каждодневно, а также необходимости проведения реставрационных работ исторического наследия города.

Визуальной базой для создания образа проекта послужили фотографии зданий города из личного архива.

Основой для стилизации оконных проемов во многих монокомпозициях коллекции послужил особняк купца-хлебопромышленника, банкира Василия Васильевича Голованова (рис 1). Здание было построено в начале XX века, с мезонином и мансардой в стиле неоготики, общей площадью более 450 кв. м. С 1986-го года особняк - Краеведческий музей г. Балаково, филиал Саратовского областного музея краеведения. Кирпичное здание музея, является памятником архитектуры местного значения. Фонды

музея насчитывают около 6,5 тысяч единиц хранения. Это коллекции живописи и графики, нумизматики, предметы археологии и этнографии, прикладного искусства [1].



Рис. 1. Особняк купца-хлебопромышленника, банкира В.В. Голованова в городе Балаково

Еще одним архитектурным сооружением, фасад которого стал источником вдохновения для создания образа коллекции, является «Особняк», расположенный по адресу ул. Московская, д. 48 (рис. 2). Историческое здание было построено в 1902 году, а его собственниками стали николаевский купец Николай Задков вместе с женой Прасковьей. Часть помещений они сдавали в аренду. Здание является памятником архитектуры. Вероятнее всего дом был построен зажиточным крестьянином. Архитектор неизвестен. Фасад украшен каменным обильным узорочьем, характерным для неорусского стиля. Уникальными элементами этого здания являются угловые аттики с круглыми розетками и филенками, центральные аттики с квадратными ширинками и сухариками, декор фасада кирпичными капителями и пилястрами, выразительный декор окон – с наличниками с серьгами и трехчастными сандриками. Помимо того, в предмет охраны включены и ворота с аттиком, которые украшены полукруглой розеткой с лучами [2].



Рис. 2. Историческое здание, расположенное по адресу ул. Московская, д. 48 в г. Балаково

Еще одним зданием, внешний облик которого лег в основу разработки коллекции является дом по адресу Московская улица, дом 55А (рис. 3). Пристройка этого жилого помещения, построенного в конце XIX – начале XX веков, находится напротив «Особняка», тем самым здания формируют облик улицы. Фасад пристройки украшен сдержанным узорочьем на аттике и лопатках. Оконный проем имеет необычную форму с дугообразным верхом, подобный тип окон часто встречается в районе старого города [3].



Рис. 3. Пристройка исторического здания, расположенного по адресу ул. Московская, д. 55 А в г. Балаково

Поскольку главными элементами для стилизации выступают исторические здания, необходимо учитывать, что архитектура упорядочена и ритмична, также в большинстве своем она симметрична, хотя есть и исключения. В коллекции основной акцент делается не на форму, а именно на декоративное оформление зданий: рельефы, украшающие фасады, кирпичную кладку, кованые решетки. Стилистически коллекция является совмещением классики и романтики.

В ходе анализа модных тенденций выявлено, что разработка трикотажных полотен и изделий из трикотажа является актуальной темой, которая привлекает внимание людей из разных сфер по всему миру. С каждым годом на подиумах появляется все больше трикотажных изделий. Люди выбирают комфорт, новые, более экологичные технологии и современный привлекательный дизайн (рис. 4).



а б в

Рис. 4. Трикотажные образы в коллекциях: а – TORY BURCH RS26; б – ROBERTO CAVALLI RS26; в – FERRARI SS26

Коллекция представлена пятью женскими моделями (рис. 5). Силуэты моделей преимущественно прямые и полуприлегающие, максимальной или минимальной длины, что согласуется с тенденциями на модных подиумах. Орнаментальные решения представлены монокомпозициями и линейными раппортами. Основной стиль, в рамках которых создается коллекция – классический.



Рис. 5. Коллекция женских трикотажных изделий

В разрабатываемой коллекции учтены модные тенденции последних сезонов в трикотаже: жаккардовые переплетения с характерным рисунком, а также комбинированные на их основе.

Цветовая гамма коллекции умеренная по количеству цветов, но выразительная. Главными оттенками являются белый и темно-сине-зеленый, а также вариации кирпичного и серо-бежевого, что согласуется с колористическими решениями многих образов с показов.

Идеально проработан баланс теплого и холодного. Теплый кирпичный вступает в диалог с холодным томно-сине-зеленым, а белый и бежево-серый выступает нейтральным звеном, не давая этому контрасту стать слишком резким.

Цвета ассоциируются с материалами: шероховатая фактура кирпича, гладкая поверхность стекла и отраженным в ней синем небом и матовая белая краска. За счет этого происходит игра фактур.

В ходе создания коллекции женской одежды из трикотажа большое внимание было уделено разработке трикотажных полотен, которые являются основой для составления визуального образа изделий.

В выборе подходящих для стилизаций элементов и преобразовании их в текстильный материал необходимо было подобрать подходящие сочетания фактур, которые позволили бы передать идею коллекции наиболее выразительно.

Идеей для создания орнаментального решения платья в первом образе коллекции послужило сочетание каменных наличников «Особняка» и оконных проемов пристройки по адресу Московская улица, дом 55А (рис. 6 б, в), которые находятся друг напротив друга через дорогу и тем самым фасады зданий формируют облик улицы. В разрабатываемом орнаменте крупный наличник «Особняка» и более минималистичное и меньшее по размеру окно пристройки напротив располагаются в шахматном порядке (рис. 6 а). Фон выполнен насыщенным синим цветом, рельефные наличники – белым, сами же оконные проемы имеют яркий кирпичный оттенок. Окна в качестве элементов орнамента имеют стилизованную упрощенную форму без детальной проработки, что позволяет их воспринимать почти как локальные пятновые решения.



Рис. 6. Художественное решение для первого образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б – каменные наличники «Особняка»; в – оконный проем пристройки по адресу ул. Московская, д. 55 А

Второй образ коллекции составляет платье, внешний вид которого строится на сочетании гладкого трикотажного полотна с локальным использованием линейных орнаментов (рис. 7 а), имитирующих геометрический орнамент антаблемента. В качестве источника вдохновения выступает каменное узорочье «Особняка» (рис. 7 б). Цветовая гамма минималистична, представлена белым и серым. Орнамент строится на оттеночном контрасте этих цветов.



Рис. 7. Художественное решение второго образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б – каменное узорочье «Особняка»

Третий образ коллекции состоит из двух изделий, выполненных разными переплетениями. Для платья, представленного в белом цвете, разрабатывались линейные орнаменты, построенные на контрасте серого и белого (рис. 8 а) и имитирующие ритмы на фасаде здания. В качестве источника вдохновения выступают каменное узорочье «Особняка», а также оформление арки для ворот этого же здания (рис. 8 б, в). Для второго изделия - корсетного топа, орнаментальные мотивы не разрабатывались, поскольку они не предусмотрены эскизом.

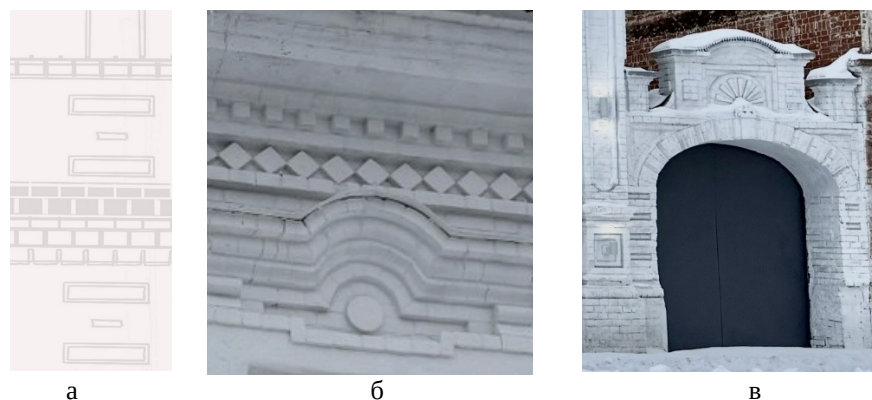


Рис. 8. Художественное решение третьего образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б – каменное узорочье «Особняка»; в – каменная арка ворот «Особняка»

Четвертый образ коллекции представлен двумя изделиями, в которых разрабатываются различные орнаментальные композиции. Орнамент для платья представляет собой крупную монокомпозицию (рис. 9 а), которая стилизованно имитирует оконную раму. Цветовая гамма решена тремя цветами: насыщенным синим, кирпичным и белым. В качестве источника вдохновения выступает оконный проем здания Краеведческого музея г. Балаково (рис. 9 б). Рисунок строится на сочетании горизонтальных и вертикальных полос, симметричных относительно центральной линии. Второе изделие образа представлено болеро, орнаментальное решение для которого выполнено в ахроматических цветах: белом и сером. В качестве мотивов были взяты стилизованные окна «Особняка», вписанные в прямоугольную геометрическую фигуру, выстроенные в раппортную сетку, с четким геометрическим членением, без смещения (рис. 10).

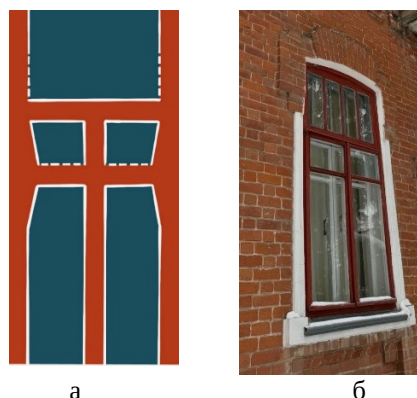


Рис. 9. Художественное решение платья четвертого образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б – каменный наличник и окно «Особняка В.В. Голованова»



Рис. 10. Художественное решение болеро четвертого образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б – каменный наличник и окно «Особняка»

Для пятого образа коллекции разрабатывалась крупная монокомпозиция. В качестве источника вдохновения выступают оконные проемы здания Краеведческий музей г. Балаково (рис. 11 б, в). Цветовая гамма решена тремя цветами: насыщенным синим, кирпичным и белым, который выступает в качестве фона. Разрабатываемая монокомпозиция (рис. 11 а) является собирательной стилизацией двух оконных решений музея, многие ее элементы намеренно искажены с целью получения выразительного

современного орнамента. На участках пересечения горизонтальных и вертикальных полос в рисунке происходит инверсия цвета, что также придает орнаменту более интересное выражение.

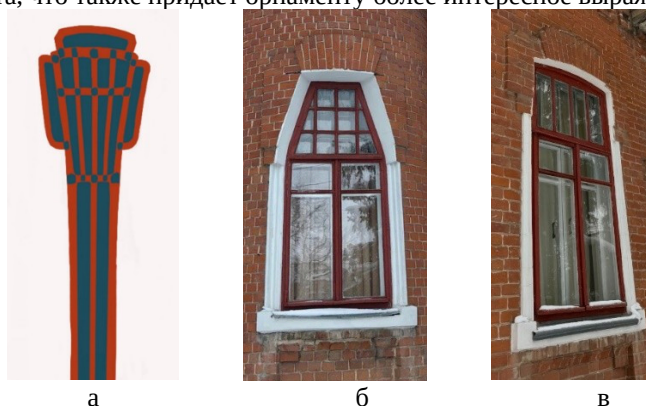


Рис. 11. Художественное решение пятого образа коллекции: а – орнаментальная разработка; б, в – каменные наличники и окна «Особняка В.В. Голованова»

Для реализации в материале было выбрано платье, представленное в четвертом образе коллекции. Сам образ модели составлен двумя изделиями: платьем минимальной длины с крупной монокомпозицией и болеро с длинными рукавами.

Женское платье предназначено как для повседневного ношения, так и на выход, всесезонное, имеет длину до середины бедра. Силуэт – полуприлегающий. Рукава у изделия отсутствуют, но имеются ляжки шириной около 5 см. Вырез горловины по переду и спинке имеет форму каре и проходит на 10 см ниже яремной ямки. Горловина и проймы имеют белую окантовку, высотой с размер белых линий орнамента.

Перед и спинка платья решены крупной монокомпозицией, симметричной относительно центральной линии. Для реализации рисунка предполагается разработка жаккардового переплетения. В качестве фона выступает насыщенный сине-зеленый цвет. Рисунок формируется контрастными полосами кирпичного цвета с белой тонкой каймой. Полосы расположены горизонтально, вертикально и наклонно. Их сочетание одновременно создает схожее со строением оконной рамы изображение и формирует рисунок, подчеркивающий женскую фигуру. В качестве источника вдохновения выступают оконные проемы особняка купца-хлебопромышленника, банкира В.В. Голованова, которое в настоящий момент является зданием Краеведческого музея г. Балаково.

Синий цвет фона является отображением стекла, в котором отражается небо, кирпичный цвет полос копирует цвет наружной оконной рамы, а тонкие белые линии отображают собой цвет рамы внутреннего окна, который лишь немного виден с внешней стороны дома. Крупные вертикальные кирпичного цвета полосы по бокам платья являются изображением оконной рамы, в верхней части изделия, на уровне выреза горловины они переходят в ляжки. Вертикальная линия, проходящая по центру переда и спинки – средняя линия нижней части окна, которая является соединением двух створок.

Верхняя горизонтальная полоса на платье проходит под грудью и отображает перемычку между верхней нераздвижной частью окна и нижней, состоящей из двух створок. Средняя горизонтальная линия платья проходит по линии талии и изображает декоративные раскладку на створках окна. Таким образом, горизонтальные линии в верхней части изделия в сочетании с вертикальными формируют подобие корсета, поддерживающего грудную клетку. Низ платья оканчивается тонкой белой горизонтальной линией, соразмерной белой кайме на широких кирпичных полосах. В некоторых местах орнамента, а именно на вертикальных полосах в зоне груди и горизонтальных полосах на линии талии, белые линии имеют прерывистую структуры, напоминающую пунктир, что дает отсылку на внешний вид самого здания, выполненного из красного кирпича, и создает намек на стыки кирпичной кладки.

Был выполнен технический эскиз платья (рис. 12).

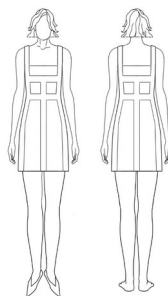


Рис. 12. Технический эскиз платья

Женское болеро, предназначено как для повседневного ношения, так и на выход, всесезонное. Силуэт прямой, длина переда и спинки на 6 см выше линии груди. Используется рисунчатое трикотажное переплетение, что позволяет формировать рисунок не только за счет разного цвета пряжи, но и рельефа. Болеро вяжется одной деталью, начиная с правого рукава, затем вяжутся перед со спинкой и заканчивается левым рукавом.

Изделие имеет рукава большого объема, прямые, одношовные. Рукава длиной чуть ниже запястья. Перед болеро имеет разрез по центральной линии, застежка на запах, по середине переда идет застежка на крючках, не видимых с лицевой стороны изделия. Вырез горловины круглый, проходит по линии яремной впадины, окантован линией белого цвета высотой около 1 см, одновременно с застежкой и низом изделия, низ рукавов также обработан бейкой.

Болеро выполняется в ахроматических цветах: белом и сером. Основной фон изделия выполняется в белом цвете. В качестве орнаментальных мотивов используются стилизованные окна «Особняка», выстроенные в раппортную сетку без смещения. На рукаве орнамент пять раз укладывается в длину и около двух или трех раз в ширину. На переда и спинке элемент орнамента по высоте уместается один раз, и по ширине дважды, симметрично относительно центральной линии.

Моноконпозиция для платья имеет цветовую гамму, состоящую из трех цветов и для ее реализации был выбран трехцветный неполный жаккард, который позволяет создавать трехцветный рисунок без потери насыщенности цвета пряжи, а также удобен для проектирования, поскольку лицевая петля имеет не настолько вытянутую структуру, как в трехцветном полном жаккарде, что не искажает рисунок. Также за счет данного переплетения, расход пряжи меньше, чем при изготовлении изделия с полным жаккардовым переплетением. Двойные жаккардовые переплетения получают на базе ластика. В неполном жаккардовом переплетении петли одного цвета на изнаночной стороне формируются последовательно через иглу. На лицевой стороне петли провязываются по рисунку. За счет этих особенностей формируется внешний признак неполного жаккарда - на лицевой стороне виден рисунок в соответствии с патроном, на изнаночной - «шашечка» [4].

Для создания орнаментального решения болеро было выбрано комбинированное переплетение на базе двухцветного неполного жаккарда с участками выключенных на передней игольнице игл. Подобное переплетение не только дает возможность добавить в рисунок третий средний цвет, получаемый из-за смещения в шахматном порядке на изнаночной стороне петель двух цветов пряжи, но также добавляет рельефа за счет того, что участок с выключенной на передней игольнице иглой тоньше участка с жаккардовым переплетением.

В ходе техногической разработки изделия из трикотажа важным этапом является разработка заправочных карт на вязание.

Необходимо учитывать технические характеристики выбранной для работы машины. Создания купонов для платья осуществлялось на машине Stoll 502 KI 12 класса, имеющей 2 петлеобразующие системы. Следующим этапом, после определения характеристик машины для работы, опытным путем определяются такие параметры, как плотность вязания по горизонтали и вертикали. Для этого необходимо отвязать образец переплетения, с которым планируется дальнейшая разработка. Важно учитывать, что все параметры, включая состав и линейную плотность пряжи, а также плотность вязания, должны соответствовать будущему купону.

Также необходимо рассчитать линейные размеры купона согласно параметрам фигуры, на которую изделие проектируется. На рис. 13 представлена схема купона для платья с линейными измерениями.

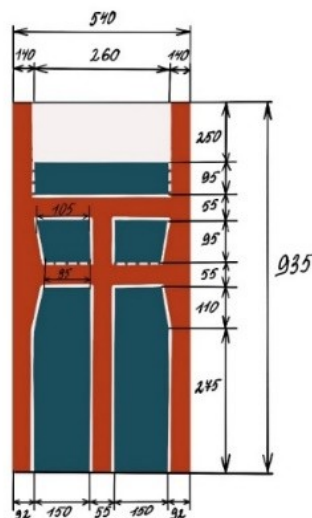


Рис. 13. Схема купона переда/спинки для платья

После выполнения всех необходимых расчетов для деталей изделия были составлены заправочные карты на вязание купонов (таблица 1).

Таблица 1. Заправочная карта на вязание деталей переда и спинки изделия

Участок	Ширина участка, мм	Длина участка, мм	Число игл	Число рядов
Купон переда	540	935	376	592
Купон спинки	540	935	376	592

После того, как купоны были отвязаны, им необходима отлёжка в течение не менее 24 часов. Затем необходимо выполнить ВТО.

Следующим этапом идет накладка купонов на манекен и придание формы платья методом макетирования (рис. 14). Необходимо нанести контурные линии, по которым в дальнейшем будет проводиться подкрой.



Рис. 14. Предварительная примерка платья на манекене

Следующим этапом является пошив изделия, который включает обработку срезов на краеобметочной машине, стачивание правого плечевого среза деталей переда и спинки, с последующей обработкой горловины деталей переда и спинки бейкой на кетельной машине, затем стачивание второго плечевого среза деталей переда и спинки, за которым следует обработка правой и левой проймы платья бейкой на кетельной машине и стачивание деталей переда и спинки по боковым швам.

В ходе выполнения проекта была достигнута цель: были разработаны орнаментальные композиции трикотажных полотен, отвечающим актуальным технологическим и эстетическим требованиям. Также был выполнен ряд задач: изучен источник вдохновения, на основе которого было сформировано образное решение коллекции, произведен анализ модных тенденций в трикотаже и созданы эскизы коллекции трикотажных изделий. Было составлено художественное описание фактур трикотажных полотен выбранного для реализации в материале образа. В результате выполнения проекта были отвязаны купоны для платья и осуществлена сборка изделия.

Список литературы

1. Особняк купца-хлебопромышленника, банкира В.В. Голованова. URL: <https://www.tursar.ru/page-joy.php?j=4606> (дата обращения: 20.03.2026)
2. Купеческий особняк в Балакове признан предметом охраны культурного наследия. URL: <https://saratov24.tv/news/kupecheskiy-osobnyak-v-balakove-priznan-predmetom-okhrany-kulturnogo-naslediya/> (дата обращения: 20.03.2026)
3. Дом по адресу г. Балаково, ул. Московская, 55А. URL: <https://dom.mingkh.ru/saratovskaya-oblast/balakovo/1034524> (дата обращения: 20.03.2026)
4. С. В. Макаренко. Строе и проектирование трикотажа: практикум. Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – 77 с.

References

1. *Osobnyk kuptca-hlebopromishlennika, bankira V.V. Golovanova*. URL: <https://www.tursar.ru/page-joy.php?j=4606> [The mansion of the merchant-baker and banker V.V. Golovanov]. (date accessed: 20.03.2026)
2. *Kupechesky osobnyk v Balakovo priznan predmetom ohrany kulturnogo naslediy*. URL: <https://saratov24.tv/news/kupecheskiy-osobnyak-v-balakove-priznan-predmetom-okhrany-kulturnogo-naslediya/> [The merchant mansion in Balakovo has been recognized as a cultural heritage site]. (date accessed: 20.03.2026)

3. Дом по адресу г. Балаково, ул. Московская, 55А. URL: <https://dom.mingkh.ru/saratovskaya-oblast/balakovo/1034524> [The house is located at 55A Moskovskaya Street in Balakovo]. (date accessed: 20.03.2026)
4. S.V. Makarenko. *Stroenie I proektirovanie trikotaga: praktikum*. [Structure and designing of knitted fabrics: a practical guide]. Saint Petersburg: SPbGUPTD, 2025. 77 pp. (in Rus.).

УДК 677.025

В.О. Акимова, О.А. Вигелина, Е.М. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗРАБОТКА КОЛЛЕКЦИИ ТРИКОТАЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭЛЕМЕНТАМИ КИТАЙСКОЙ СИМВОЛИКИ**

© В.О. Акимова, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева

В данной статье описывается личная интерпретация китайской растительной символики на основе традиционного значения и применение ее в современном дизайне одежды. В начале исследуется история использования растительных элементов в традиционном китайском искусстве, где особое внимание уделяется символике пиона. После чего, на основе данного исследования, разрабатываются орнаменты для современной коллекции трикотажной одежды с собственным прочтением значения растительной символики. В работе представлена художественная разработка и описание модельного ряда. На примере одного изделия рассмотрена поэтапная технология изготовления трикотажных изделий с жаккардовым рисунком.

Ключевые слова: Жаккард, трикотаж, костюм, орнамент, одежда, силуэт, символика

V.O. Akimova, O. A. Vigelina, E. M. ErmolaevaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF KNITTED CLOTHING WITH ELEMENTS OF CHINESE SYMBOLISM**

This article describes a personal interpretation of Chinese plant symbolism based on traditional meaning and its application to contemporary fashion design. It begins by exploring the history of plant elements in traditional Chinese art, with particular attention to the symbolism of the peony. Then, based on this research, patterns are developed for a contemporary knitwear collection, reflecting a personal interpretation of the plant symbolism. The work presents the artistic development and description of the product range. Using one product as an example, it examines the step-by-step manufacturing process for jacquard knitwear.

Keywords: Jacquard, knitwear, suit, pattern, clothing, silhouette, symbolism

В современном модной индустрии выявляется потребность в уникальных и узнаваемых образах, которые будут сохранять культуру прошлого и совмещать ее с настоящим, способствуя появлению новых дизайнерских решений. Актуальность проекта заключается в том, что в современном дизайне одежды редко уделяется должное внимание историко-культурному контексту китайского искусства. Из-за этого культурные элементы воспринимаются поверхностно, а символика может быть истолкована стереотипно.

Задача проекта состоит в разработке коллекции трикотажных изделий на основе растительных мотивов китайского искусства, которая будут отражать формы и силуэты традиционного китайского костюма, орнаментальное решение в одежде и живописи Китая и их интерпретация в современную одежду.

Проектирование коллекции включает в себя анализ модных тенденций, выявление целевой аудитории, разработку художественных эскизов коллекции и выполнение одной из пяти моделей в материале.

Человека с древнейших времен окружен природой, из-за чего она стала главным источником вдохновения и оказала значительное влияние на мировое искусство. Даосизм, являющийся одним из главных учений Китая, проповедует единство и связь человека и природы, что проявляется в средневековой китайской живописи, одежде и декоративно-прикладном искусстве, посредством изображения растений.

Растительные мотивы являются неотъемлемой частью китайской культуры. Данная страна считается родиной большого количества цветов, именно по этой причине цветы окружают китайский народ повсюду, в том числе и в символике.

В китайской культуре широкое пользование и распространение цветов в символике. Символические элементы цветов используют в фестивалях и других мероприятиях, в традициях, мифах, легендах и песнях, отражающие важные события в жизни, а также в другие виды искусства, например, фарфор и керамика, живопись (хуаняо) и архитектура (рис. 1). В растительном традиционном орнаменте доминируют изображения распустившихся, объемных цветов на стеблях с листьями, в основном представленные в виде пионов, лотосов, бамбука или цветущей яблони.



Рис. 1. Использование растительных мотивов в китайском искусстве: а – живопись «Бамбук» Вэнь Тун; б – фарфор династии Мин; в – керамический архитектурный декор, Пекин

Пион, являясь традиционным цветком Китая, с древних времен несет в себе глубокий символизм. Данный цветок, выглядящий одновременно могущественно и нежно, олицетворяет власть, торжественность и величие. Изображение пиона воплощает благопожелание лучшей жизни и богатства, а также счастливого семейного союза и красоты.

Согласно конфуцианской концепции красоты, сущность пиона – гармония. На картине «Девушка из высшего общества с цветами в волосах» пионы изображены как цветы, отражающие эстетику китайского буддийского символа «энсо» (рис. 2). Взаимосвязь между данным символом и цветком прослеживается через ассоциативный ряд: лепестки бутона пиона визуальным образом напоминают круг, в то время как округлый символ «энсо» олицетворяет красоту и изящество [1].



Рис. 2. Картина «Девушка из высшего общества с цветами в волосах» Чжоу Фан

Техника письма, которой изображали пионы в живописи, была аккуратной и нежной, картины обычно выполнялись на парче или шелке (рис. 3).



Рис. 3. Живопись на шелке, Ци Байши

В китайском традиционном костюме были распространены узелковые застежки. Такие узлы относятся к символике благожеланий и называются «узлами удачи» (рис. 4). Для них характерны симметрия, цельность, прочность и непрерывность линий. Все элементы внутри узла сбалансированы, как правило, зеркальны и туго стянуты. Узел завязывают из одного цельного шнура или веревки, что служит олицетворением знака бесконечности. Узелковая пуговица развивает идею «узла удачи», но имеет конструктивное отличие: она разделена на две части, каждая из которых крепится к изделию. Соединяются они через узел и петлю [2].



Рис. 4. Китайские традиционные узлы: а – «узел удачи»; б – узелковая застежка

За последние годы выявляются следующие доминирующие тенденции: большой объем и удлиненные изделия, необычный крой, разнообразные орнаментальные решения, которые способны интерпретировать линии тема и визуально подчеркивать фигуру потенциального потребителя, а также возвращение к классическим традиционным мотивам, реконструированным современной трактовкой (рис. 5.).



Рис. 5. Коллекции: а - Ulla Johnson Fall 2026 Ready-to-Wear Collection; б - Ruohan Fall 2026 Ready-to-Wear Show; в - Ralph Lauren Fall 2026 Ready-to-Wear

Следующим этапом, после рассмотрения исторического толкования растительных орнаментов в китайском искусстве и выявления ключевых тенденций моды в трикотаже, формируется концепция коллекции трикотажной одежды.

Потенциальными потребителями являются женщины 18-40 лет, ведущие спокойный образ жизни, они любят путешествовать и проводить время на природе в кругу близких людей, ценят искренность и проявляют уважение к окружающим людям. Это женщины, которые интересуются китайской культурой и желают проявлять свои интересы через гардероб и находить в одежде смысл и отражение связи с культурой.

Название коллекции одежды «Сад пионов» отражает основной выбранный растительный элемент для орнаментальной реализации проекта, а также отсылает к китайской легенде о девушке, спасшей сад пионов от разрушения.

Трикотаж, выбранный в качестве материальной основы, позволяет реализовать изделия, отвечающие запросу на комфорт и, через техники жаккарда, спроектировать необходимые орнаментальные решения. Также использование трикотажа позволяет разнообразить ассортимент одежды с азиатскими мотивами на рынке, поскольку наблюдается крайне редкое использование трикотажа при реализации изделий с данной культурной идеей.

Источник вдохновения и тема коллекции трикотажной одежды визуализированы на муд-борде, представленном на рис. 6.



Рис. 6. Муд-борд

Художественное решение трикотажной коллекции представляет интерпретацию силуэтов традиционного китайского костюма и растительной символики Китая в современном дизайне, путем совмещения элементов прошлого и актуальных тенденций настоящего времени. Коллекция строится на принципах контраста статики и динамики, а также использования насыщенных орнаментальных композиций с культурной смысловой нагрузкой.

Цвет в китайской культуре также имеет символизм. По доктрине «Пяти элементов Инь и Ян», которая определяет порядок пяти элементов – вода, огонь, дерево, металл и земля, что соотносится с черным, красным, синим, белым и желтым, следует, что красный цвет указывает на стремление людей к лучшей версии себя и лучшей жизни, символизирует такие положительные качества как красота, счастье и благородность, а также демонстрирует уровень власти. Помимо этого, красный является символом китайской нации и является неотъемлемым атрибутом торжественных дней, демонстрируя величие страны.

Черный и белый являются неотъемлемой частью цветовой символики Инь и Ян, представляя ее основу. В китайской философии Инь и Ян представляют собой происхождение Дао, фундаментальный принцип гармонии всего сущего с постоянно меняющимся потоком Инь и Ян. Чёрный цвет символизирует глубину, достоинство и внутреннюю красоту. Он представляет тёмное и эмоциональное восприятие мира, отражая стабильность и прочность.

Белый цвет, по доктрине пяти элементов, связывают с золотом, и древние китайцы считали его символом света, прозрачности, блеска и изобилия жизни. Белый цвет символизирует прозрачность, мимолетность, открытость и пространство. Он объединяет все эмоциональные качества других цветов и раскрывает истинный смысл и границы вещей.

Выбранное цветовое решение коллекции представлено в виде основных оттенков, используемых в китайском искусстве, включающие в себя черный, красный и светло-бежевый. Данные цвета, имеющие особое значение, можно увидеть, как в китайской живописи, архитектуре, так и в самой традиционной одежде (рис. 7).



Рис. 7. Цветовая палитра коллекции

Коллекция трикотажной одежды «Сад пионов» отсылает к стране Дальнего Востока цветовой палитрой, силуэтами изделий, а также орнаментальным решением, представленный в виде традиционных китайских растительных мотивов, что позволяет людям, увлекающимся культурой данной страны, сочетать свой интерес с комфортом и удобством, добавив в свой гардероб изделия, отражающие их внутренний мир и личные интересы, но при этом подходящие для повседневной жизни.

На следующем этапе начинается работа с эскизами коллекции, состоящей из 5 моделей (рис. 8).

Коллекция является капсульной, что позволяет создавать различные комбинации и формировать новые образы. При этом каждое изделие коллекции универсально и может выступать как самостоятельный элемент гардероба. В рамках данной работы в материале реализована модель 1, представленная на рис. 8. Образ состоит из двух изделий: жакета и брюк. Женский комплект предназначен для повседневной носки в помещении в осенне-зимний период. Костюм изготовлен из двойного неполного двухцветного жаккардового переплетения красного и черного цветов, с акцентным бежевым цветом, представленным в орнаментах.



Рис. 8. Эскизы моделей применения

В качестве сырья была выбрана смешанная пряжа «портвейн» 30% шерсть, 70% ПАН, смешанная пряжа «жемчужный иней» 30% шерсть, 70% ПАН, полушерсть черная 50/50% (шерсть, ПАН). Линейная плотность Т=31х2 текс. Размер 88/92, рост модели 170-175 см.

Жакет полуприлегающего силуэта, черного цвета с орнаментом на правой полочке. Акцентным элементов изделия является воротник-стойка красного цвета. Рукава однотонные, черного цвета, расширяются к низу изделия, отсылая на отличительную деталь традиционного китайского костюма: доцинские плечевые изделия всегда были с широкими рукавами. Полочка жакета устроена наподобие запаха на традиционных китайских халатах и платьях. Застёжка выполнена в форме узелковой пуговицы, напоминающей классический китайский узел. Изделие распашное, правая полочка также имеет асимметричный низ, на ней же расположен орнамент. Диагональ полочки проходит справа налево, острым углом «указывая» на орнамент, расположенный на боковой части брюк, создавая баланс, а также имитируя продолжение орнамента жакета и совмещая значения рисунков: переход от внешней красоты к внутренней и их переплетении друг с другом, образуя гармонию.

Брюки представляют собой поясное изделие красного цвета с расширением к низу, создавая большой объем, что соответствует модным тенденциям, а также имитирует силуэт традиционных китайских брюк. На брюках и жакете орнамент с использованием образа пиона.

Основным мотивом при разработке орнаментальных композиций для жаккардового переплетения стал пион, который является одним из главных растительных образов в китайской культуре и нередко встречается в традиционном китайском костюме (рис. 9).



Рис. 9. Разработка орнаментов для первой модели: а – орнамент для жакета; б – орнамент для брюк

В художественном решении изображения данного цветка на эскизах изделий учитывалось символическое значение пиона. На первой модели, на правой полочке жакета, изображен распустившийся цветок, обрамленный листьями и бутонами, выполненный в авторском стиле, при котором каждый элемент цветка отделяется от другого, демонстрируя каждую деталь (рис. 9 а). В китайской культуре существует поэтическое сказание о девушке, спасшей сад распустившихся пионов, который был прозван людьми садом «ста цветов» из-за его красоты, от разрушений сына крупного чиновника Чанг-Эй. Девушка попросила старика, высадившего цветы, принести воды, чтобы она смогла возродить сад, и когда все было выполнено, пионы стали только прекраснее, а Чанг-Эй был наказан за разрушения. Сказка гласит о том, что любовь и сохранение цветов приносит счастье не только самому человеку, но и окружающим. Анализируя данное сказание, было принято решение изобразить пион именно в распустившемся виде, сохраняя идею сказания и его морали.

Листья и стебли, обрамляющие пион расположены таким образом, чтобы визуально повторить фигуру треугольника. Два нижних листа дублируют диагональный низ самого изделия, в то время как верхние стебель с листьями, образующие угол, в комбинации с темным фоном, способны подчеркнуть талию. Причина данного решения заключается в том, что темный цвет визуально уменьшает объемы, поэтому выбранная треугольная форма, а также контрастный светло-бежевый цвет самого орнамента, способны улучшить внешний вид самого изделия.

Помимо этого, контрастная цветовая палитра также способна выделить цветок на фоне всего изделия, привлекая внимание, тем самым подчеркивая значение распутившегося пиона и мораль сказания о саде «ста цветов».

Для орнамента брюк также использовалось изображение распутившегося пиона (рис. 9б). Их расположение представлено в виде линейной композиции, проходящую вдоль левой ноги, а чередование повторяющегося рисунка визуально образует волну. Элемент волны в китайской традиционной символике также имеет свое значение. В огромном мире дизайна геометрические узоры, с их простотой, порядком и напряженностью, стали визуальным языком, который преодолевает время и культуру. В этой группе есть узор водной волны. Вода – это источник жизни, а потому она обладает мистическим значением в культуре. В буддизме она является важным символом, означающими святость и чистоту. В древнем Китае существовала традиция жертвоприношений на воде. Считалось, что вода (иногда заменяемая вином) может очистить тело и гарантировать расположение Неба. Именно поэтому она, как источник человеческой жизни, пользуется уважением и почитанием. Таким образом, используя изображение пиона и сочетая его со скрытым проявлением еще одного элемента символики Китая, морской волной, орнамент начинает нести в себе двойное значение: красота, стойкость, процветание и власть объединяются с чистотой души и тела, образуя сочетание прекрасного внешнего и внутреннего.

Орнамент выполнен в авторском стиле. Как и в рисунке для жакета, был выделен каждый элемент цветка и листьев, демонстрируя каждую деталь. Помимо этого, в орнамент был внедрен дополнительный эффект, несущий в себе значение «восстановления», подчеркивающий символизм пиона и узора морской волны: очищение души и тела изнутри и проявление красоты внешнего, образуя симбиоз прекрасного.

На примере жакета рассмотрим технологию изготовления подобных изделий. Для жакета был выбрано двойное двухцветное неполное жаккардовое переплетение (рис. 10). На лицевой стороне полотна виден рисунок в соответствии с патроном, а на изнаночной формируется «шашечка» из двух цветов [3]. Для планки, пояса и манжет изделия было выбрано переплетение сдвоенная гладь.

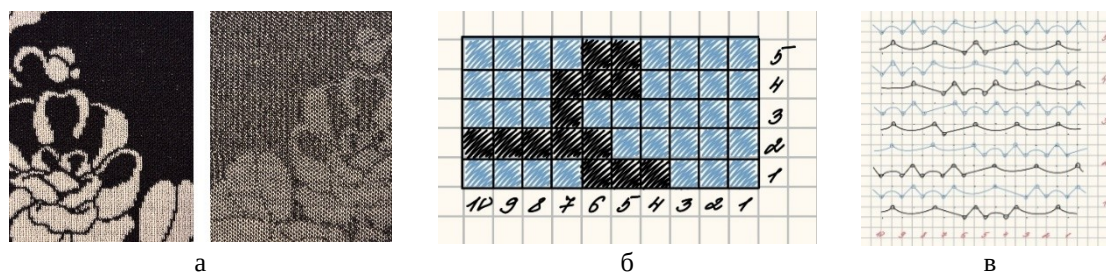


Рис. 10. Двухцветное неполное жаккардовое переплетение: а – внешний вид, б – патрон, в – графическая запись

В ходе работы были выполнены технические эскизы (рис. 11) и техническое описание для модели 1, состоящей из жилета и брюк.

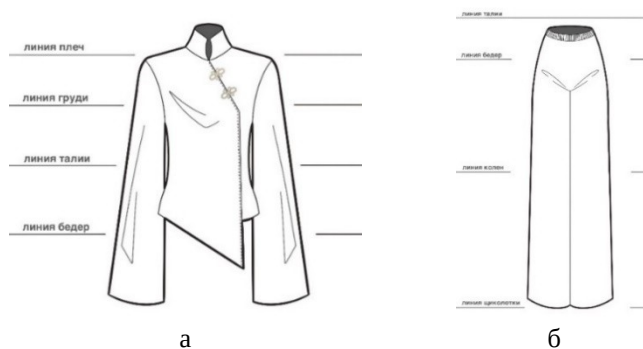


Рис. 11. Технические рисунки модели 1: а – жакет; б – брюки

Жакет женский среднего объема, полуприлегающего силуэта с асимметричным низом, длиной ниже линии бедер на 3 см по переду и выше линии бедер на 6 см по спинке. Основное переплетение – неполный двухцветный жаккард. Способ изготовления – полурегулярный. Плечевой пояс наклонный, естественной ширины, с плавным переходом к линии рукава. Рукав втачной, расширяющийся к низу, большого объема, длиной ниже линии запястья на 5 см, низ рукава оформлен манжетами, выполненными сдвоенной гладью, высотой 3 см, рукав однотонный, черный, без орнамента. Линия проймы естественная. Рукав расширяется в низу на 10 см. Горловина естественная, оформленная воротником-стойкой, высотой 6 см, выполненный однотонным жаккардовым переплетением красного цвета. Линия талии естественная, подчеркнута легким прилеганием в боковом шве. Жакет плотно прилегает к телу на участке бедер. Изделие имеет распашную застежку петля-пуговица (представленная двумя узелковыми пуговицами), шириной 7 см. Застежка смещена на 8,5 см влево от средней линии переда. Застежка петля-пуговица располагается выше линии груди. Первая узелковая пуговица расположена на 13 см выше линии груди, вторая – на 7 см. Правая полочка жакета имеет монораппортную композицию, высотой 30 см и шириной 24 см, выполненную с помощью неполного двухцветного жаккардового переплетения. Левая полочка длиной 48 см, правая полочка длиннее на 9 см, представлена в виде диагонали от бокового шва до линии рельефа переда. Обе полочки имеют планку, выполненную сдвоенной гладью, высотой 3 см, а низ оформлен поясом, переплетение – сдвоенная гладь, высота 3 см. Спинка изделия однотонная черная, без орнамента, длиной 48 см.

Брюки женские, большого объема, трапецевидного силуэта, длиной ниже линии щиколотки на 3 см. Основное переплетение – двухцветное неполное жаккардовое переплетение. Способ изготовления – полурегулярный. Верх брюк, на линии талии, имеет пришивной пояс, выполненной ластиком 2+2, высотой 3 см. Изделие также имеет манжеты, выполненные сдвоенной гладью, высотой 3 см. Брюки расширяются в низу на 7 см. На левой стороне брюк, по боковой части, располагается раппортная композиция, шириной 20 см, высотой 72 см. Орнамент располагается на 4 см выше низа изделия и заканчивается на середине бедра. Правая сторона брюк – без орнамента.

В качестве оборудования для вязания полотен выбор был сделан в пользу плосковязальной машины STOLL CMS KI 520 (Германия) 12 класса, поскольку она характеризуется высоким качеством вязания и своими технологическими возможностями.

Первым этапом проектирования модели в материале являются определение плотности по горизонтали и вертикали, а также расчеты купонов. Плотность по горизонтали и вертикали определяется экспериментальным путем: $P_g = 64$ иглы на 10 см; $P_v = 82$ ряда на 10 см. После получения данных о плотности по горизонтали и вертикали был произведен расчеты игл и рядов для купона жакета, а именно правой и левой полочки, спинки, рукава и воротника. Дополнительно к расчетам были нарисованы купоны, на которые в последствии были нанесены все полученные из расчетов данные. На рис. 12 представлена схема купонов для переда с линейными измерениями.

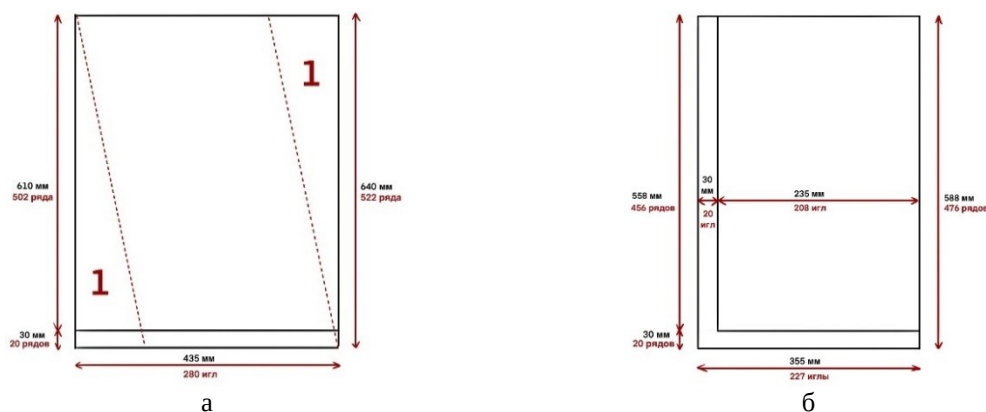


Рис. 12. Схема купонов переда для жакета с линейными измерениями: а – правая полочка; б – левая полочка

На схеме правой полочки на рис. 12 а участки подкрой обозначены цифрой 1.

На рис. 13 представлена схема купонов для спинки и рукава с линейными значениями и расчетами.

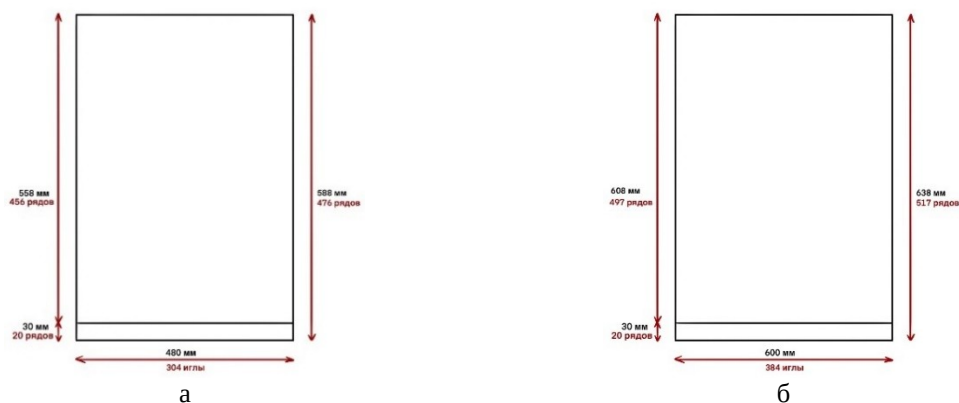


Рис. 13. Схема купонов для жакета: а – схема купона спинки; б – схема купона рукава

После изготовления купонов следует этап примерки, подкрой и начала швейных операций. Сначала стачиваются и обметываются плечевые и боковые срезы, затем выполняется формирование рукавов и притачивание их к изделию, после чего следует прикетлевать планку к правой полочке жакета и воротник к горловине. Завершает формирование жакета крепление узелковой застежки. Фото готового изделия представлено на рис.14.



Рис. 14. Внешний вид готового изделия: а – вид спереди; б – вид сзади; в – вид сбоку

В ходе работы изготовлен в материале женский жакет и был предложен переосмысленный подход к традиционной китайской символике и костюму, интегрированный в современную модную парадигму. Такой подход способствует сохранению и популяризации культурного наследия через актуальные тенденции, проявленные в силуэтах, и орнаменты.

Список литературы

1. Лю Ли. Символическое значение пиона в китайской художественной культуре. // Культура: открытый формат. Международная заочная научная конференция: сб. научных статей. Минск: 2023. С. 120-126
2. Хоу Шуцзе. Орнамент «Благопожелательный узел» (吉祥结) в художественном проектировании китайской почтовой марки. Графический дизайн. традиции и инновации. Международной научно-практической конференции: сб. научных статей. Санкт-Петербург: 2025. С. 189-195
3. Макаренко, С. В. Строеение и проектирование трикотажа: практикум / С. В. Макаренко. – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025. – 77 с. ISBN 978-5-7937-2787-7

References

1. Liu Li. The Symbolic Meaning of the Peony in Chinese Artistic Culture. [The Symbolic Meaning of the Peony in Chinese Artistic Culture] *Culture: Open Format*. [International Correspondence Scientific Conference: Collection of Scientific Articles]. Minsk: 2023.120-126 pp. (in Rus.).

2. Hou Shujie. Ornament «Blagopozhelatel'nyj uzal» (吉祥结) v hudozhestvennom proektirovanii kitajskoj pochtovoj marki. [The Auspicious Knot (吉祥结) Ornament in the Artistic Design of Chinese Postage Stamps.] *Graphic Design. Traditions and Innovations*. [International Scientific and Practical Conference: Collection of Scientific Articles]. St. Petersburg: 2025. pp. 189-195. (in Rus.).
3. S.V. Makarenko. *Stroenie I proektirovanie trikotaga: praktikum*. [Structure and designing of knitted fabrics: a practical guide]. Saint Petersburg: SPbGUPTD, 2025. 77 pp. (in Rus.).

УДК 677.025

Л.С. Хозяйкина, О.А. Вигелина, Е.М. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗРАБОТКА КОЛЛЕКЦИИ ТРИКОТАЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ УДМУРТСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО КОСТЮМА**

© Л.С. Хозяйкина, О.А. Вигелина, Е.М. Ермолаева

В данной статье описывается авторская художественно-технологическая интерпретация традиций оформления удмуртской одежды в современном дизайне трикотажа. В первую очередь исследуется история удмуртского костюма, его основные черты и особенности. Отдельное внимание уделено традиционному орнаменту, его значению и способам расположения. На основе выявленных тенденций моды в трикотаже и национальных традициях оформления одежды проведена авторская художественная разработка трикотажной коллекции, состоящей из пяти законченных образов. Дано художественное и техническое описание предложенных решений. Кроме того, описана технологическая разработка одного изделия – жилета с раппортным орнаментом, и предоставлены фотографии готовой модели.

Ключевые слова: удмуртский орнамент, национальный костюм, трикотаж, традиции удмуртов, жаккардовый орнамент

L. S. Khozyaikina, O.A. Vigelina, E.M. ErmolaevaSaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**DEVELOPMENT OF A COLLECTION OF KNITWEAR BASED ON THE UDMURT NATIONAL COSTUME**

This article describes the author's artistic and technological interpretation of the Udmurt clothing design traditions in modern knitwear design. First of all, the history of the Udmurt costume, its main features and peculiarities are investigated. Special attention is paid to the traditional ornament, its meaning and ways of arrangement. Based on the revealed fashion trends in knitwear and national traditions of clothing design, the author's artistic development of a knitted collection consisting of five completed images was carried out. An artistic and technical description of the proposed solutions is given. In addition, the technological development of one product, a vest with a matching ornament, is described, and photographs of the finished model are provided.

Keywords: Udmurt ornament, national costume, knitwear, Udmurt traditions, jacquard ornament

В последние годы наблюдается рост интереса к этническим стилям в дизайне одежды, что связано с желанием людей подчеркнуть свою индивидуальность и уникальность. Одним из таких стилей является удмуртский, который отличается богатым культурным наследием, яркими расцветками и уникальными орнаментами.

Целью работы является разработка художественного решения для оформления трикотажа с использованием этнических мотивов.

Задачи, которые необходимо решить при выполнении работы: поиск и описание источника вдохновения, анализ модных тенденций, формулировка концептуальных идей, художественная разработка проекта и выполнение в материале одной из пяти моделей. Результаты исследования помогут в создании уникальных изделий, сочетающих в себе традиции и современность, а так же поспособствуют сохранению и распространению традиций малых народов.

Национальный удмуртский костюм как в прошлом, так и в наши дни является для его хозяина некой оболочкой. Он защищает не только от погодных условий, но и от проникновения злых духов. С древних времён удмурты являлись язычниками, некоторые элементы костюма создавались целенаправленно для обрядов и защиты.

Самая первая одежда удмуртов имела фасон, очень схожий с современными туниками. Крой одежды был простой, прямой, рукава и мужские брюки – широкими. Материал для пошива ткали вручную: на

севере использовали лён, на юге коноплю. Занятие животноводством дало возможность удмуртам использовать в качестве сырья овечью шерсть, из которой ткались шерстяные ткани [1].

Женский костюм отличался обилием деталей и особенностей. По сей день он активно используется на праздниках, свадьбах и других значимых событиях. Кроме того, женский костюм служит средством самовыражения и эстетической ценности, позволяя женщинам подчёркивать свою индивидуальность. Пример исторического женского костюма изображён на рис. 1.



Рис. 1. Исторический удмуртский костюм

Характерные элементы женского национального костюма: рубаша “дэрем”, снимаемый нагрудник с вышивкой “кабачи”, тканый или плетённый пояс и передника без грудки “азькышет” (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2. Элементы женского национального костюма: а – рубаша “дэрем”, б – нагрудник с вышивкой “кабачи”, в – передник без грудки “азькышет”

Нагрудник с вышивкой мог создаваться для праздников, для ежедневного ношения и для проведения обрядов. Назначение этого элемента одежды определяло характер и богатство вышивки.

Национальная одежда удмурток изготавливалась из пёстрых полотен с геометрическими или растительными узорами. Для свадебных церемоний использовались белые комплекты одежды. Главной особенностью женского костюма являлись его детальные отличия в зависимости от социального статуса девушки.

Головной убор удмуртской женщины мог рассказать о её семейном положении. В девичестве молодыми удмуртками надевались круглые или овальные шапочки из холста “такья”, которые обшивались кумачовой тканью, бисером и монетами (рис. 3, а). Такой головной убор не прятал волосы девушек, тем самым демонстрируя достаток, здоровье и полноту сил. Для замужних девушек такой головной убор считался вызывающим.



а



б



в

Рис. 3. Головные уборы удмурток: а – незамужние удмуртки; б – невеста; в – замужние удмуртки

Свадебный головной убор отличался своей нарядностью. Он сочетал в себе несколько элементов: шапка, платок, налобная повязка. Высокий головной убор трапецевидной формы украшался монетами и

бисером и символизировал достаток и плодovitость будущей супруги. Свадебный головной убор изображён на рисунке 3, б.

Замужние женщины помимо платков “кышет” и налобных повязок “йыркерттэт”, носили вышитое полотенце (рис. 3, в). Кроме того, встречаются налобные повязки, украшенные по нижнему краю бусами и монетами.

Цветовая гамма национального удмуртского костюма состояла из белого, серого, цвета охры, коричневого, красного и цвета индиго. Красители получали из минералов и растений. Цвета в удмуртском текстиле не только служат декоративной функцией, но и имеют глубокий символизм.

При разработке полотен для одежды в удмуртском этническом стиле были выбраны чёрный, красный, белый и два оттенка тёплого серого цвета, которые обладают особой гармонией и значением (рис. 4). Чёрный, на удмуртском языке – «сьод», традиционно символизирует землю, плодородие, стабильность и основу мироздания. В мифологии связан с Нижним миром, миром предков, который не является негативным, а представляет собой источник мудрости, покоя и истоков жизни. Красный – «горд». Основная символика: жизнь, солнце, кровь, огонь, красота, здоровье и защита. Это самый сакральный и сильный цвет в удмуртской культуре. Он олицетворяет жизненную силу, энергию солнца, дающего тепло и кровь как носительницу души. Белый – «тёдды». Этот цвет символизирует космос и вселенную. Это не только небо, но и все космическое, вселенское пространство. Так же в нем заложены нравственная чистота, святость и высокие моральные устои. Серый – «сур». Основная символика: промежуточность, повседневность, скромность, гармония с природой. Это цвет утренних и вечерних сумерек, тумана, природной шерсти.



Рис. 4. Цветовая гамма коллекции

Важнейшим элементом удмуртского костюма является орнамент. Именно он связывает прошлое и настоящее удмуртского костюма. Характерные узоры сохранили свою актуальность, в то время, как фасоны ушли в прошлое. На данный момент известно около 94 образцов удмуртских узоров. Выделяются 4 основные группы элементов удмуртского орнамента: космические, растительные, зооморфные и антропоморфные мотивы. Однако в рамках данного проекта наиболее перспективным является солярный знак (солнце). Это один из основных элементов удмуртского орнамента. Он символизирует жизнь, силу и плодородие. Вариации солярных знаков изображены на рисунке 5 и были выбраны для разработки трикотажных полотен.

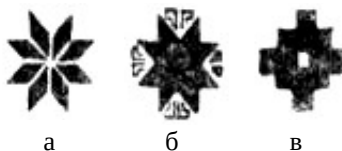


Рис. 5. Различные вариации изображения солярных знаков: а, б, в

Следующим этапом был проведён анализ тенденций моды. В трикотажных коллекциях последних лет наблюдается несколько доминирующих трендов: анатомический объем и скульптурный силуэт, продуманные объёмы, вставки, драпировки и необычный крой, которые подчеркивают или интерпретируют линии тела (рис. 6, а); внимание к структуре полотна: рельефные полосы, ажур, объёмные косы, гофре и плиссировка (рис. 6, б); возвращение к классическим мотивам (клетка, ромбы, полоска) в новой, усложнённой или реконструированной интерпретации (рис. 6, в).



Рис. 6. Применение тенденций в дизайне трикотажа: а – Bottega Veneta, коллекция Осень-Зима 2025/26, б – Missoni, коллекция Осень-Зима 2025/26, в – Miu Miu, коллекция Осень-Зима 2025/26

На основе анализа источника вдохновения и тенденций моды формируется концепция проекта. Коллекция предназначена для женщин 20 – 40 лет с развитым эстетическим вкусом, которые ценят в одежде не только функциональность, но и смысл, историю, связь с культурой. Название коллекции: «Нылаш», что в переводе с удмуртского значит: “девушка” и передаёт идею самовыражения через одежду. Каждая модель коллекции представляет собой одеяние для женщин разного возраста и семейного положения. Первые две модели созданы для юных и незамужних девушек, центральная модель - для невесты, а две последние для жён и матерей, это отражается в крое изделий, степени открытости моделей и, в первую очередь, в головных уборах, ведь именно через них удмуртки традиционно выражают свой статус. В качестве материальной основы разработки выбран трикотаж. Это отвечает запросу на комфорт, универсальность и позволяет реализовать орнаменты через техники жаккарда, интарзии, рельефных переплетений и ажюра. Тема проекта и творческий источник вдохновения отражены на муд-борде коллекции (рис. 7).



Рис. 7. Муд-борд

Затем следует эскизная разработка коллекции. Она начинается с силуэтного поиска и разработки фор-эскизов. При создании эскизов акцент делался на простоте форм и объёмов, а также на многослойности, что характерно для удмуртского костюма и соответствует модным тенденциям.

Художественное решение коллекции «Нылаш» представляет собой современную интерпретацию этнического наследия, выстроенную на принципах соединения традиционного и актуального.

Коллекция строится на контрасте лаконичных, архитектурных силуэтов и сложного, насыщенного деталями декора. Ключевой приём – создание фактур и орнаментов за счёт трикотажных переплетений.

Выбор цветовой гаммы разрабатываемых орнаментов основывается на традициях удмуртской орнаментики (см. выше).

В ходе работы разработаны 5 моделей (рис. 8), сочетающих в себе различные силуэты, фактуры и переплетения.



Рис. 8. Эскизы моделей применения

Первая и вторая модели предназначены для юных незамужних девушек, они могут позволить себе одеваться более открыто и свободно. На моделях так же представлены головные уборы “шапочки”, характерные для традиционных костюмов молодых удмурток. Третья модель представляет собой свадебный костюм. Она наиболее богато декорирована. На голове девушки фата, платье более закрытое и скромное. Модели 4 и 5 предназначены для замужних женщин и матерей, они наиболее закрыты и комфортны для повседневной носки.

Основным мотивом при разработке раппортов (рис. 9) для жаккардового переплетения стал солярный знак, так как это самый часто встречающийся и значимый элемент в удмуртском орнаменте.

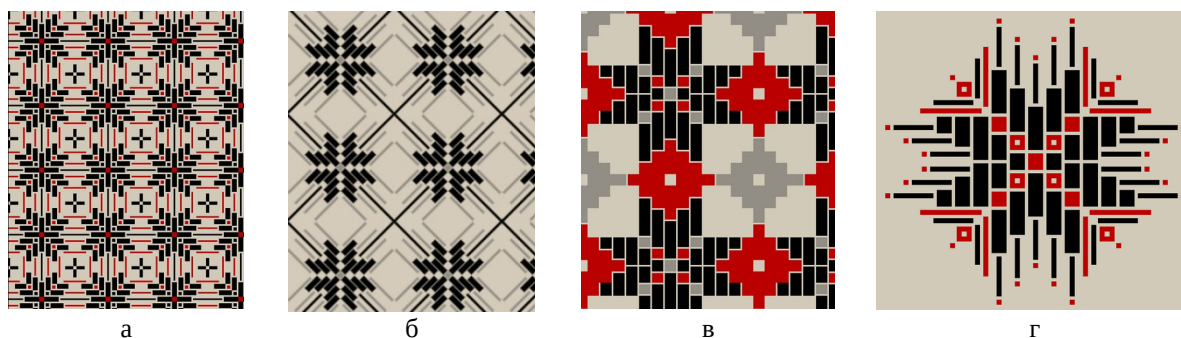


Рис. 9. Разработанные орнаменты: а – мелкоузорный орнамент, б – среднеузорный орнамент, в – крупноузорный орнамент, г – монокомпозиция

Орнаменты на моделях распределены в соответствии с удмуртской традицией. В национальном костюме было принято ткать более мелкую и частую клетку для юных девушек и увеличивать размер ячеек с увеличением возраста владелицы костюма. Именно поэтому мелкоузорный орнамент (рис. 9, а) располагается на модели 1 (рис. 8), предназначенной для наиболее молодой девушки, а среднеузорный и крупноузорный (рис. 9, б, в) на моделях 4 и 5 (рис. 8) соответственно.

При разработке мелкоузорного раппорта переработан традиционный мотив солярного знака (рис. 5, а): лопасти элемента повернуты на 45 градусов для получения более статичной композиции. Так же раппорт дополнен визуальными усложняющими его линиями и другими элементами. В основе среднеузорного раппорта так же лежит солярный орнамент (рис. 5, б), он более сложный по сравнению с предыдущим. В данном случае положение солярного знака остаётся неизменным, тем самым итоговый раппорт приобретает более динамичную структуру. Крупноузорный раппорт создан путём совмещения орнаментов б и в (рис. 5) здесь совмещаются сразу два способа изображения космического тела, тем самым создаётся более заполненная композиция. В основе монораппорта (рис. 9, г) так же лежит солярный знак. Подобные композиции использовались для украшения нагрудников и, согласно традиции, служили для защиты девушек от нечистых сил.

Таким образом, эскизы по смыслу и предназначению соотносятся с раппортными композициями, которые были для них разработаны. Каждый из орнаментов не только несёт в себе эстетическую функцию, но и служит владельцу изделия своеобразной оболочкой, которая защищает его и оповещает окружающих о социальном статусе человека.

В рамках данной работы в материале реализуется модель 1, представленная на рисунке 8. Образ является многослойным и состоит из жилета, платья, облегающих брюк и ряда аксессуаров.

Данная модель предназначена для юной девушки, о чём говорит ряд факторов: характерный для незамужних удмурток головной убор – шапочка, вышитая монетами и бисером; отсутствие фартука, что разрешалось лишь юным и незамужним девушкам (женщины, состоящие в браке, всегда носили фартуки); фасон платья, напоминающий материнскую рубаху.

Верхний слой этой модели – жилет. Он утеплённый и объёмный, что создаёт ощущение уюта и комфорта. Жилет плотный и формоустойчивый. Орнамент на жилете состоит из солярных знаков, соединённых вертикальными и горизонтальными линиями, которые визуальным образом образуют клетку. Солярный знак в культуре удмуртов символизирует жизненную силу и плодородие, а клетка – дом, пространство в котором живёт человек. Чем старше становилась девушка, тем крупнее выбиралась клетка для её одежды, это символизировало плодовитость и женское здоровье.

Нижний слой этой модели – трикотажное платье. Визуально оно напоминает объёмную льняную рубаху, именно этот элемент одежды становился первым одеянием ребёнка, (детей одевали в ношенные рубахи родителей, они были более мягкими чем новые и меньше раздражали нежную детскую кожу). Платье лёгкое и летящее.

Образ завершают красные облегающие брюки в рубчик. Вертикальные линии в удмуртской культуре символизируют движение вверх, приближение к божественному и небесному. Брюки дополняют платье, делая образ более уютным и утепленным.

При выборе структур переплетений особое внимание уделяется фактурным и рисунчатым эффектам. Выбрана смешанная пряжа (30% шерсть, 70% полиэстер), линейной плотности 31x2 текс, так как из неё получается лёгкое, приятное тактильно и достаточно тёплое полотно.

Для разработки в материале выбран жилет из первой модели. Для жилета подобрано трехцветное неполное жаккардовое переплетение (рис. 10). Планки для обработки пройм и горловины выполнены переплетением ластик 1+1 и кулирная гладь. Пояс выполнен переплетением ластик 2+2.

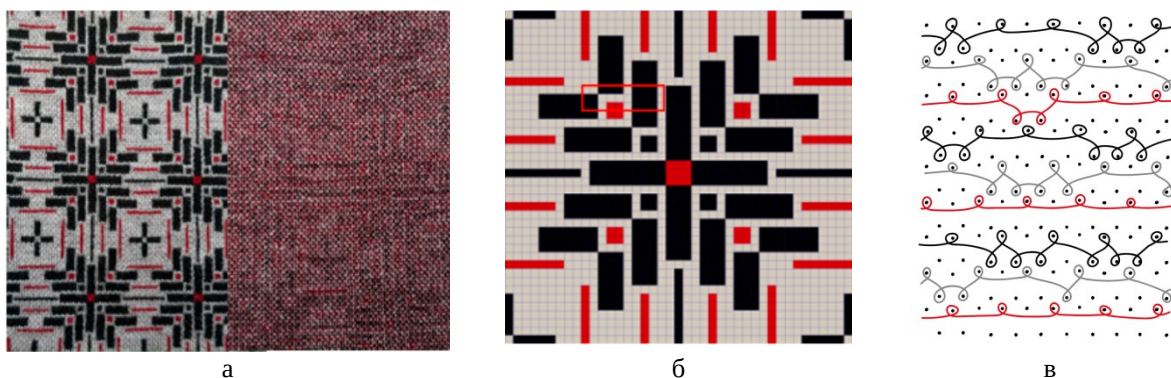


Рис. 10. Трехцветное неполное жаккардовое переплетение: а – внешний вид, б – патрон, в – графическая запись

Для создания платья выбраны переплетения кулирная гладь и ажурное на базе кулирной глади, ластик 1+1 (рис. 11).

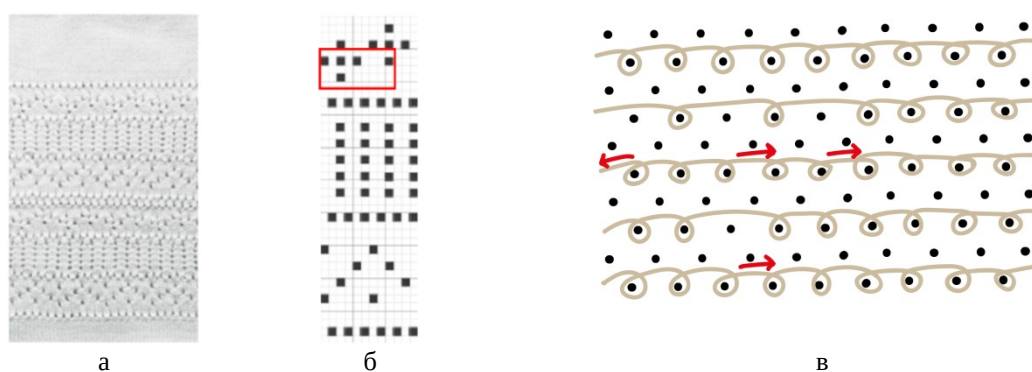


Рис. 11. Ажурное переплетение на базе кулирной глади: а – внешний вид, б – патрон, в – графическая запись

Для изготовления брюк использовалось переплетение ластик 2+2 (рис. 12).

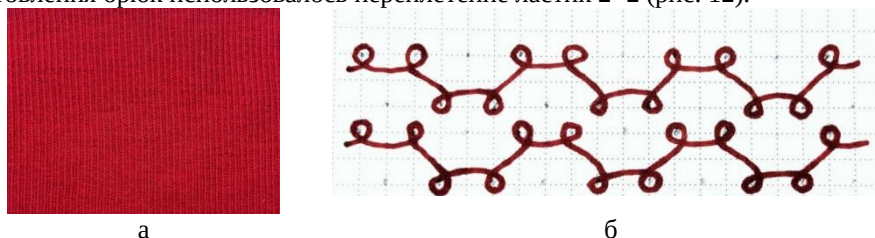


Рис. 12. Переплетение ластик 2+2: а – внешний вид, б – графическая запись

В ходе работы выполнены технические эскизы (рис. 13) и техническое описание для модели 1.

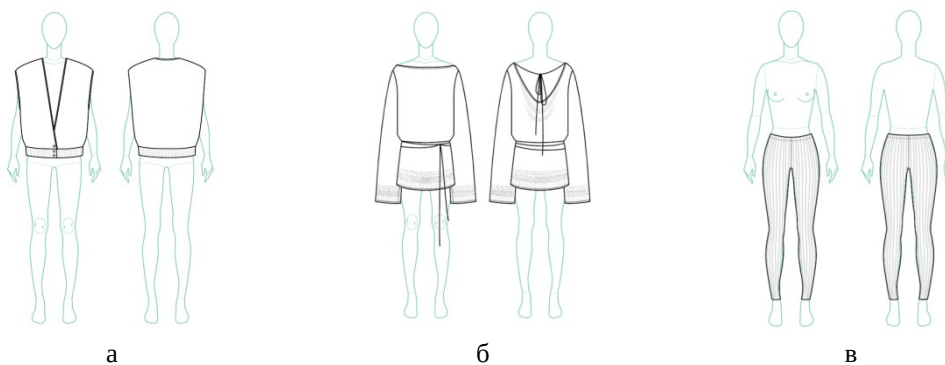


Рис. 13. Технические рисунки модели 1: а – жилет, б – платье, в – рейтузы

Жилет женский (рис. 13, а), предназначенный для повседневного ношения в осенне-зимний период. Способ изготовления – полурегулярный, основное переплетение двустороннее трехцветное жаккардовое переплетение. Цветовая гамма: серый, чёрный и красный. Жилет свободного силуэта, длиной на 5 см выше линии бёдер. Низ жилета обрабатывается поясом высотой 5 см, вывязанного переплетением ластик 2+2. Вырез горловины V-образный, заканчивается на 4 см выше линии талии. Линия плеча спущена на 7 см относительно естественной. Застёжка – кнопки высотой 15 см от низа изделия, количество кнопок – 3 штуки. Детали спинки и переда выполнены двусторонним трехцветным жаккардовым переплетением. Проймы и вырез горловины обработаны планкой шириной 3 см, выполненной переплетениями ластик 1+1 и кулирная гладь.

Платье женское (рис. 13, б), предназначенное для повседневного ношения, всесезонное. Способ изготовления – полурегулярный, основные переплетения: кулирная гладь и ажурное. Цвет: молочный. Платье прямого силуэта, длиной выше середины бедра на 4 см. Низ платья заработан сдвоенный гладью высотой 0,5 см. Рукав втачной, одношовный, прямой, среднего объёма, линия плеча спущена на 4 см. Рукав длиной на 10 см ниже линии запястья. Вырез горловины лодочка спереди проходит на уровне яремной впадины, на спинке переходит в драпировку на уровне линии груди. Вырез обработан бейкой переплетение ластика 1+1 высотой 1 см. Низ платья и рукавов декорирован ажурным орнаментом высотой 10 см на рукавах и 15 см по низу изделия.

Брюки (рис. 13, в), предназначены для повседневного ношения, всесезонные. Способ изготовления – полурегулярный, основное переплетение: ластик 2+2. Цвет: красный. Изделие прилегающего силуэта, длиной до линии щиколотки, без боковых швов. Линия пояса на 4 см ниже линии талии. Пояс цельновязанный, оформленный швом в подгибку с проложенной эластичной тесьмой высотой 2,5 см.

В ходе технологической разработки изделия из трикотажа важным этапом является создание заправочных карт на вязание. Необходимо учитывать технические характеристики выбранной для работы машины. Вязание купонов для жилета осуществлялось на плосковязальном автомате 12 класса, 2 петлеобразующие системы – Stoll 502 KI.

Следующим этапом опытным путём определяются такие параметры, как плотность вязания по горизонтали и вертикали. В данном случае $P_g = 66$ игл на 100 мм, $P_v = 58$ рядов на 100 мм. В соответствии с параметрами модели: обхват груди равен 88 см., обхват талии – 72 см., обхват бёдер – 102 см., был определён размер купонов, они представлены на рис. 14.

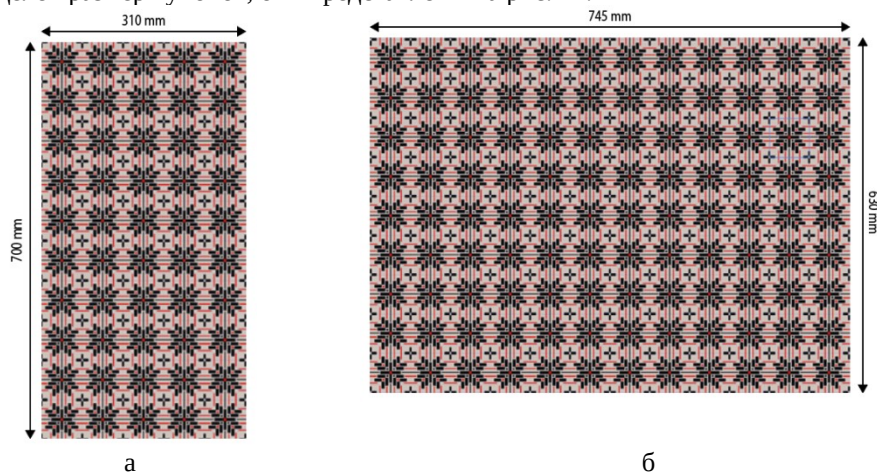


Рис. 14. Схема купонов с линейными измерениями: а – перед; б – спинка

Ширина купона для детали спинки составляет 74,5 см., что равно 12 раппортам, высота – 63 см, это 9 раппортов. Ширина купона для детали переда – 31 см., что включает ровно 5 раппортов, а высота – 70 см., что равно 10 раппортам. Детали переда необходимо изготовить в двух экземплярах.

После выполнения всех необходимых расчётов для деталей изделия необходимо составить заправочные карты на вязание купонов (таблица 1).

Таблица 1. Заправочная карта на вязание деталей переда и спинки изделия

Участок	Ширина участка, мм	Длина участка, мм	Число игл	Число рядов
Купон переда	310	700	205	369
Купон спинки	745	630	492	328

После изготовления купонов (рис. 15) следует этап примерки и подкроя. Сначала подкраивается линия плеч, затем проймы, горловины и линия нижнего среза. После этого следуют швейные операции.



а

б

Рис. 15. Отвязанные купоны для жилета: а – перед; б – спинка
Изделие в готовом виде представлено на рис. 16.



а

б

в

Рис. 16. Внешний вид итогового изделия: а – вид спереди; б – вид сзади; в – вид сбоку

В ходе работы над темой «Разработка коллекции трикотажной одежды на основе удмуртского национального костюма» проведены исследования, направленные на изучение культурного наследия Удмуртии и возможность его интеграции в современный дизайн трикотажа.

Создание коллекции позволило не только сохранить и популяризировать уникальные традиции удмуртского орнамента, но и адаптировать их к современным требованиям дизайна одежды. В результате анализа исторических и культурных аспектов удмуртского орнамента были выделены ключевые мотивы, которые стали основой для создания оригинальных текстильных изделий.

В ходе работы в соответствии с эскизами было изготовлено изделие - жилет, сочетающее в себе традиции и современность.

Таким образом, разработанная коллекция не только обогащает рынок текстиля новыми уникальными изделиями, но и способствует сохранению культурного наследия Удмуртии, вдохновляя дизайнеров и потребителей на дальнейшее изучение и использование народного искусства в современном контексте.

Список литературы

1. Владыкина, Т. Г. Удмуртский народный костюм: история и символика / Т. Г. Владыкина. – Ижевск: Удмуртский институт истории, языка и литературы УрО РАН, 2015. – 248 с.
2. Гришкина, М. В. Символика орнамента в удмуртском костюме // Этнографическое обозрение. – 2017. – № 3. – С. 45–58.
3. Петрова, Е. В. Традиционные головные уборы удмуртов: классификация и семантика // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2020. – № 4 (48). – С. 134–142.

4. Молчанова, Л. А. Этнография удмуртов: традиционный костюм / Л. А. Молчанова. – Ижевск: Удмуртия, 2008. – 176 с.
5. Лебедева, С. М. Традиционный костюм как элемент этнической идентичности удмуртов: дис. канд. ист. наук / С. М. Лебедева. – Ижевск, 2016. – 210 с.
6. Традиционная культура удмуртов: костюм, обряды, фольклор / под ред. В. Е. Владыкина. – Ижевск: УИИЯЛ УрО РАН, 2014. – 304 с.

References

1. Vladykina, T. G. Udmurtskij narodnyj kostjum: istorija i simbolika [Udmurt folk costume: history and symbolism]. Izhevsk: Udmurtskij institut istorii, jazyka i literatury UrO RAN, 2015. 248 pp. (in Rus.).
2. Grishkina, M. V. Simvolika ornamenta v udmurtskom kostjume [Symbolism of ornamentation in Udmurt costume] *Jetnograficheskoe obozrenie*. [Ethnographic Review]. 2017. No 3. 45–58 pp. (in Rus.).
3. Petrova, E. V. Tradicionnye golovnye ubory udmurtov: klassifikacija i semantika [Traditional Udmurt headwear: classification and semantics] *Arheologija, jetnografija i antropologija Evrazii* [Archaeology, ethnography and anthropology of Eurasia]. 2020. No. 4 (48). 134–142. pp. (in Rus.).
4. Molchanova, L. A. Jetnografija udmurtov: tradicionnyj kostjum [Ethnography of the Udmurts: Traditional Costume]. Izhevsk: Udmurtija, 2008. 176 pp. (in Rus.).
5. Lebedeva, S. M. Tradicionnyj kostjum kak jelement jetniceskoj identichnosti udmurtov: dis. kand. ist. nauk [Traditional costume as an element of ethnic identity of the Udmurts: dis. Cand. of History]. Izhevsk, 2016. 210 pp. (in Rus.).
6. Tradicionnaja kul'tura udmurtov: kostjum, obrjady, fol'klor / pod red. V. E. Vladykina [Traditional Culture of the Udmurts: Costume, Rituals, Folklore / edited by V. E. Vladykin]. Izhevsk: UIIJaL UrO RAN, 2014. 304 pp. (in Rus.).

УДК 67.017(679.7)

П.А. Поплавская, Н.А. Мальгунова

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

Фотография и искусственный интеллект как современный способ создания текстильного орнамента

В статье рассматривается метод фотографии, как синтетического направления в современном визуальном искусстве. Возможности искусственного интеллекта значительно обогащают известные дизайнерские подходы к разработке раппортной текстильной композиции.

Ключевые слова: *фотография, искусственный интеллект, раппортная композиция текстильного орнамента, текстильные изделия, цифровая печать*

Photography and artificial intelligence as a modern way to create textile ornaments

P.A. Poplavskaya, N.A. Malgunova

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

The article examines the method of photography as a synthetic trend in modern visual art. The capabilities of artificial intelligence significantly enrich well-known design approaches to the development of a rapport textile composition.

Keywords: *photography, artificial intelligence, textile ornament rapport composition, textile products, digital printing*

Современный метод разработки орнаментальной фотографии представляет собой не только цифровую технологию печати, но и метод художественного мышления, при котором фотографическое изображение дизайнеры адаптируют к текстилю. В научной литературе термин фотографика определяется как технологический процесс обработки изображения и как специфический художественный метод, объединяющий средства фотографии, графики и типографики [1], а вот фотографика на тканях – это направление в текстильном дизайне и искусстве основанное на переносе визуальных принципов фотографии на поверхность текстиля. С использованием этого метода открываются новые горизонты для дизайнеров, художников и производителей. При создании элемента раппортной композиции используется фотоизображение как мотив. Но для доработки и корректировки изображения чаще всего требуется редактирование с помощью графических редакторов, которое представляет собой соединение нескольких фотоизображений, объединенных общей темой.

Прежде чем появилось понятие фотографика и оно стало широко использоваться, были поиски переноса фото на другие поверхности кроме бумаги. Первые эксперименты переноса фотографического изображения на ткань были в XX веке, но широкого распространения эти эксперименты не получили. Так как не было качественной технологии печати фото не только на ткани, но и на других поверхностях с большим количеством цвета. Для печати на ткани фото приходилось стилизовать и доводить рисунок до определенного количества используемых цветов одновременно. И фотографию приходилось использовать художникам только как основа для разработки текстильного орнамента.

Переломным моментом для текстильных дизайнеров стал XXI век, когда свершилась цифровая революция. Благодаря цифровой печати перенос фотографических изображений на ткань стал без потери качества, с большим количеством цвета, с высокой детализацией и точностью цветопередачи. Таким образом, в эволюции метода фотографика на тканях отображается переход от внешнего восприятия фотоизображения к пониманию её как неотъемлемой части материальной культуры [2].

В области орнаментальной фотографии создано и создаётся много интересного, например, ливанский дизайнер Сааб в своей коллекции «Сияние» 2026 года использовал крупные, размытые пятна, похожие на тропические листья и кувшинки, увиденные сквозь толщину воды. Источником вдохновения для него стало водная флора и фауна. Под руководством дизайнера Вальтера Кьяппони итальянского бренда Блумарине создана коллекция «Сентиментальное путешествие в архивы Анна Молинари в 1990-х» в 2025 году, в котором лепестки цветов, словно разбросанные ветром объединяются, сложным по колористике, фоном. Такие разработки невозможно выполнить без фотографии и цифровой печати. Дизайнер испанского бренда Лозе Джонатан Андерсон представил в своей коллекции «Сделанное

вручную» в 2025 году слияние сразу нескольких цветочных композиций, соединив их в одной композиции. Для этой работы использовались фото рисунков на ткани середины XX века и графические редакторы. Основой для мотива в разработке текстильного орнамента могут быть самые различные объекты, не только фото растений, животных, пейзажей, но фото различных текстур и структур под микроскопом, под рентгеном. Так же в основе разработок методом фотографии многие дизайнеры используют живопись известных художников.

В настоящее время, кроме известных приёмов обработки фото с помощью компьютерной графики открываются большие возможности для дизайнеров в разработке текстильных орнаментов с использованием искусственного интеллекта. При совмещении методов фотографии с разработками искусственного интеллекта можно получить совершенно неординарные раппортные текстильные композиции. Так как за короткое время разрабатывается большое количество вариантов мотивов на заданную тему с оригинальной графикой, не похожей на натурное фото.

В исследовании рассматривается раппортная композиция методом фотографии. В качестве источника вдохновения используется растительный мотив на основе фото цветка крокуса переработанное с помощью ИИ (рисунок 1). Создание раппорта по фотографии состоит из нескольких этапов. Для выбора и подготовки мотива применялась макрофотография цветка, которая была доработана ИИ и это изображение использовалось в раппортной композиции плательной ткани.



Рисунок 1. Фото крокусов и варианты переработки фото с помощью ИИ

В разработке вариантов изображений ИИ большое значение для результата является постановка задачи, а также отбор художником полученных изображений. Они не всегда получаются эстетичными и полностью соответствующими для дальнейшей разработки, особенно для раппортной композиции, где требуется равномерное заполнение всей плоскости. Поэтому, как правило, полученные изображения дорабатываются дизайнером с помощью графических редакторов. С помощью нейросетей можно создавать изображения, которые только отдаленно напоминают объект в природе. В отличие от традиционной фото-натуры, где изображения воспроизводят реальную среду, через искусственный интеллект художники создают композиции, содержащие комбинированные визуальные образы. Появляются узоры, в которых отражается связь с природными мотивами, но при этом в них появляется совершенно иная художественная выразительность. Через нейросети можно создать сочетания оттенков без ограничений, что позволяет получать нестандартные цветовые комбинации, ранее недоступные традиционному способу проектирования. Кроме того, в алгоритмических сгенерированных формах почти нет законов перспективы и пропорций, что расширяет границы художественного эксперимента. Благодаря этому художники могут разрабатывать новые визуальные концепции, основанные не на воспроизведении объектов, а на их абстрактной интерпретации [3].

При разработке раппортной композиции плательной ткани «Крокус» представленного на рисунке 2, колористика построена на доминировании фиолетово-лилового цвета с контрастными желтыми центрами цветов. Через наложение полупрозрачного дублирующего слоя создается пространство глубины. Усложняя ритмическую структуру раппорта, можно создать более сложную композицию. Кроме выбора художником варианта изображений, представленных искусственным интеллектом, имеет значение также дальнейшая разработка раппортной связи. Автоматический повтор мотива еще не является законченным раппортным рисунком для ткани. Очень часто образуются

случайные полосы или прерывность изображений. Это необходимо дорабатывать с помощью графических редакторов.

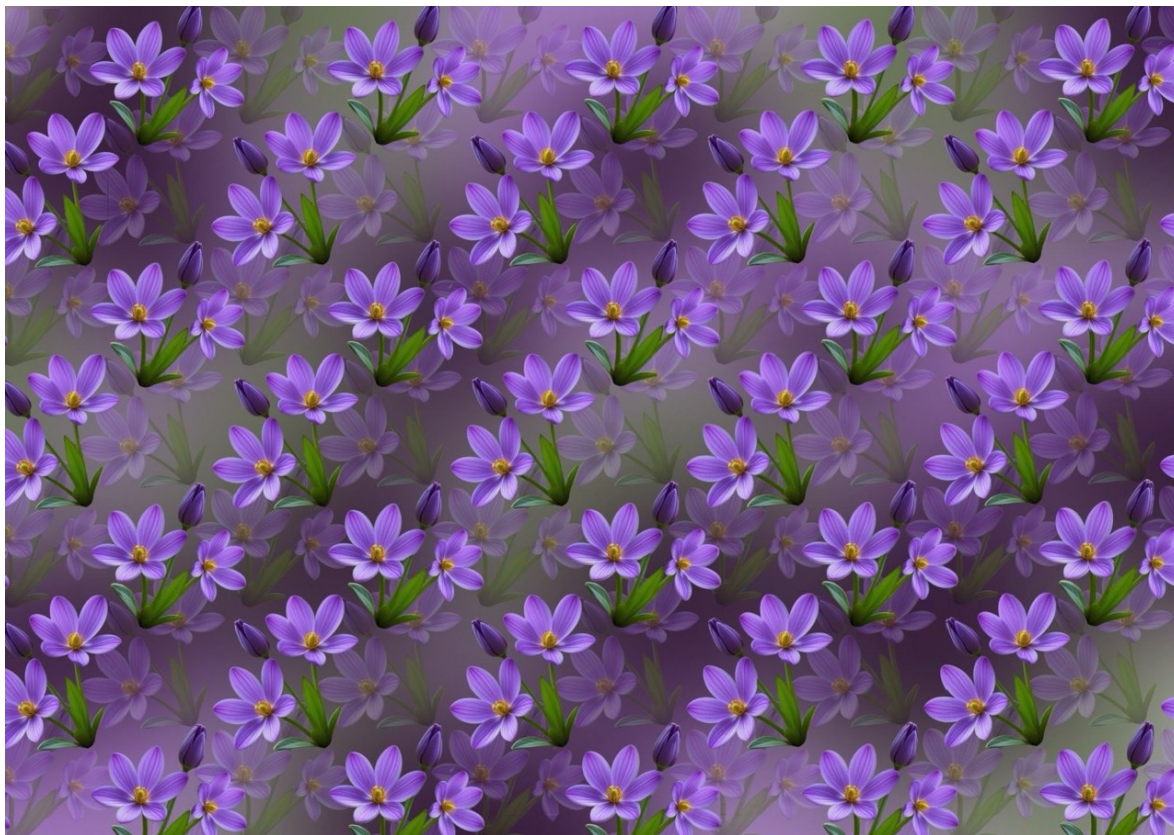


Рисунок 2. Раппортная композиция плательной ткани «Крокус»

В исследовании показаны значение способов и методов для проектирования текстильного печатного рисунка с использованием фотографии и искусственного интеллекта. В соединении этих двух направлений открываются новые возможности в разработке дизайна текстильного орнамента. Обработанные фото с помощью искусственного интеллекта, чаще всего не предсказуемы, как по графике, так и по выявлению главных признаков объекта, по их колористической переработке. Для художника это неисчерпаемый источник для новых разработок дизайна, которые в настоящее время легко переносятся на ткань способом цифровой печати.

Список Литературы

1. Кузнецов С. А. Большой толковый словарь русского языка / С. А. Кузнецов. – Москва: Авторская редакция, 2000. – 1536 с.
2. Воронов, Н. В. Фотография: история и современность / Н. В. Воронов. – Москва: Арт-медиа, 2018. – 215 с.
3. Ильинская Е. В., Гольшева Е. Н., Медведев А. А., Масалитин Н. С. Применение генеративно-сопоставительных нейросетей для генерации изображений //Научный результат. Информационные технологии. – 2024. – № 1. С.73-78

list of literature

1. Kuznetsov S. A. A large explanatory dictionary of the Russian language / S. A. Kuznetsov. Moscow: Author's Edition, 2000. 1536 p
2. Voronov, N. V. Photography: history and modernity / N. V. Voronov. Moscow: Art-Media, 2018. 215 p.
3. Ilyinskaya E. V., Golysheva E. N., Medvedev A. A., Masalitin N. S. Application of generative-adversarial neural networks for image generation //A scientific result. Information technology. – 2024. – No. 1. p.73-78

УДК 677.075.562:687.01

П.В. Никитина, С.В. Макаренко

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСУНЧАТЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЛОСКОВЯЗАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЕРИИ STOLL ADF

© П.В. Никитина, С.В. Макаренко, 2026

В статье рассмотрены технологические и рисунчатые возможности плосковязального оборудования серии Stoll ADF. Приведены конструктивные особенности и основные технические характеристики данной серии машин. Описан принцип вязания платированных, продольно-соединенных и уточных переплетений на плосковязальной машине Stoll CMS ADF-3. Представлены образцы переплетений, полученные в производственных условиях на машине Stoll CMS ADF-3.

Ключевые слова: плосковязальное оборудование, технические характеристики оборудования, нитеводители, платированные переплетения, интарзия, прокладывание уточной нити

P.V. Nikitina, S.V. Makarenko

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

A STUDY OF THE PATTERN AND TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF STOLL ADF SERIES FLAT KNITTING MACHINES

This article examines the technological and pattern capabilities of the Stoll ADF series flat knitting machines. The design features and main technical specifications of this series of machines are presented. The knitting principle of plated, longitudinally connected, and weft weaves on the Stoll CMS ADF-3 flat knitting machine is described. Weave samples obtained in production conditions on the Stoll CMS ADF-3 machine are presented.

Keywords: flat knitting equipment, equipment technical specifications, yarn feeders, plating weaves, intarsia, insertion of the weft yarn

Машиностроительные предприятия совершенствуют вязальное оборудование, модернизируя механизмы машин с целью большей автоматизации, увеличения рисунчатых возможностей и расширения ассортимента трикотажных изделий. На сегодняшний день на мировом рынке представляют плосковязальные машины такие фирмы, как LongXing (Китай), Staiger (Швейцария), Cixing (Китай), Shima Seiki (Япония), Stoll (Германия). Технические характеристики машин широкие: класс в диапазоне от 3 до 24, ширина игольницы варьируется от 60 до 254 см, число систем, как правило, 2 - 3.

Компания H. Stoll GmbH & Co. KG (Германия) начала свою работу в 1873 году и уже более 150 лет успешно разрабатывает и производит плосковязальное оборудование. Инновационной разработкой фирмы Stoll являются машины серии ADF, которые относятся к новому поколению плосковязального оборудования, что открывает непревзойденные возможности для вязания. Оборудование данной серии оснащено большим количеством автономных моторизированных нитеводителей, которые перемещаются независимо от каретки для прокладывания нити на иглы. Нитеводители имеют собственный привод. Перемещение нитеводителей осуществляется с помощью зубчатого ремня вместе с кареткой или свободно, причем они могут двигаться как в одном направлении с кареткой, так и в противоположную сторону относительно движения каретки. Особенностью данных нитеводителей также является то, что они управляются двумя двигателями. Приводной двигатель перемещает нитеводитель вдоль игольницы и обеспечивает прокладывание нити в зону вязания. Двигатель настройки высоты обеспечивает регулировку положения нитеводителей по высоте относительно игольницы [1]. Внешний вид нитеводителей машин серии ADF представлен на рис. 1.

Машины ADF имеют прямую подачу нитей в зону вязания, что уменьшает их обрывность и повышает производительность. Машины оснащены открытой кареткой, что способствует равномерному натяжению нити. Для создания тканного эффекта на полотне машины укомплектованы прижимной лапкой, которая удерживает уточную нить после ее прокладывания с помощью специального нитеводителя в зев машины, когда иглы расположены ниже отбойной плоскости. Технические характеристики плосковязальных машин серии ADF компании Stoll представлены в табл. 1.



Рис. 1. Нитеводители машин серии ADF

Таблица 1. Технические характеристики плосковязальных машин серии ADF, Stoll (Германия)

Марка машины	Ширина игольницы, см	Класс	Число систем	Число нитеводителей	Число кареток
ADF 830 K	213	5-20 6.2, 9.2	3	24	1
ADF 530 K	127	5-20 5.2-9.2	3	24, 32	1
ADF 330 K	91	10-20 6.2-9.2	3	24, 32	1

Исследование рисунчатых возможностей оборудования серии ADF проведено на базе плосковязальной машины Stoll ADF CMS-3, установленной на трикотажной фирме «Ажур» (Ленинградская область).

Технические характеристики машины:

- Класс 6.2 MultiGauge;
- Ширина игольницы 127 см;
- Число нитеводителей 32;
- Число кареток 1;
- Число систем 3.

Данное оборудование обладает широкими рисунчатыми и технологическими возможностями. Технология MultiGauge («Класс в классе») позволяет выработать цельновязанные трикотажные изделия, не требующие дальнейшей швейной обработки, а также создавать многослойные структуры. Благодаря большому количеству управляемых нитеводителей машина уникальна по разнообразию переплетений от многоцветных жаккардовых переплетений до уточных переплетений, совмещающих в себе свойства ткани и трикотажа.

На машине возможно получение широкого круга платированных переплетений. В технологии трикотажа платированными называют переплетения, которые выработываются из двух нитей, одна из которых выходит на изнаночную сторону петли и является грунтовой, а другая выходит на лицевую сторону и является платировочной. Чаще всего платированные переплетения выработывают на базе глади и ластика. Платированные переплетения могут быть гладкими, переменными, перекидными и накладными [2]. В гладком платированном переплетении грунтовая нить всегда выходит на изнаночную сторону петли, а платировочная на лицевую. В переменном платированном переплетении грунтовая и платировочная нити меняются местами по рисунку. В перекидном платированном переплетении фон вяжется грунтовой и платировочной нитями, а петли рисунка только грунтовой нитью, которая выходит на лицо, в то время как платировочная тянется на изнанку в виде протяжки. Накладное платированное переплетение – это переплетение, в котором фон образуется грунтовой нитью, а рисунок вывязывается платировочной нитью. На базе платированных переплетений получают разнообразные цветные орнаменты при использовании грунтовой и платировочной нитей разного цвета. Для получения данных переплетений необходимо соблюдать определенные условия прокладывания нитей на иглы.

В производственных условиях были получены платированные переплетения различного вида. Анализ работы машины показал, что при вязании платированных переплетений для обеспечения углов прокладывания нитей нитеводители устанавливаются таким образом, что нитеводитель с грунтовой нитью опережает нитеводитель с платировочной. При вязании переменной платировки нитеводители должны поменяться местами. Для этого нитеводитель с платировочной нитью сначала устанавливается на уровень нитеводителя с грунтовой нитью, после чего опережает его и платировочная нить занимает позицию грунтовой нити. При формировании ряда во время каждой перемены местами платировочной и грунтовой нитей для образования орнамента каретка совершает обратный ход без провязывания петель (холостой ход) в начало участка, поэтому вязание требует дополнительных затрат времени. Так, опытный образец шириной 70 см и длиной 18 см вязался 16 мин.

Для увеличения скорости вязания переменных платированных переплетений на машине ADF имеется технология *stoll ikat-plating*. Данная технология позволяет вырабатывать переменные платированные переплетения без возврата каретки при перемене местами платировочной и грунтовой нитей. Нитеводители с грунтовой и платировочной нитями меняют свое положение по ходу движения каретки, поэтому ряд петель провязывается за один ход каретки. Это приводит к тому, что при образовании цветного орнамента присутствует нечеткий контур или «рваный край» на участке смены цвета, петли рисунка заходят на петли фона и наоборот. Время вязания опытного образца сократилось до 6 мин. На рис. 2 представлены образцы переменных платированных переплетений с использованием технологии *ikat-plating* и без использования данной технологии.



а



б

Рис. 2. Переменные платированные переплетения:
а – с технологией *ikat-plating*; б – без технологии *ikat-plating*

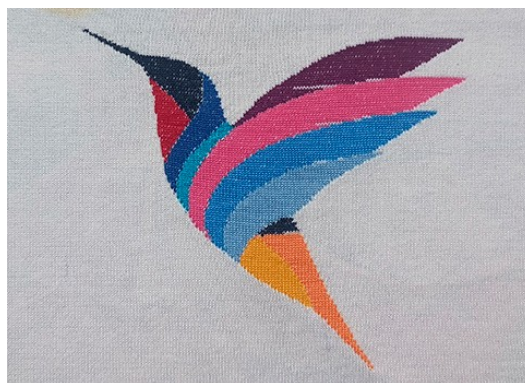
На машинах Stoll ADF благодаря большому количеству автономных нитеводителей появляется возможность использовать до 16 различных цветов при вязании накладных платированных переплетений (рис. 3, а). Вязание происходит таким образом, что в месте образования рисунка нитеводители с платировочной и грунтовой нитью работают вместе, после нитеводитель с грунтовой нитью продолжает вязание петель фона, в то время как нитеводитель с платировочной нитью не уведется кареткой из зоны вязания, а поднимается выше положения заключения игл и платировочная нить на иглы не прокладывается.

В накладных платированных переплетениях рисунчатый эффект может образовываться на изнаночной стороне, когда платировочная нить формирует фон, а грунтовая вяжется в структуру по рисунку. На рис. 3, б представлен образец накладной платировки, в котором грунтовая нить образует петли рисунка и протяжки на изнаночной стороне трикотажа. Такой эффект достигается за счет развода нитеводителей с грунтовой и платировочной нитью на определенное расстояние. На участке образования рисунка грунтовая и платировочная нити провязываются вместе, так, что платировочная выходит на лицо, а грунтовая на изнанку, далее нитеводители разводятся. Нитеводитель с платировочной нитью продолжает вязание петель фона, а нитеводитель с грунтовой догоняет его, тем самым грунтовая нить не провязывается

и тянется в виде протяжки. На машине ADF максимально возможное расстояние развода нитеводителей составляет 10 см.



а



б

Рис. 4. Накладные платированные переплетения:
а – с рисунчатым эффектом на изнаночной стороне; б – с рисунчатым эффектом на лицевой стороне

Плосковязальные машины Stoll серии ADF созданы для того, чтобы ускорить время вязания продольно-соединенных переплетений интарзия и сплит. Сплит – это разновидность продольно-соединенных переплетений, при вязании которых на полотне образуются вертикальные полосы разного цвета, а при вязании интарзии образуются цветные геометрические узоры [2]. Для вязания интарзии необходимы специальные интарзионные нитеводители. На машинах со стандартными нитеводителями каретка вынуждена постоянно приводить нитеводители в зону вязания при изменении цвета в орнаменте, причем за один ход каретка может провязать столько участков, сколько систем в работе. При каждом изменении цвета каретка совершает холостые ходы, что значительно увеличивает время вязания переплетения. На машине Stoll ADF во время вязания интарсии не совершается холостых ходов каретки за нитеводителями. Все нитеводители установлены в зоне вязания. Для провязывания каждый нитеводитель опускается в рабочее положение, а после провязывания своего участка поднимается выше положения заключения игл. Когда игла поднимается на заключение она не касается носика нитеводителя и в результате не происходит поломки иглы. Вязание всеми нитеводителями происходит непрерывно за один ход каретки. Данная технология сокращает время на вязание интарзийных переплетений и минимизирует брак при переходе от одного цвета к другому, способствует расширению цветового многообразия орнаментов. Максимально возможное количество нитеводителей, участвующих в вязании одного ряда интарсии составляет 30. На рис. 4 представлен образец сплит трикотажа, полученный на машине Stoll CMS ADF-3.



Рис. 4. Сплит трикотаж

В трикотаже переплетения с уточной нитью применяются, как для образования рисунка, так и при необходимости ограничения растяжимости. Уточная нить вводится в структуру трикотажа и располагается между остовами и протяжками базового переплетения [2]. При проведении исследований на машине Stoll CMS ADF-3 было установлено, что для получения переплетений данной структуры может быть использован не специальный механизм прижимной лапки, а заглабление нитеводителя, прокладываемого уточную нить. При вязании уточных переплетений на базе кулирной глади после образования петель на иглах происходит перенос петель в зависимости от раппорта на другую игольницу, в это время нитеводитель с уточной нитью движется в сторону от каретки и прокладывает уток в зев между игольницами. После этого перенесенные петли возвращаются на основную игольницу для фиксации уточной нити в структуре переплетения. На рис. 5 представлен образец уточного переплетения.

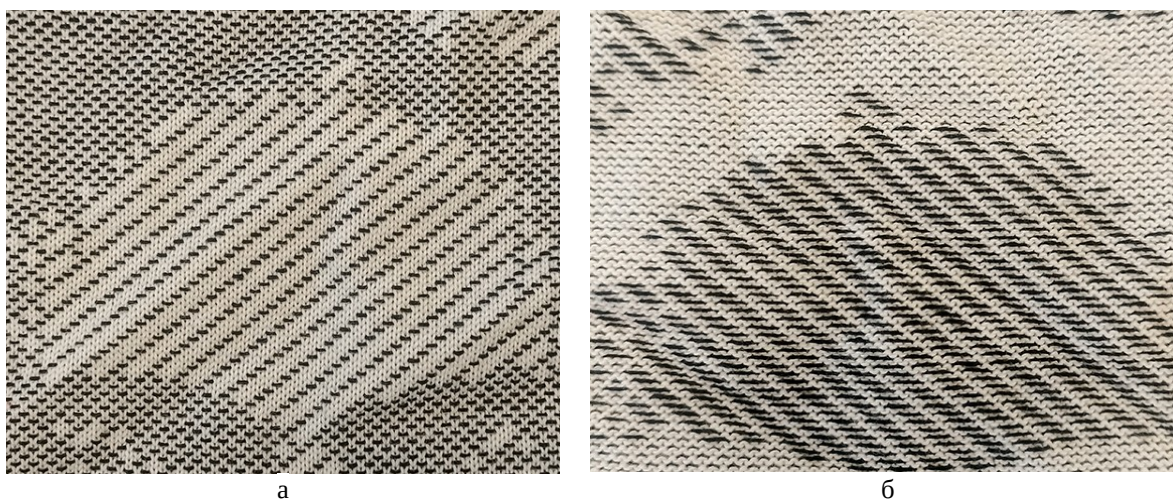


Рис. 4. Уточное переплетение:
а – лицевая сторона; б – изнаночная сторона

Таким образом, исследования, проведенные в производственных условиях, расширили сведения о том, что комплектовка машин серии ADF специальными автономными нитеводителями способствует расширению рисунчатых возможностей оборудования, повышению его производительности и расширению ассортимента.

Список литературы

1. SCT-Textima URL.:<https://textimastoll.ru/> (дата обращения: 20.03.2026)
2. Макаренко С. В. Технология трикотажа. Трикотаж рисунчатых и комбинированных переплетений: учеб. пособие / Макаренко С. В. – СПб.: СПбГУПТД, 2019. – 86 с. – Режим доступа: URL: <http://publish.sutd.ru>.

References:

1. SCT-Textima URL.:<https://textimastoll.ru/> (date accessed: 20.03.2026)
2. Makarenko S. V. Tehnologija trikotazha. Trikotazh risunchatyh i kombinirovannyh perepletenij: uchebnoe posobie [Knitwear technology. Knitwear of patterned and combined weaves: textbook]. SPb.: SPBGUPTD, 2019. 86 с. (in Rus.). URL: <http://publish.sutd.ru>.

УДК 677.025

Е.А. Соколова, О.А. Вигелина

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

РАЗРАБОТКА ФОРМЫ ИЗДЕЛИЯ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖА

© Е.А. Соколова, О.А. Вигелина, 2026

Статья посвящена проектированию женского жакета с использованием комбинированного способа изготовления, включающего элементы регулярного и полурегулярного способов вязания. Рассматриваются возможности формирования заданного силуэта изделия непосредственно в процессе вязания за счет рационального использования свойств трикотажа и варьирования структуры переплетения. Используя системы автоматизированного проектирования Stoll M1 Plus составлена программа вязания деталей жакета.

Ключевые слова: трикотаж, жакет, формообразование, регулярный способ, полурегулярный способ, свойства трикотажа, структура переплетений.

Е.А. Sokolova, O.A. Vigelina

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

DESIGN OF GARMENT FORM CONSIDERING THE PROPERTIES OF KNITTED FABRICS

This article is devoted to the design of a women's jacket using a combined manufacturing method that incorporates elements of both fully fashioned and semi-fashioned knitting techniques. The possibilities of shaping the desired garment silhouette directly during the knitting process are considered through the rational use of knitted fabric properties and variation of stitch structures. Using the Stoll M1 Plus computer-aided design system, a knitting program for the jacket components was developed.

Keywords: knitted fabrics, jacket, shaping, fully fashioned method, semi-fashioned method, properties of knitted fabrics, stitch structure.

Простая конструкция костюмов, проверенная временем, сохраняет актуальность в мировой моде и остается востребованной в современных технологиях производства одежды. Особый интерес представляет изготовление изделий из цельного плоского полотна, что повышает эффективность производственного процесса.

Формообразование трикотажных изделий представляет собой процесс создания пространственной формы за счет деформационных характеристик материала [1]. Благодаря петлевой структуре трикотаж способен изменять геометрию под действием растяжения, изгиба и сжатия, что позволяет получать сложные формы. На внешний вид и посадку жакета влияют такие параметры, как эластичность, толщина, жесткость и пластичность трикотажа.

Существует несколько подходов к формированию объемной формы изделия:

1) Конструктивный способ основан на создании плоских деталей определенной конфигурации с последующим их соединением. Однако при таком подходе не всегда в полной мере используется способность трикотажа к пространственному формированию.

2) Технологический способ предполагает получение формы непосредственно в процессе вязания. Он характерен для регулярного и полурегулярного способов производства и позволяет минимизировать количество дополнительных операций.

3) Комбинированный.

Способ изготовления изделия оказывает существенное влияние на выбор методов формообразования. Для каждого технологического подхода характерны свои особенности получения объемной формы изделия.

Кроеный способ предполагает формирование объема изделия на этапе сборки за счет соединения деталей швами с применением конструктивных приемов, таких как посадка, вытачки, подрезы, рельефные линии.

Регулярный способ вязания включает два основных направления: контурное вязание деталей и цельновязаное изготовление изделия с минимальным количеством швейных операций либо с их полным

отсутствием. При контурном вязании формирование деталей осуществляется непосредственно по заданной конфигурации, соответствующей лекалам, что исключает необходимость последующего подкроя. Объемная форма достигается за счет изменения числа петель посредством петлепереноса, а также включения и выключения игл в процессе вязания. В цельновязаных изделиях формообразование может осуществляться путем частичного вязания, а также за счет изменения ширины полотна посредством группового переноса петель.

Полурегулярный способ характеризуется изготовлением купонов. Форма купона определяется типом используемого оборудования, его размеры по длине и ширине задаются в процессе вязания.

Изменение ширины купона в процессе производства возможно благодаря деформационным свойствам трикотажа. Использование различных переплетений на отдельных участках детали позволяет варьировать его геометрические параметры и формировать требуемую конфигурацию. Регулирование ширины может осуществляться как вдоль петельных рядов, так и вдоль петельных столбиков.

При разработке изделия были выбраны полурегулярный и регулярный способы производства и учтены особенности обоих видов изготовления. Комбинирование этих методов дает возможность более эффективно управлять формой изделия, позволяет снизить количество отходов и повысить эффективность производства за счет полного исключения операции по раскрою.

В качестве базового изделия для проектирования выбран женский жакет, что обусловлено комплексом взаимосвязанных факторов, включающих рыночные, технологические и эксплуатационные аспекты.

С позиции потребительского спроса данное изделие сохраняет устойчивую актуальность. Жакет широко используется в различных направлениях современной моды – от строгого делового до повседневного и вечернего гардероба. Его универсальность проявляется в способности сочетаться с разнообразными элементами одежды, что обеспечивает стабильный интерес со стороны потребителей.

Анализ современных модных тенденций показывает, что жакет продолжает занимать значимое место в коллекциях ведущих дизайнеров. Это подтверждает не только его востребованность, но и высокий потенциал для разработки разнообразных конструктивных и художественных решений.

Экономическая эффективность заключается в том, что производство жакетов обеспечивает рациональное использование оборудования и сырья. Возможность изменять длину, фасон, плотность вязания и структуры переплетений - это позволяет расширять ассортимент на базе одной конструктивной основе, снижая затраты на разработку новых моделей.

Таким образом, выбор женского жакета в качестве изделия является обоснованным с точки зрения спроса, технологических возможностей, экономической целесообразности и перспектив развития ассортимента (рис. 1).



Рис. 1. Жакет женский

Форма и силуэт трикотажных изделий определяется шириной и растяжимостью материала. Использование различных видов переплетений на отдельных участках изделия позволяет формировать требуемую конфигурацию деталей с минимальным применением сбавок и прибавок. Такие корректировки используются лишь там, где необходимо уточнить форму деталей, обеспечивая точную посадку и силуэт изделия.

Машинное время вязания изделий с использованием сбавок и прибавок выше, чем у изделий, полностью получаемых за счет изменения ширины полотна с учетом свойств переплетений.

Применение методов комбинирования переплетений и минимального использования сбавок и прибавок, при проектировании изделия, обеспечивает экономию сырья и повышает технологическую эффективность производства. Особенно перспективным является производство жакетов, формируемых из прямоугольного полотна, где окончательная форма создается в процессе вязания благодаря чередованию различных переплетений и минимальным количеством петлепереносов [2].

Эскиз проектируемого изделия представлен на рис. 2.

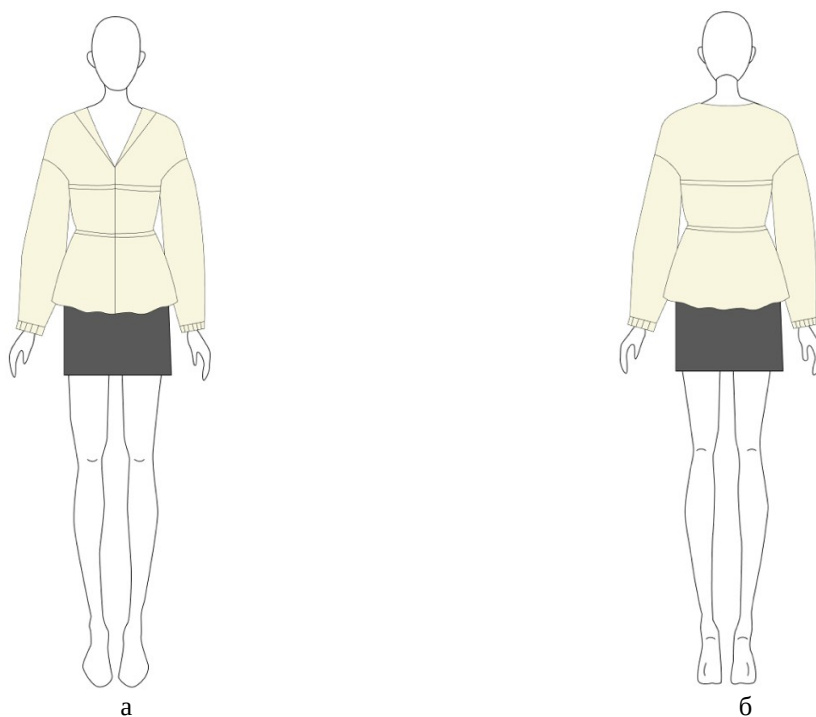


Рис. 2. Эскиз модели:
а – вид спереди; б – вид сзади

Жакет женский 92 размера, предназначен для ношения круглогодично. Изделие с рукавами, длиной до линии бедер.

Силуэт изделия прилегающий, слегка расклешенный к низу. Жакет выполнен комбинированным способом изготовления: полурегулярным и регулярным, с глубокой проработкой структуры полотна и конструктивных решений. Основная часть изделия связана кулирной гладью, обеспечивающей ровную, пластичную поверхность и естественное драпирование. В функционально значимых зонах применена сдвоенная гладь высотой 2 см, формирующая кулиски для ввода завязок; данное решение усиливает конструкцию и позволяет регулировать объём по линиям груди и талии, обеспечивая вариативность посадки. Центральные участки изделия разработаны с использованием комбинированного переплетения — чередования лицевых и изнаночных петель, формирующего рельефный шахматный рисунок. Это переплетение повышает формоустойчивость полотна и придаёт ему архитектурную выразительность. Нижняя часть жакета выполнена прессовым переплетением на базе кулирной глади длиной 22 см, которое создаёт более рыхлую, объёмную и пружинистую структуру; за счёт этого достигается мягкое расширение силуэта к низу и формируется выразительная линия низа с лёгкой волнистостью. Отлет и внутренняя часть рукава связаны двухизнаночной гладью, которая обеспечивает изменение линейных размеров и получения заданной формы. Отлет в виде участка трапецевидной формы получается благодаря переплетению двухизнаночная гладь. Рукав втачной, длинный, объёмный, линия плеча спущена на 6 см. Форма рукава обусловлена сочетанием конструктивных и технологических приёмов. Объём создаётся за счёт системы прибавок от манжеты к верхней части, а также за счёт использования сочетания переплетений по участкам. По средней линии рукава используется комбинированное

переплетение - чередования лицевых и изнаночных петель, формирующие рельефный шахматный рисунок шириной 10 см. По линии бокового шва располагается двухизнаночная гладь в виде участка трапецевидной формы, изменяющая линейные размеры. Между комбинированным переплетением и двухизнаночной глади вводятся участки кулирной глади шириной 5 см. Верхняя часть рукава имеет увеличенную ширину оката, что в сочетании с пластичностью трикотажа обеспечивает мягкое формирование объёма без жёсткой фиксации. Манжеты и верхняя часть рукава выполнены ластиком 2+3 высотой 5 см, который стабилизирует форму, создаёт упругость и фиксирует рукав в нижней точке, усиливая контраст между прилегающей манжетой и более свободным объёмом выше. Спинка изделия сконструирована с учётом анатомической посадки: предусмотрены участки сбавок, формирующие лёгкое прилегание в области лопаток и обеспечивающие оптимальное распределение объёма. Плечевой шов перенесён на сторону спинки и расположен под углом 45 градусов, что снижает напряжение в плечевой зоне и улучшает посадку изделия.

На рис. 3 представлены схемы купонов переда, рукава и детали спинки с обозначением переплетений по участкам.

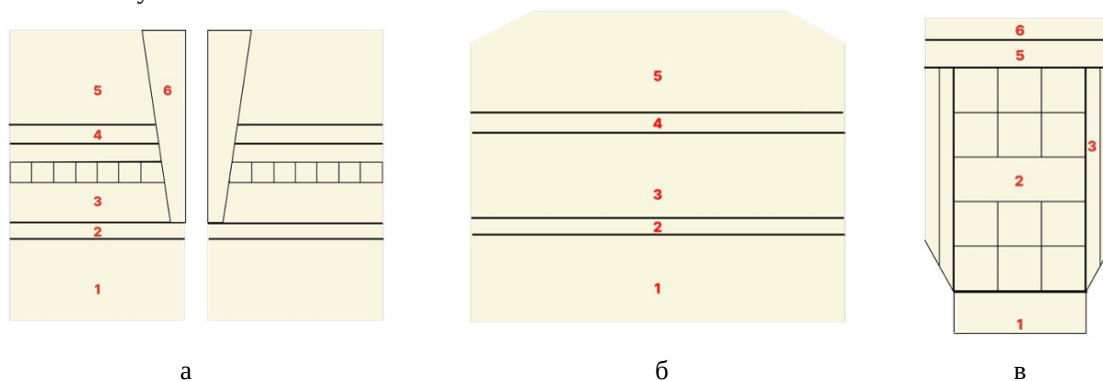


Рис. 3. Схема купонов и детали:
а – перед; б – спинка; в – рукав

Детали изделия поделены на секции, каждая секция вывязывается различными переплетениями. На купонах переда и детали спинки 1- прессовое переплетение; 2 – сдвоенная гладь (кулирка); 3 – комбинированное (чередование лицевых и изнаночных петель); 4 – сдвоенная гладь (кулирка); 5 – кулирная гладь; 6 – двухизнаночная гладь для формирования отлета. На купоне рукава 1- ластик 2+3 (манжета); 2 – чередование лицевых и изнаночных петель; 3 – кулирная гладь; 4 – двухизнаночная гладь; 5 – ластик 2+3; 6 – кулирная гладь.

Переплетения для разных участков были выбраны в результате эксперимента. Образцы переплетений отвязывались на одинаковом количестве игл, после ВТО и отлежки были проведены измерения линейных размеров по ширине. На основании полученных данных структуры переплетений были распределены по участкам для получения требуемой формы детали.

На рис. 4 представлена схема изменения ширины купона для переда в зависимости от используемых переплетений по участкам.

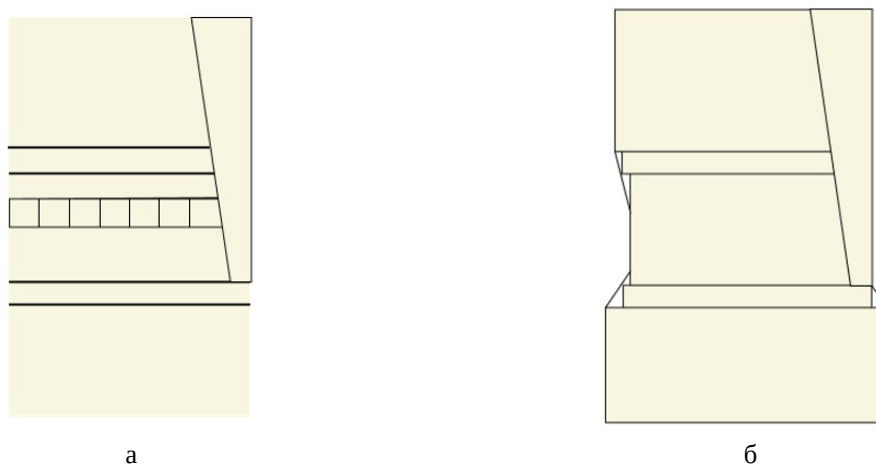


Рис. 4. Схема изменения ширины купона в зависимости от переплетений:
а – деталь переда; б – изменение ширины детали переда

Для вязание деталей и купонов изделия была выбрана автоматизированная плосковязальная машина Stoll 502Ki 12 класса, две петлеобразующие системы, оснащенной системой программирования M1 Plus.

Для изготовления модели была разработана программа вязания деталей в системе M1 Plus. Готовая программа представлена на рис. 5 с обозначением участков сбавок и прибавок.

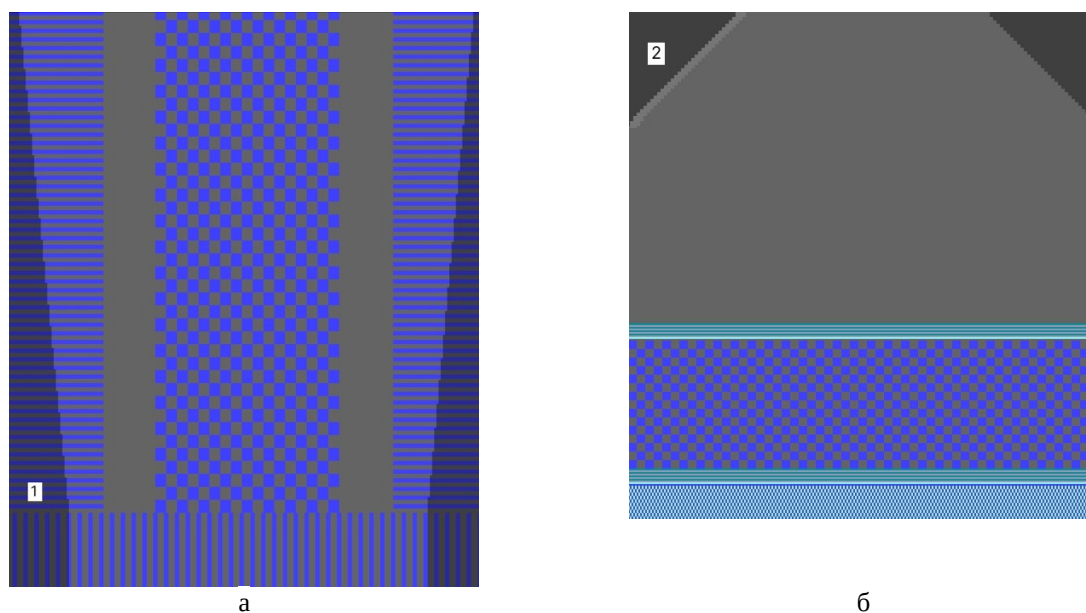


Рис. 5. Программа вязания в системе M1 Plus:
а – деталь рукава; б – деталь спинки

На купоне рукава 1 обозначен участок прибавок. На детали спинки 2 участок сбавок.

Также программа M1 Plus позволяет визуализировать будущую деталь и отследить участки, на которых возможно скорректировать форму и структуру переплетений. Визуализация фрагмента структуры для рукава показана на рис. 6.

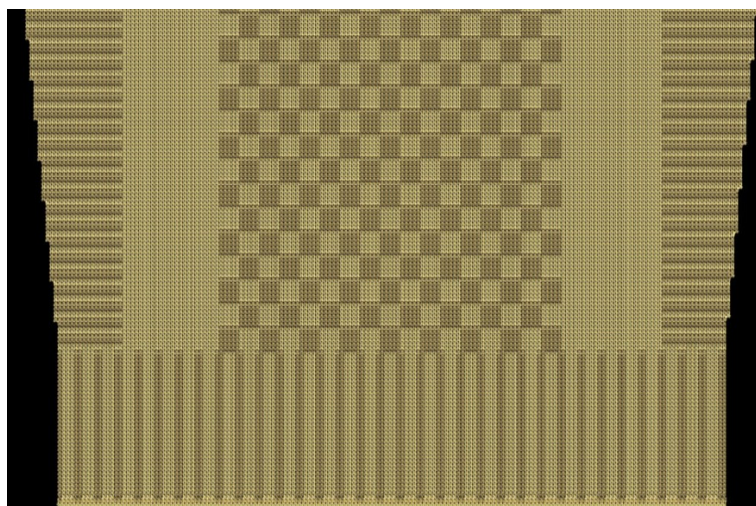


Рис. 6. Визуализация фрагмента структуры

После вязания проводится ВТО купонов и деталей, собирается изделие на кеттельной машине. Для начала закрывается последний ряд открытых петель, затем соединяются плечевые швы деталей переда и спинки, рукав собирается в открытую пройму и соединяется по боковому шву.

Фотографии изделия в готовом виде представлены на рис. 7.



Рис. 7. Фотографии готового изделия:
а – вид спереди; б – вид сзади

Таким образом, формообразующие свойства трикотажного полотна во многом обусловлены его способностью к растяжению и упругости. Из купонов простой прямоугольной формы, возможно, получить изделие с заданным силуэтом непосредственно в процессе вязания. Это достигается за счет варьирования переплетений на отдельных участках, а также применение сбавок и прибавок в определенных зонах. При изготовлении изделий заданной формы применение методов комбинирования переплетений и минимального использования сбавок и прибавок обеспечивает экономию сырья и повышает технологическую эффективность производства.

Список литературы

1. Пригодина, Н.И. Формообразование и макетирование трикотажных изделий: практикум / Н.И. Пригодина, О.А. Вигелина – Санкт-Петербург: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2025 – 80 с.
2. Макаренко, С.В. Технология трикотажа. Трикотаж рисунчатых и комбинированных переплетений: учеб. пособие / С.В. Макаренко. – СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2019 – 86 с.

References:

1. Prigodina, N.I. Formoobrazovanie i maketirovanie trikotaznie izdeli: practicum / N.I. Prigodina, O.A. Vigelina – Sankt-Petersburg: SPBGUPTD, 2025. 80 с.
2. Makarenko, S. V. Tehnologija trikotazha. Trikotazh risunchatyh i kombinirovannyh perepletenij: uchebnoe posobie [Knitwear technology. Knitwear of patterned and combined weaves: textbook].SPb.: SPBGUPTD, 2019. 86 с.

УДК 67.017

С.Д. ЕрмолаеваСанкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕДИАСФЕРЕ**

© С.Д. Ермолаева, 2026

Аннотация. В статье анализируется применение нейронных сетей в медиасфере. Рассматриваются их возможности в генерации изображений, видео и игр, а также влияние на процесс создания контента. Особое внимание уделяется проблемам авторского права и трансформации роли автора.

Ключевые слова: нейронные сети; медиасфера; искусственный интеллект; генерация контента; большие языковые модели; цифровые технологии; авторское право.

S.D. ERMOLAEVASaint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya, 18**APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE MEDIA SPHERE**

Abstract. The article analyzes the application of neural networks in the media sphere. It examines their capabilities in generating images, video, and games, as well as their impact on the content creation process. Special attention is given to issues of copyright and the transformation of the author's role.

Keywords: neural networks; media sphere; artificial intelligence; content generation; large language models; digital technologies; copyright.

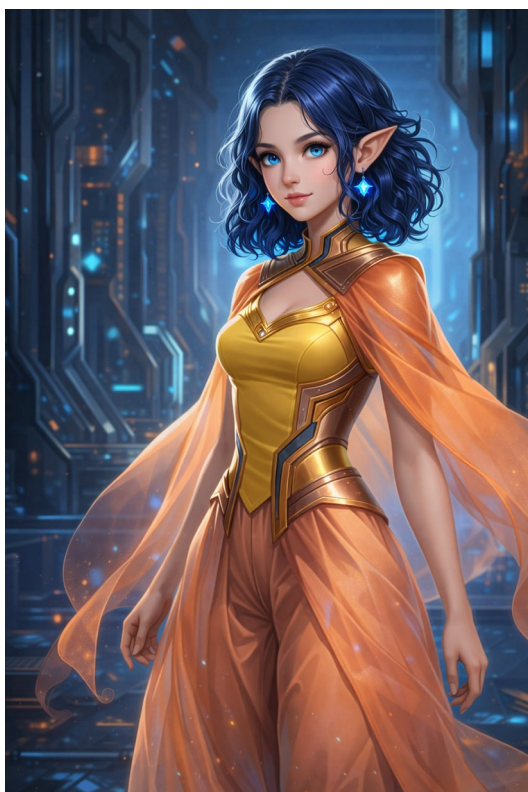
Традиционно искусство рассматривается как результат индивидуальной деятельности человека, однако в XXI веке в этот процесс активно внедряются инструменты искусственного интеллекта, способные генерировать визуальный, текстовый и аудиовизуальный контент. Современные ИИ-технологии существенно меняют художественную культуру, формируя новые формы взаимодействия между автором и цифровыми инструментами. Нейросети становятся не только средством реализации творческого замысла, но и участником художественного процесса, что требует переосмысления роли автора и границ творчества [1].

В медиасфере ИИ-инструменты становятся конвейером массового производства контента, включая генерацию изображений, видео, игровых продуктов. Это приводит к изменению не только технологий создания контента, но и структуры взаимодействия между автором, платформами и аудиторией.

За 2022-2026 годы стремительное развитие получили большие языковые модели, продемонстрировавшие качественный переход от выполнения базовых элементов к решению сложных творческих и аналитических задач. Данные модели обучаются на значительных массивах текстовой и мультимедийной информации, что позволяет им учитывать контекст запроса пользователя и генерировать разнообразный контент, включая тексты, изображения и элементы прочих медиапродуктов. В условиях медиасферы большие языковые модели становятся важным инструментом генерации и интерпретации контента, расширяя возможности взаимодействия между человеком и цифровыми технологиями [2, 3]

Применение больших языковых моделей в генерации изображений

Одним из направлений использования нейронных сетей является генерация изображений на основе текстового описания, так как современные LLM-модели, основанные на методах машинного обучения и больших языковых моделях, способны анализировать значительные объемы данных и создавать новые визуальные образы [4]. Использование таких технологий позволяет значительно ускорить процесс создания художественного контента. Художник формулирует идею в виде детального текстового запроса (промт), после чего алгоритм генерирует изображение, соответствующее заданным параметрам (рис.1). Это особенно востребовано в индустриях кино, рекламы и видеоигр, где важна высокая скорость разработки визуальных решений.



а - ChatGPT



б- Sora

Рис. 1. Генерация изображений на основе детального текстового запроса (девушка эльф с темными, отливающим синим, немного кудрявыми волосами по лопатки, яркими синими глазами, в ушах сережки с синими четырехугольными звездами, жёлтый верх костюма с полупрозрачной оранжевой накидкой на плечах, в широких штанах персикового цвета, которые напоминают юбку. В стиле сай фай фантастики.) .

Дополнительным ответвлением является восстановление изображений. Нейросети способны улучшать качество старых фотографий, устранять повреждения и реконструировать утраченные фрагменты. Это открывает новые возможности для сохранения культурного наследия и работы с архивными материалами. Также необходимо отметить, что использование больших языковых моделей позволяет учитывать контекст запроса. Это повышает точность генерации и делает результат соответствующим художественной задаче.

Применение в генерации видео

LLM-алгоритмы способны генерировать анимацию, изменять визуальные стили, а также создавать видеоряд на основе текстового описания. В киноиндустрии нейросети применяются на этапе препродакшена для создания концепт-артов, раскадровок и визуализации сцен. Это позволяет существенно сократить время подготовки проекта и снизить производственные затраты. Большие языковые модели используются для создания визуальных эффектов и постобработки видеоматериалов.

Например, в фильме «Ирландец» (2019) Мартина Скорсезе технологии искусственного интеллекта и нейросетей сыграли ключевую роль, причем как в процессе создания картины, так и в последовавших за этим любительских экспериментах (Рис.2). Для омоложения Роберта Де Ниро, Аль Пачино и Джо Пеши студия Industrial Light & Magic (ILM) разработала инновационную систему Flux, при которой актерам не нужно было надевать шлемы с камерами или клеить на лица маркеры, которые мешали бы актерской игре. Съемка велась на специальную систему из трех камер («трехглазый монстр»): основная камера дополнялась двумя инфракрасными, которые фиксировали объем и текстуру лиц актеров. Нейросетевые алгоритмы анализировали огромную библиотеку кадров из старых фильмов с участием актеров, чтобы искусственный интеллект смог корректно сопоставить освещение и мимику пожилых актеров с их молодыми образами. Однако из-за сложности технологии омоложения бюджет фильма увеличился до 159 миллионов долларов, так как компьютерная графика потребовалась почти в каждой сцене [2, 4].



Рис.2. — Молодой Роберт Де Ниро фильм «Ирландец» (2019) (до и после обработки)

Применение в генерации игр

Нейронные сети оказывают значительное влияние на игровую индустрию [5]. Они используются для генерации текстур, персонажей, ландшафтов и анимации, что позволяет автоматизировать часть процессов разработки.

В игровой индустрии нейронные сети находят широкое применение в создании контента и оптимизации игровых процессов. Но нужно отметить, что в одном из самых известных примеров применения этой технологии в *No Man's Sky* — сложная математическая система, которую часто называют «ИИ», но технически она представляет собой детерминированную процедурную генерацию (рис.3). Вместо того чтобы вручную рисовать каждую планету, разработчики создали набор правил и формул, которые на лету превращают числа в целые миры: в основе всей вселенной лежит одно огромное число, которое служит входным параметром для всех формул игры. Благодаря этому 18 квинтиллионов планет существуют «потенциально»: игра не хранит их на диске, а вычисляет параметры планеты только тогда, когда вы к ней приближаетесь. Сначала определяются параметры звездной системы, затем — тип планеты (ледяная, радиоактивная и т.д.), затем ландшафт, и в последнюю очередь — флора и фауна, которые должны соответствовать климату. Хотя сама игра работает на алгоритмах, разработчики из Hello Games использовали технологии машинного обучения для оптимизации процесса. В автоматизированном тестировании, чтобы проверить, не создают ли алгоритмы «сломанные» или непроходимые планеты, студия использовала специальных автоматизированных ботов. Эти виртуальные «игроки» летали по галактике, делали скриншоты и отчеты, заменяя тысячи живых тестеров. Музыка и крики существ также генерируются процедурно. Система берет аудио-фрагменты и адаптирует их под текущую ситуацию: боевая музыка нарастает при опасности, а звуки животных меняются в зависимости от их размера и формы тела. Современные нейросетевые подходы развивают этот принцип, делая генерацию более сложной и адаптивной [5].



Рис.3. — генерация планеты в *No Man's Sky*

В проектах крупных компаний, таких как Ubisoft, искусственный интеллект применяется для

позволяет ускорить разработку и повысить реалистичность игрового процесса. Также нейросети используются для создания текстур высокого разрешения. Например, технологии, подобные NVIDIA DLSS, применяются для улучшения графики в реальном времени с использованием методов машинного обучения.

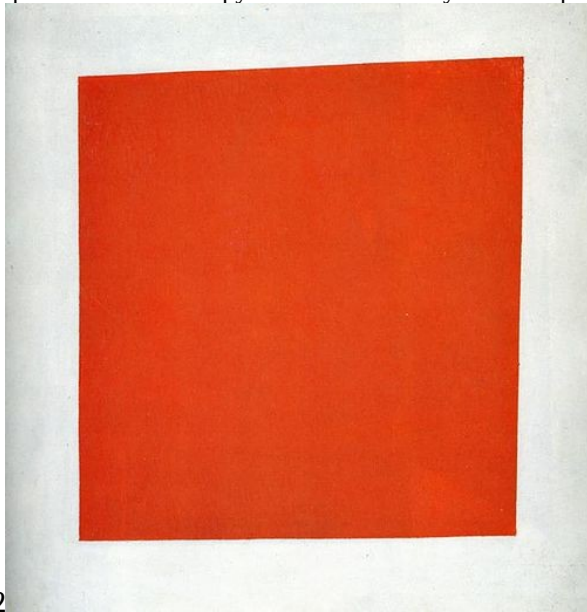
В ряде современных проектов внедряются системы адаптивного искусственного интеллекта, которые анализируют действия игрока и изменяют игровой процесс, создавая персонализированный игровой опыт.

Дополнительные аспекты и проблемы применения нейросетей

Несмотря на значительные преимущества, использование нейронных сетей сопровождается рядом проблем. Одной из них является снижение порога входа в творчество, что приводит к увеличению объема низкокачественного контента. Одной из проблем применения нейронных сетей в медиасфере является вопрос авторского права и оригинальности создаваемого контента. Современные генеративные модели обучаются на больших массивах данных, включающих уже существующие произведения искусства, фотографии, тексты и видеоматериалы. Это вызывает дискуссии о допустимости использования таких данных без согласия авторов.

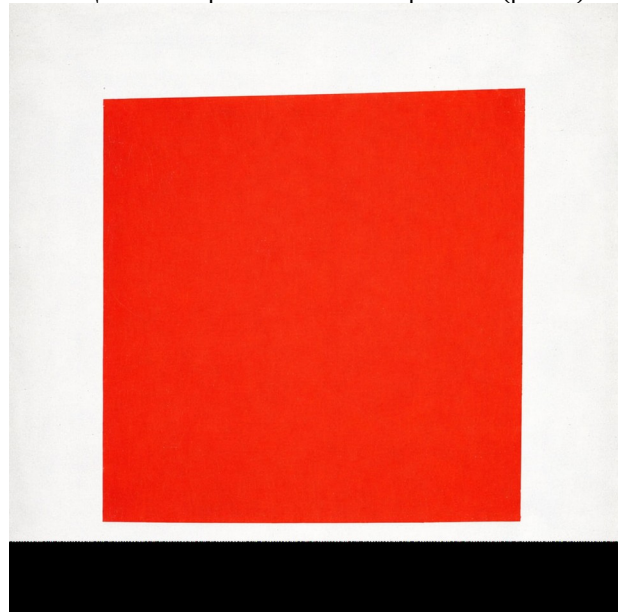
В результате возникает неопределённость в вопросе авторства: кто является создателем произведения — разработчик алгоритма, пользователь, сформулировавший запрос, или сама система. На практике авторство чаще всего закрепляется за человеком, задающим параметры генерации и принимающим решение о финальном результате.

Дополнительную сложность представляет возможность воспроизведения художественных стилей конкретных авторов. Большие языковые модели могут имитировать манеру известных художников, что может восприниматься как нарушение интеллектуальных прав и снижать ценность оригинального творчества (рис. 4).



2

а) К. С. Малевич. Живописный реализм крестьянки в двух измерениях (Красный квадрат). 1915. Холст, масло. Государственный Русский музей, Санкт-Петербург.



б) ChatGPT. Просто красный квадрат (приложено фото оригинала)

Рис.4. — имитация работ известных художников

В условиях медиасферы этот вопрос требует разработки новых правовых механизмов, регулирующих использование искусственного интеллекта в создании контента. Тем не менее нейросети следует рассматривать не как замену автору, а как инструмент, расширяющий его возможности. Не менее важной является проблема монетизации. Доступность генеративных технологий приводит к перенасыщению медиасферы контентом, что усложняет его коммерческую реализацию. Авторам становится сложнее выделиться на фоне большого количества аналогичных работ, а ценность отдельных произведений может снижаться.

Дополнительной проблемой является риск упрощения художественного содержания. Использование алгоритмов может приводить к шаблонности и снижению глубины художественного замысла.

Существенным аспектом является влияние нейросетей на творческий процесс. Снижение порога входа в создание контента приводит к увеличению количества произведений, однако не всегда сопровождается ростом их качества. Возникает риск стандартизации художественных решений и формирования шаблонных образов, что может снижать оригинальность и глубину художественного замысла.

Поэтому отдельного внимания заслуживает влияние нейросетей на формирование восприятия у

воспринимает контент преимущественно в визуальной и интерактивной форме. Использование нейросетей может способствовать упрощению восприятия сложных художественных произведений, снижению уровня критического анализа и формированию клипового мышления [6].

Высокая скорость генерации контента может снижать потребность в глубоком осмыслении информации, что влияет на качество восприятия культурных и художественных смыслов. В этих условиях возрастает значение развития критического мышления и медиаграмотности. Таким образом, использование нейронных сетей в медиасфере требует не только технологического развития, но и формирования новых подходов к регулированию, оценке качества контента и развитию культуры его восприятия

Надо отметить и изменение роли человека в процессе создания медиаконтента. Если ранее автор выступал как непосредственный создатель произведения, то в условиях использования нейросетей его роль постепенно смещается в сторону управляющего или контроллера. Человек формулирует идею, задаёт параметры генерации, отбирает наиболее удачные результаты и определяет финальный вид произведения. Таким образом, он становится куратором и модератором творческого процесса.

Данная модель предполагает, что нейросеть выполняет функцию инструмента, а ключевые решения остаются за человеком. Это позволяет сохранить творческую составляющую и избежать полной автоматизации художественной деятельности.

Кроме того, роль человека включает критическую оценку создаваемого контента, что особенно важно в условиях увеличения объёма информации и распространения низкокачественных материалов. В этом смысле человек выполняет функцию фильтра, обеспечивающего качество и смысловую значимость медиапродукта.

Заключение

Большие языковые модели становятся важным элементом современного художественного пространства. Их использование позволяет ускорить процессы создания контента, расширить выразительные средства и повысить доступность творчества.

Вместе с тем развитие данных технологий сопровождается рядом вызовов, включая вопросы авторского права, качества контента и сохранения художественной ценности.

Несмотря на существующие проблемы и ограничения, нейросети обладают значительным потенциалом для дальнейшего развития искусства. Они создают новые формы взаимодействия человека и технологии, способствуя появлению инновационных художественных практик.

Научный руководитель: Белая Татьяна Ивановна, доцент, к.т.н.

Scientific supervisor: Tatyana I. Belaya, Associate Professor, PhD in Engineering

Список литературы

1. Кузнецов С. Д. Искусственный интеллект и анализ данных. — М.: ДМК Пресс, 2021.
2. Соколов И. А., Фролов А. А. Искусственный интеллект: современные методы и приложения. — М.: Физматлит, 2022.
3. Смирнов И. В. Применение технологий искусственного интеллекта в медиаиндустрии // Медиаальманах. — 2023. — № 2. — С. 25–33.
4. Иванов П. А. Цифровые технологии в креативных индустриях // Креативная экономика. — 2021. — Т. 15. — № 7. — С. 2891–2904.
5. Добрынин А. П. Цифровая трансформация и искусственный интеллект в медиасфере // Вопросы экономики. — 2022. — № 5. — С. 45–60.
6. Петрова Е. В. Искусственный интеллект и современные медиа: тенденции развития // Журналистика и медиарынок. — 2024. — № 1. — С. 12–18.

References

1. Kuznetsov S. D. *Iskusstvennyj intellekt i analiz dannykh*. — M.: DMK Press, 2021.
2. Sokolov I. A., Frolov A. A. *Iskusstvennyj intellekt: sovremennyye metody i prilozheniya*. — M.: Fizmatlit, 2022.
3. Smirnov I. V. *Primenenie tekhnologij iskusstvennogo intellekta v mediaindustrii* // *Mediaal'manakh*. — 2023. — № 2. — S. 25–33.
4. Ivanov P. A. *Tsifrovyye tekhnologii v kreativnykh industriyakh* // *Kreativnaya ekonomika*. — 2021. — T. 15. — № 7. — S. 2891–2904.
5. Dobrynin A. P. *Tsifrovaya transformatsiya i iskusstvennyj intellekt v mediasfere* // *Voprosy ekonomiki*. — 2022. — № 5. — S. 45–60.
6. Petrova E. V. *Iskusstvennyj intellekt i sovremennyye media: tendentsii razvitiya* // *Zhurnalistika i mediarynok*. — 2024. — № 1. — S. 12–18.

УДК 004.584

Д. Г. Стасюк, В. Ю. Антонова

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СТИХОТВОРНЫХ ТЕКСТОВ

Аннотация: В статье рассматривается применение больших языковых моделей для генерации стихотворных текстов. Описан принцип работы языковых моделей, выявлены преимущества и ограничения их использования в поэтическом творчестве. Проведен сравнительный анализ стихотворений, созданных человеком и сгенерированных нейросетью. Сделан вывод о том, что искусственный интеллект следует рассматривать как вспомогательный инструмент, дополняющий деятельность человека.

Ключевые слова: большие языковые модели, искусственный интеллект, генерация поэтических текстов, машинное творчество, нейросети, авторство, эмоциональная выразительность, сравнительный анализ, этические аспекты

D. H. Stasiuk, V. Yu. Antonova

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

LEVERAGING LARGE LANGUAGE MODELS FOR RUSSIAN-LANGUAGE POETRY GENERATION

Abstract. The paper investigates the deployment of large language models (LLMs) in the automated generation of Russian poetic texts. We outline the architectural principles underlying contemporary LLMs and quantify their affordances and constraints when applied to verse composition. A comparative corpus study juxtaposing human-authored and LLM-generated poems is presented, with evaluation metrics spanning phonetic patterning, semantic coherence, and affective salience. Our findings indicate that generative systems function most effectively as augmentative rather than substitutive tools within the creative workflow. We conclude by delineating future research directions, including controllable prosody, ethical attribution, and hybrid human-in-the-loop pipelines.

Keywords: large language models, artificial intelligence, computational creativity, Russian poetry, neural text generation, authorship attribution, affective computing, comparative poetics, ethical AI

Технологии искусственного интеллекта активно участвуют в редакционно-издательской деятельности. Их применение вызывает споры о границах машинного творчества и роли человека в процессе создания художественных произведений [2, с. 50-51]. Одним из ключевых инструментов, лежащих в основе подобных технологий, являются большие языковые модели.

Большие языковые модели – это класс нейросетевых моделей обработки естественного языка, характеризующихся большим количеством параметров и обученных на масштабных текстовых корпусах с использованием архитектуры трансформера [5, с. 7-9]. Их функционирование основано на выявлении статистических закономерностей языка и последующем воспроизведении этих закономерностей в процессе генерации новых текстов. Обобщённая схема работы большой языковой модели (LLM) в режиме авторегрессивной генерации представлена на рисунке 1. В этом режиме LLM проходит следующие этапы:

- входной запрос - пользователь отправляет запрос к модели;
- токенизация - запрос разбивается на отдельные единицы — токены (символы, слова и другие фрагменты текста);
- векторизация (эмбеддинг) - токены преобразуются в векторы (эмбеддинги), которые отражают их смысловое значение и контекст;
- генерация следующего токена - модель использует эмбеддинги и свою базу знаний, проходя через многочисленные слои информации. На каждом этапе модель «предсказывает» следующий токен, выбирая его с учётом вероятностей, которые рассчитываются на основе предыдущих токенов и контекста;
- корректировка модель может редактировать сгенерированный текст с учётом заложенных в неё фильтров.

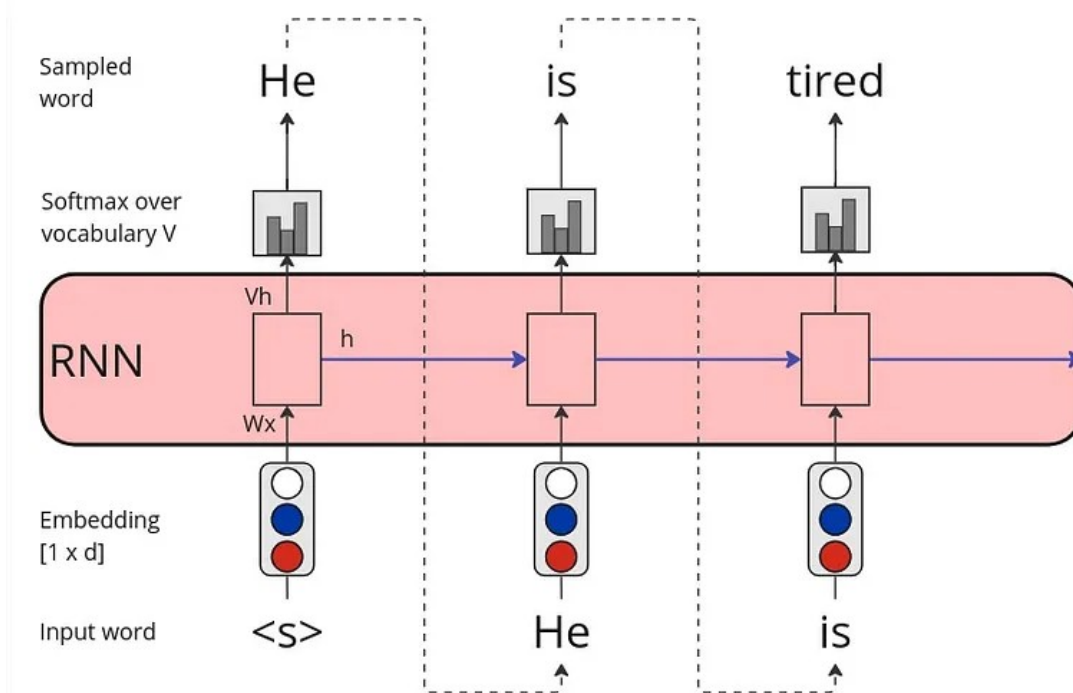


Рис. 1 — Принцип работы большой языковой модели

Описанный механизм позволяет языковым моделям генерировать связные и стилистически оформленные тексты. В контексте поэзии такие модели способны формировать рифмованные структуры, соблюдать особенности ритма и имитировать стили различных авторов.

Применение языковых моделей в создании стихотворных текстов обладает рядом преимуществ. К основным преимуществам относятся высокая скорость генерации текстов и доступность для множества пользователей, что позволяет лицам, не имеющим профессиональной подготовки, участвовать в создании поэтических произведений. Кроме того, языковые модели могут использоваться как вспомогательный инструмент для профессиональных авторов, обеспечивая генерацию идей, подбор вариантов рифм и выражений [2, с. 55-56].

В качестве примера применения больших языковых моделей для генерации поэтических текстов приведём стихотворение, созданное с помощью простого промпта: «Напиши стихотворение на тему: Наука. Стиль стихотворения лирический, размер 2 строфы». Приведенный пример демонстрирует способность создавать рифмованный и структурированный текст. В нем используются различные художественные средства, включая метафорические образы, противопоставление, олицетворение. Однако содержание остается обобщенным.

Пример 1 – Стихотворение, сгенерированное языковой моделью на тему «Наука»:

«В тиши лабораторий и идей
Рождается незримое движенье,
Где свет познанья, хрупкий и ничей,
Ведёт сквозь сомнения к решенью.

И в формулах скрывается рассвет,
И в цифрах — отголоски мирозданья,
Наука ищет вечности ответ,
Сквозь время, сквозь пределы пониманья».

Хотя пример демонстрирует способность модели создавать рифмованный и структурированный текст с использованием различных художественных средств, важно учитывать ограничения такой генерации. В частности, искусственный интеллект не обладает субъективным опытом и эмоциональной составляющей, которые играют ключевую роль в художественном творчестве [3, с. 116-117]. Генерируемые произведения формируются на основе статистического анализа данных и часто имеют шаблонный характер, что может снижать глубину и выразительность стихотворений [6]. Также, спорными вопросами остаются вопросы авторства, оригинальности и допустимости имитации индивидуального стиля известных поэтов [3, с. 120-123].

Для обнаружения особенностей стихотворных текстов, созданных с помощью искусственного интеллекта, проведем сравнительный анализ с текстом написанным человеком.

Для генерации текста, сгенерированного языковой моделью использован промпт: «Сгенерируй стихотворный текст в лирическом стиле на тему любви и утраты, с использованием рифмованной структуры и эмоционально окрашенной лексики».

Пример 2 – Сравнение человеческого и сгенерированного текста.

А) Текст сгенерированный языковой моделью:

«Не ищи в словах моих тепла,
В них лишь тень несбывшихся признаний,
Я давно ушёл туда, где мгла
Скрыла след забытых ожиданий.

И в молчаньи больше правды, чем в словах,
Что когда-то были так важны,
Остывает боль в моих стихах,
Как огонь в конце глухой зимы.»

Б) В качестве стихотворения, написанного человеком, выступает произведение Сергея Есенина «Не криви улыбку руки теребя».

«Не криви улыбку, руки теребя, –
Я люблю другую, только не тебя.
Ты сама ведь знаешь, знаешь хорошо –
Не тебя я вижу, не к тебе пришёл.
Проходил я мимо, сердцу всё равно –
Просто захотелось заглянуть в окно».

Сравнительный анализ представленный в таблице 1 показывает, что стихотворение, созданное человеком, отличается высокой степенью эмоциональной выразительности и переживания. В тексте С. А. Есенина наблюдается простота и искренность, что усиливает эффект личного обращения и глубины чувства.

Таблица 1— Сравнительный анализ произведений

Критерий	Стихотворение человека (Есенин)	Стихотворение ИИ
Авторство	Человек	Искусственный интеллект
Эмоциональная выразительность	Высокая	Средняя
Искренность / субъективность	Высокая	Низкая
Форма / рифма	Соблюдена	Соблюдена
Образные средства	Используются	Используются
Уровень индивидуализации / жизненного опыта	Высокий	Низкий

В свою очередь, сгенерированный текст демонстрирует соблюдение поэтической формы, наличие рифмы и использование образных средств. Однако он характеризуется большей обобщённостью, что показывает отсутствие индивидуального жизненного опыта. Несмотря на формальное сходство, тексты различаются по уровню эмоциональной насыщенности и степени индивидуализации авторского высказывания.

Таким образом, использование больших языковых моделей в создании стихотворных текстов представляет собой перспективное направление, которое способствует расширению возможностей литературного творчества. Однако искусственный интеллект следует рассматривать как инструмент, дополняющий деятельность человека, а не как самостоятельного автора, так как необходимо наличие субъективного опыта, эмоциональной глубины и художественной интенции, которые в настоящее время недоступны для искусственного интеллекта [1, с. 130-132]. Также нельзя исключить возможность возникновения ситуаций, при которых произведения, созданные с помощью искусственного интеллекта, будут практически неотличимы от написанных человеком. Это ставит под сомнение критерии подлинности поэтического текста и обостряет проблему значимости человеческого авторства.

Научный руководитель: Белая Татьяна Иоанновна, доцент, к.т.н.

Scientific supervisor: Tatyana I. Belaya, Associate Professor, PhD in Engineering

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленкова Н. А., Никитина А. С. Искусственный интеллект как соавтор? Переосмысление авторства в контексте взаимодействия человека с ИИ // *Современные наукоемкие технологии*. — 2025. — Т. 5, № 2. — С. 122–133.
2. Черняк М. А., Морозова С. А. «Свет мой, GPT, скажи...», или Феномен художественного текста постлитературной эпохи // *Мир русского слова*. — 2025. — № 4. — С. 50–62.
3. Шрайберг Я. Л., Волкова К. Ю. Вопросы авторского права в отношении произведений, созданных при помощи генеративного искусственного интеллекта // *Научные и технические библиотеки*. — 2025. — № 2. — С. 115–130.
4. Гусаренко С. В., Гусаренко М. К. Интерпретация художественного приёма в тексте лингвистическими нейросетями Алиса YandexGPT 5 Pro, GPT-4o DUM-E, DeepSeek Рико и GigaChat // *Гуманитарные и юридические исследования*. — 2025. — Т. 12, № 3. — С. 513–523.
5. Фаттахова А. В. Генерация поэзии методами промт-инжиниринга с использованием синтетических данных : Выпускная квалификационная работа. — М. : НИУ ВШЭ, 2025.
6. Porter B., Machery E. People cannot distinguish GPT-4-generated poetry from human-written poetry // *Scientific Reports*. — 2024.

REFERENCES

1. Maslenkova N. A., Nikitina A. S. *Iskusstvennyj intellekt kak soavtor? Pereosmyslenie avtorstva v kontekste vzaimodejstviya cheloveka s II // Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. — 2025. — Т. 5, № 2. — С. 122–133.
2. Chernyak M. A., Morozova S. A. «Svet moj, GPT, skazhi...», ili Fenomen khudozhestvennogo teksta postliteraturnoj epokhi // *Mir russkogo slova*. — 2025. — № 4. — С. 50–62.
3. Shrajberg Ya. L., Volkova K. Yu. *Voprosy avtorskogo prava v otnoshenii proizvedenij, sozdannykh pri pomoshchi generativnogo iskusstvennogo intellekta // Nauchnye i tekhnicheskie biblioteki*. — 2025. — № 2. — С. 115–130.
4. Gusarenko S. V., Gusarenko M. K. *Interpretatsiya khudozhestvennogo priyoma v tekste lingvisticheskimi nejrosetyami Alisa YandexGPT 5 Pro, GPT-4o DUM-E, DeepSeek Riko i GigaChat // Gumanitarnye i yuridicheskie issledovaniya*. — 2025. — Т. 12, № 3. — С. 513–523.
5. Fattakhova A. V. *Generatsiya poezii metodami promt-inzhiniringa s ispol'zovaniem sinteticheskikh dannykh : Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota*. — М. : NIU VShE, 2025.
6. Porter B., Machery E. *People cannot distinguish GPT-4-generated poetry from human-written poetry // Scientific Reports*. — 2024.

УДК 004.056.5

Е.М. Сочина, Е.И. Чалова

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

ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СФЕРЕ ЖКХ

Е.М. Сочина, Е.И. Чалова, 2026

Статья посвящена вопросам обеспечения безопасности персональных данных в сфере жилищно-коммунального хозяйства России. Рассматриваются типы данных, обрабатываемых в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Приводится актуальная статистика утечек в стране и анализируются основные угрозы, связанные с цифровизацией отрасли: кибератаки, уязвимости информационных систем и человеческий фактор. Определены меры по снижению рисков и отмечена необходимость усиления нормативных и технологических механизмов защиты.

Ключевые слова: ЖКХ; персональные данные; цифровая безопасность; киберугрозы; утечки данных; информационные системы; защита информации; 152-ФЗ «О персональных данных»

Цифровизация жилищно-коммунального хозяйства в России открывает новые возможности для повышения эффективности управления ресурсами, взаимодействия с жильцами и улучшения качества предоставляемых услуг. Однако эти изменения сопровождаются новыми вызовами в области информационной безопасности, особенно в защите персональных данных граждан. Управляющие компании, товарищества собственников жилья и ресурсоснабжающие организации активно используют цифровые системы, что делает вопрос обеспечения конфиденциальности данных чрезвычайно актуальным.

Персональные данные в жилищно-коммунальном хозяйстве включают в себя широкий спектр информации, от идентификационных данных (ФИО, адрес проживания) до данных о платежах и потреблении коммунальных ресурсов. Эти данные привлекают внимание киберпреступников, а также могут стать объектом утечки в случае ненадлежащей организации их защиты. Современное законодательство в России, в частности Федеральный закон № 152-ФЗ "О персональных данных", регулирует отношения, связанные с обработкой персональных данных, однако его исполнение требует технологических и организационных усилий со стороны операторов данных.

Цель данной статьи - рассмотреть основные проблемы защиты персональных данных в сфере жилищно-коммунального хозяйства, оценить существующие угрозы и предложить решения, которые помогут усилить защиту данных на всех уровнях.

Сфера жилищно-коммунального хозяйства, как одна из самых массивных в России, имеет дело с огромным объемом данных о гражданах. Персональные данные включают: идентификационные данные: ФИО, адрес проживания, контактная информация: номера телефонов, электронная почта, финансовая информация: данные о платежах за коммунальные услуги, информация о потреблении коммунальных услуг: данные об объеме потребления воды, газа, электричества и т.д.

Цифровизация жилищно-коммунального хозяйства и внедрение систем дистанционного управления (таких как "умные счетчики" и онлайн-сервисы для оплаты услуг) приводят к тому, что данные передаются через интернет и обрабатываются в информационных системах. Это требует внедрения комплексных мер защиты, так как данные могут стать объектом атак злоумышленников или утечек из-за человеческого фактора. Как отмечает Куранов А. С., цифровизация жилищно-коммунального хозяйства приводит к усилению взаимодействия между государственными информационными системами и ресурсоснабжающими организациями, что увеличивает требования к защите данных.

Основная проблема защиты персональных данных в жилищно-коммунальном хозяйстве заключается в масштабе обрабатываемой информации и высокой вероятности утечек данных в результате кибератак или внутреннего недобросовестного использования. Существуют несколько ключевых рисков:

Одной из главных угроз являются кибератаки, направленные на базы данных управляющих компаний и поставщиков коммунальных услуг. Злоумышленники могут использовать уязвимости в системе для получения доступа к персональным данным жильцов. Проблема усугубляется тем, что многие информационные системы жилищно-коммунального хозяйства используют устаревшие или недостаточно защищенные технологии. По данным Оганесян А. А., существует значительный дефицит специалистов по кибербезопасности в сфере жилищно-коммунального хозяйства, что увеличивает вероятность успешных атак.

Инсайдерские угрозы. Недобросовестные сотрудники, имеющие доступ к персональным данным, могут воспользоваться этими данными для получения личной выгоды или их незаконного распространения. Управляющие компании часто не внедряют строгие внутренние регламенты, которые могли бы предотвратить несанкционированный доступ к базам данных. Это повышает риск утечек данных, как отмечено в исследовании Коршуновой Е. М., особенно в малых и средних организациях жилищно-коммунального хозяйства.

Проблема утечек персональных данных в России сохраняет тенденцию к росту, несмотря на усилия регуляторов и операторов персональных данных. По данным Роскомнадзора, в 2024 году было зафиксировано 135 случаев утечки, однако их совокупный масштаб превысил 710 млн скомпрометированных записей, что почти в два раза больше, чем в 2023 году. Для сравнения, в 2023 году Роскомнадзор сообщил о 168 инцидентах, но объем утекших данных составил порядка 300 млн записей. Таким образом, несмотря на уменьшение количества инцидентов, средний ущерб от каждого случая значительно увеличился, что свидетельствует о росте сложности и масштабности атак.

Независимые исследовательские компании фиксируют еще более существенные показатели. Согласно отчету InfoWatch, в 2023 году из российских организаций утекло свыше 1,12 млрд персональных записей, что примерно на 60 % превышает показатели предыдущего года. В 2024 году, по данным той же компании, объем утечек превысил 1,5 млрд записей, что демонстрирует продолжающийся рост угроз. Аналитики также отмечают увеличение средней величины одной утечки: если в 2022 году одна компрометация включала в среднем около 0,9 млн записей, то в 2023 году этот показатель вырос до 1,7 млн.

Исследования в области кибербезопасности, включая отчеты Solar AURA и Group-IB, подтверждают усиление активности злоумышленников. По данным Solar AURA, в 2024 году доля утечек, вызванных человеческим фактором, значительно выросла: 35 % данных были скомпрометированы через мессенджеры, а 23 % - через корпоративную электронную почту. Это подчеркивает уязвимость внутренних процессов организаций и недостаточную подготовку сотрудников.

Отдельного внимания заслуживают наиболее заметные инциденты, в январе 2025 года был зафиксирован крупный инцидент в инфраструктуре одного из крупнейших российских телекоммуникационных операторов, когда злоумышленники заявили о получении доступа к более чем 150 тысячам адресов электронной почты и свыше 100 тысяч телефонных номеров. Представители компании позднее сообщили, что утечка могла произойти через стороннего подрядчика, что дополнительно подчеркивает важность контроля над цепочками поставщиков и подрядных организаций.

Несмотря на обилие общей статистики, публичные данные об утечках, относящихся непосредственно к сфере жилищно-коммунального хозяйства, крайне ограничены. В отраслевых отчетах (InfoWatch, Group-IB, Solar Security) сегмент жилищно-коммунального хозяйства не выделяется как самостоятельная категория. Это создает ситуацию, при которой риски в сфере жилищно-коммунального хозяйства могут быть недооценены как специалистами, так и регуляторами, несмотря на высокую чувствительность данных, обрабатываемых управляющими компаниями и ресурсоснабжающими организациями.

Данные жилищно-коммунального хозяйства имеют ряд «уникальных» характеристик, которые отличают их от классических персональных баз: помимо ФИО и контактной информации, в ЖКХ аккумулируются сведения о структуре жилого помещения, статусе собственности, составе домохозяйства и детализированные показания приборов учёта. Государственные информационные системы и личные кабинеты для плательщиков содержат адресные данные, сведения о площади помещения, о плательщиках и, в ряде случаев, о зарегистрированных (прописанных) лицах.

Наличие в базах жилищно-коммунального хозяйства данных о собственниках и зарегистрированных лицах представляет отдельную группу рисков. Информация о собственниках и составе семьи может быть использована злоумышленниками при подготовке мошеннических схем (целевые звонки, подделка документов и т.п.) или при планировании преступлений, ориентированных на пустующие квартиры. Кроме того, открытые инциденты утечек в смежных регистрах недвижимости демонстрируют уязвимость таких данных: в отдельных случаях через уязвимости в приложениях и сервисах становились доступными паспортные и кадастровые данные владельцев недвижимости. Это показывает, что информация о собственности и прописанных лицах может значительно повысить степень риска для безопасности граждан.

Комбинация перечисленных факторов — централизованное хранение адресно-идентификационных данных, делает данные жилищно-коммунального хозяйства привлекательной целью для злоумышленников и повышает необходимость целевого регулирования и технических мер защиты (минимизация собираемых данных, агрегация/дифференциация точности телеметрии, строгие каналы доступа к сведениям о собственниках и прописанных лицах).

Многие организации ЖКХ не используют современные меры защиты, такие как шифрование данных или многофакторная аутентификация. Это делает информационные системы уязвимыми к атакам злоумышленников, которые могут перехватывать данные в процессе их передачи или хранения.

Законодательство Российской Федерации, регулирующее обработку и защиту персональных данных, представлено Федеральным законом № 152-ФЗ "О персональных данных", который предписывает операторам данных (включая управляющие компании жилищно-коммунального хозяйства) внедрять меры защиты данных в соответствии с требованиями закона. Закон устанавливает обязательные меры по защите персональных данных, такие как ограничение доступа к данным, использование шифрования и периодическое тестирование систем на наличие уязвимостей.

Значимым шагом к цифровизации жилищно-коммунального хозяйства стало создание Государственной информационной системы жилищно-коммунального хозяйства (ГИС ЖКХ). Эта система интегрирует данные об услугах жилищно-коммунального хозяйства и обеспечивает доступ к информации как для поставщиков услуг так и для граждан. В то же время ГИС ЖКХ представляет собой объект особого

внимания с точки зрения информационной безопасности, поскольку она содержит большие объемы персональных данных. Как отмечает Кутырин Д. О., системы такого масштаба должны иметь высокие стандарты безопасности и подвергаться регулярным проверкам и аудиту.

Для повышения уровня защиты данных в жилищно-коммунальном хозяйстве необходимо внедрение комплексных технических решений.

Шифрование данных при передаче и хранении - одна из ключевых мер защиты, которая позволяет защитить данные даже в случае перехвата. Без шифрования данные передаются в открытом виде, что делает их легкой добычей для злоумышленников. Современные системы должны использовать стандарты шифрования, такие как Advanced Encryption Standard, обеспечивающий высокий уровень безопасности.

Многофакторная аутентификация. Использование двухфакторной или многофакторной аутентификации значительно усложняет доступ к системам несанкционированным пользователям. Многофакторная аутентификация требует не только ввода пароля, но и дополнительного подтверждения личности через SMS, электронную почту или мобильное приложение. Это уменьшает риск несанкционированного доступа к данным даже в случае утечки паролей.

Регулярные обновления и патчи. Одной из основных причин успешных кибератак является использование уязвимостей в программном обеспечении. Регулярные обновления и патчи для информационных систем и сетевого оборудования могут существенно уменьшить этот риск. Однако многие управляющие компании не уделяют достаточного внимания своевременному обновлению программных средств.

Защищенные каналы связи. Использование защищенных каналов связи для передачи данных, например, через протокол HTTPS, снижает вероятность перехвата информации.

Кроме технологических решений, важную роль в защите персональных данных играют организационные меры.

Одной из основных причин утечек данных остается человеческий фактор. Все сотрудники, работающие с персональными данными, должны проходить регулярное обучение по информационной безопасности. Обучение помогает предотвратить ошибки, такие как передача данных через незащищенные каналы или неправильное использование систем защиты.

Разработка внутренних регламентов и политик конфиденциальности. Управляющие компании должны внедрять внутренние политики по защите персональных данных, включая четкие правила доступа к базам данных и системы мониторинга несанкционированных действий. Это помогает минимизировать инсайдерские угрозы и улучшить внутреннюю безопасность.

Аудиты и тестирование систем безопасности. Регулярные аудиты и тестирование систем на наличие уязвимостей - важная часть обеспечения безопасности данных. Тестирование, в том числе моделирование возможных атак, позволяет выявить слабые места в системе и своевременно их устранить.

Нарушения в области защиты персональных данных могут повлечь серьезные последствия для организаций. За несоблюдение требований Федерального закона № 152-ФЗ «О персональных данных» операторы данных несут административную и гражданскую ответственность. Это может включать крупные штрафы, приостановление деятельности, а также возможные судебные иски со стороны пострадавших граждан.

Для повышения уровня защиты персональных данных в жилищно-коммунальном хозяйстве важно совершенствование законодательной базы. Законодательство должно быть адаптировано к современным вызовам, включая введение обязательных требований к использованию шифрования данных и проведению регулярных аудитов безопасности.

Внедрение комплексных стандартов безопасности. Важно внедрять международные стандарты по информационной безопасности, такие как ISO/IEC 27001, которые включают контроль над доступом к данным, защиту информации и регулярные проверки систем.

Создание системы быстрого реагирования на инциденты. Управляющие компании должны разработать процедуры реагирования на инциденты, связанные с утечкой данных, и обеспечить их оперативное внедрение.

Защита персональных данных в сфере жилищно-коммунального хозяйства - это неотъемлемая часть обеспечения информационной безопасности в условиях цифровизации. Увеличивающийся объем данных требует особого внимания к вопросам их защиты, что предполагает внедрение как технических, так и организационных мер. Соблюдение законодательных норм, внедрение современных систем защиты, а также регулярное обучение сотрудников помогут снизить риски утечек и повысить доверие граждан к системе жилищно-коммунального хозяйства.

Список литературы

1. Белая О. В., Кицай Ю. А. Проблемы защиты персональных данных в деятельности управляющих компаний в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Семейное и жилищное право. — 2021. — № 5. — С. 27–29.
2. Коршунова Е. М., Оганесян А. А. Развитие инновационного потенциала жилищно-коммунального хозяйства // Экономика и предпринимательство. — 2023. — № 12 (161). — С. 1380–1383.

3. Куранов А. С. «Умный город» как «благополучный город» // Образование и наука в России и за рубежом. — 2020. — № 4 (68). — С. 191–194.
4. Кутырин Д. О. Технологии Умного города в сфере создания комфортной городской среды и ЖКХ // Вестник РАЕН. — 2021. — № 3. — С. 83–85.
5. Чернова П. А., Шобей Л. Г. Проблемы защиты персональных данных в государственной информационной системе жилищно-коммунального хозяйства // Образование и право. — 2022. — № 9. — С. 80–83.
6. Бойкова О. Ф. Защита персональных данных: касается всех! Практическое пособие. — М. : Либерия, 2020. — 698 с.
7. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» [Электронный ресурс]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 10.03.2026).
8. Data breaches in Russia [Электронный ресурс] / Tadviser : интернет-портал и аналитическое агентство. — URL: https://tadviser.com/index.php/Article:Data_breaches_in_Russia (дата обращения: 10.03.2026).
9. Количество слитых персональных данных в 2024 году выросло на треть [Электронный ресурс] / InfoWatch : аналитика. — URL: <https://www.infowatch.ru/company/presscenter/news/kolichestvo-slitykh-personalnykh-dannykh-v-dve-tysyachi-dvadtsat-chetvertom-godu-vyroslo-na-tret> (дата обращения: 10.03.2026).
10. Утечка персональных данных [Электронный ресурс] / Solar : блог компании. — URL: https://rt-solar.ru/products/solar_dozor/blog/2812/ (дата обращения: 20.03.2026).
11. Утечки персональных данных в России: статистика [Электронный ресурс] / ЦИБИТ : блог Центра исследования безопасности информационных технологий. — URL: <https://www.cibit.ru/news/09-02-24/> (дата обращения: 15.03.2026)
- 12.

УДК 81

Г.Д. Набиев, Г.А. Зюганов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕРМИНОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

© Г.Д. Набиев, Г.А. Зюганов, 2026

Аннотация. В статье анализируются структурные особенности английских многокомпонентных терминов, используемых в строительной сфере. Обосновывается актуальность изучения терминологических словосочетаний в условиях глобализации и развития строительных технологий. Приводится обзор ключевых зарубежных исследований (К. Уилкинсон, М. Гюнель, Х. Ильгин, А. Моршед) и отечественных работ по строительной терминологии. На материале выборки из 130 единиц, извлечённой из монографий и стандартов ASTM, выявляются основные структурные модели: двух-, трёх-, четырёхкомпонентные и более сложные. Проводится классификация по количеству компонентов и частеречной принадлежности. Количественный анализ показывает преобладание двух- и трёхкомпонентных терминов (40% и 44% соответственно). Делается вывод о стремлении английского языка к семантической ёмкости при относительной структурной лаконичности.

Ключевые слова: термин, строительная терминология, многокомпонентный термин, структурная модель, компонентный анализ.

G.D. Nabiev, G.A. Zyuganov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

STRUCTURAL PATTERNS OF ENGLISH MULTI-COMPONENT TERMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Abstract. The paper analyzes structural features of English multi-component terms used in the construction field. The relevance of studying terminological phrases in the context of globalization and development of construction technologies is substantiated. A review of key foreign studies (C. Wilkinson, M. Gunel, H. Ilgin, A. Morshed) and Russian works on construction terminology is provided. Based on a sample of 130 units extracted from monographs and ASTM standards, the main structural patterns are identified: two-component, three-component, four-component and more complex ones. Classification by the number of components and part-of-speech affiliation is carried out. Quantitative analysis shows the predominance of two- and three-component terms (40% and 44% respectively). The conclusion is made about the tendency of the English language towards semantic capacity with relative structural conciseness.

Keywords: term, construction terminology, multi-component term, structural pattern, component analysis.

Введение

Современная лингвистика всё чаще обращается к изучению подязыков профессиональных областей. Как справедливо отмечается в работах ряда авторов, развитие строительных технологий и международная интеграция российских компаний требуют от специалистов не только технических компетенций, но и владения англоязычной терминологией [3, с. 270; 2, с. 75]. Также исследователи констатируют, что

наблюдается значительный рост числа составных терминов — словосочетаний, которые позволяют предельно точно именовать новые понятия [1, с. 74; 10, с. 102].

Данная работа актуальна, поскольку понимание структуры строительных терминов в английском языке — основное условие для плодотворного международного сотрудничества. Таким образом, изучение присущих им закономерностей не только повышает точность перевода документации, но и закладывает основу для профессионального диалога.

Цель настоящей работы — выявить и проанализировать структурные типы английских многокомпонентных строительных терминов на материале специализированной литературы.

Прежде чем перейти к анализу, следует отметить, что вопросы отраслевой терминологии разрабатывались как зарубежными, так и отечественными авторами. Так, например, К. Уилкинсон ввёл понятие *supershed* и описал большепролётные сооружения, используя термины *space frame*, *three-pinned arch*, *portal frame* [14]. В свою очередь, М. Гюнель и Х. Ильгин систематизировали конструктивные системы высотных зданий: *outrigger system*, *framed tube structure*, *bundled tube system* [15]. А. Моршед предложил культурологический подход, введя термин *aesthetics of ascension* [16]. Среди отечественных исследователей следует назвать Р.З. Иксанову, И.К. Кириллову [2] и З.У. Хакиеву [9], которые рассматривают строительную терминологию как систему с вариативными характеристиками.

Вслед за А.А. Реформатским, С.В. Гриневым-Гриневицем и В.М. Лейчиком под термином мы понимаем лексическую единицу (слово или словосочетание), функционирующую в профессиональной сфере и обладающую точностью и системностью [6; 3; 4]. Термины делятся на термины-слова (непроизводные: *beam*, *roof*; производные: *prefabrication*; сложные: *skyscraper*; аббревиатуры: *HVAC*) и термины-словосочетания, которые и составляют предмет данного исследования [7, с. 34].

Материал и методы исследования

Материалом исследования послужила выборка из 130 англоязычных строительных терминов, извлечённых методом сплошной выборки из монографий К. Уилкинсона [14], М. Гюнеля и Х. Ильгина [15], а также из стандарта ASTM E631-15 [17]. В работе использовались следующие методы: компонентный и морфологический анализ, классификация по количеству компонентов и частеречной принадлежности.

Результаты и обсуждение

На первом этапе анализа была проведена классификация терминов по количеству входящих в них полнозначных компонентов. Полученные данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Соотношение терминов по количеству компонентов

Количество компонентов	Доля от выборки
Двухкомпонентные	40%
Трёхкомпонентные	44%
Четырёхкомпонентные	12%
Пяти- и шестикомпонентные	4%

Как видно из таблицы, наибольшую группу составляют трёхкомпонентные термины (44%), что согласуется с данными других исследователей о стремлении английского языка к сохранению семантической ёмкости при относительной структурной лаконичности. Трёхкомпонентная структура оказывается оптимальным балансом между краткостью и способностью к детализации понятия.

Следует подчеркнуть, что общей тенденцией для всех типов терминов является группировка компонентов вокруг главного слова — существительного (*noun*), которое, как правило, находится в постпозиции. При этом зависимые компоненты выполняют атрибутивную функцию и могут быть выражены прилагательными, существительными или причастиями.

Рассмотрим подробнее **двухкомпонентные термин**. Они представлены двумя основными моделями:

1. «*Adjective + Noun*»: *lateral load* - горизонтальная нагрузка, *composite slab* - композитная плита, *thermal bridge* - тепловой мост, *long-span building* - большепролётное здание, *geodesic structure* - геодезическая конструкция.
2. «*Noun + Noun*»: *shear wall* - диафрагма жесткости, *wind load* - ветровая нагрузка, *steel column* - стальная колонна, *space frame* - пространственная ферма, *tension structure* - вантовая конструкция, *roof deck* - кровельный настил.

Трёхкомпонентные термины являются, как уже отмечалось выше, наиболее частотными и разнообразными по структуре:

1. «*Adjective + Noun + Noun*»: *double-layer grid structure* - двухслойная решётчатая конструкция, *suspended roof system* - висячая кровля, *ultimate compressive strength* - предел прочности при сжатии.
2. «*Noun + Noun + Noun*»: *space grid structure* - пространственная решётчатая конструкция, *air barrier system* - система воздухоизоляции, *stress concentration factor* - коэффициент концентрации напряжений.
3. «*Participle + Noun + Noun*»: *reinforced concrete beam* - железобетонная балка, *framed tube structure* - каркасно-трубчатая конструкция, *prefabricated steel truss* - сборная стальная ферма.
4. «*Noun + Participle + Noun*»: *air-supported roof* - воздухоопорная кровля, *edge supported slab* - плита, опёртая по контуру.
5. «*Numeral + Participle + Noun*»: *three-pinned arch* - трёхшарнирная арка, *two-way slab* - плита, опёртая по контуру.

Что касается **четырёхкомпонентных терминов**, то они составляют 12% выборки и служат для точного описания сложных технических решений. Приведем примеры: *fire-resistive joint system* - огнезащитная система швов, *carbon fibre reinforcement polymer* - полимер, армированный углеродным волокном, *natural draft cooling tower* - градирня с естественной тягой, *gas pressure drop indicator* - сигнализатор падения давления газа.

Отдельно следует остановиться на **пяти- и шестикомпонентных терминах**. Их количество невелико, они единичны и встречаются в узкоспециализированных текстах и стандартах. Здесь были выявлены следующие примеры: *high-rise facade access and rescue system* - фасадная система доступа и спасения для высотных зданий, *prefabricated prestressed square steel tube structure* - сборная предварительно напряжённая конструкция из квадратных стальных труб. Появление таких терминов продиктовано необходимостью предельной конкретизации понятия в области новых технологий.

Заключение

Проведённый анализ англоязычных многокомпонентных терминов строительной сферы позволил нам сделать следующие выводы. Во-первых, в исследуемой терминосистеме преобладают двух- и трёхкомпонентные термины (суммарно 84% выборки), что подтверждает тезис о стремлении английского языка к семантической ёмкости при относительной структурной лаконичности. Во-вторых, основной морфологической моделью является построение термина вокруг ядерного существительного в постпозиции с препозитивными определениями. Наиболее частотными являются модели «*Adjective +*

Noun» и «*Noun + Noun*» для двухкомпонентных терминов и «*Adjective + Noun + Noun*», «*Noun + Noun + Noun*» для трёхкомпонентных.

В заключение следует подчеркнуть, что увеличение количества компонентов до четырёх и более продиктовано необходимостью предельной конкретизации понятия, особенно в области новых технологий и стандартов. Учитывая, что строительная отрасль постоянно развивается, а вместе с ней меняется и профессиональная лексика, можно с уверенностью сказать, что тема многокомпонентных терминов сохраняет свою актуальность и открывает широкие перспективы для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Васильева С.Л., Аюшин Д.И. Структурные особенности англоязычных многокомпонентных терминов строительной сферы // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2016. № 7(61), ч. 3. С. 74–77.
2. Иксанова, Р. М. Структурные особенности англоязычной строительной терминологии / Р. М. Иксанова, И. К. Кириллова, Я. В. Зубкова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. – 2024. – № 2-2. – С. 154-157.
3. Гринев-Гриневи́ч С.В. Терминоведение. М.: Академия, 2008. 304 с.
4. Лейчик В.М. Терминоведение: Предмет, методы, структура. М.: ЛИБРОКОМ, 2014. 264 с.
5. Реформатский А.А. Термин как член лексической системы языка // Проблемы структурной лингвистики. М.: Наука, 1968. С. 102–125.
6. Староверова А.Д. Особенности словообразования терминологии строительной индустрии // International scientific review. 2016. № 19 (29). С. 34–36.
7. Суперанская А.В. Общая терминология: вопросы теории. М.: ЛЕНАНД, 2012. 248 с.
8. Хакиева З.У. Основные характеристики системы англоязычной строительной терминологии // Филологические науки. 2010. № 2(6). С. 181–185.
9. Чернявская Л.Ф. Английский язык. Термины и терминообразование. Братск: БрГУ, 2007. 99 с.
10. Wilkinson C. Supersheds: The architecture of long-span, large-volume buildings. Oxford: Butterworth Architecture, 1991. 150 p.
11. Gunel M.H., Ilgin H.E. Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form. London: Routledge, 2014. 256 p.
12. Morshed A. Impossible Heights: Skyscrapers, Flight, and the Master Builder. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2015. 280 p.
13. ASTM E631-15. Standard Terminology of Building Constructions. ASTM International, 2015.

References

1. Vasil'eva S.L., Ayushin D.I. Strukturnye osobennosti angloyazychnyh mnogokomponentnyh terminov stroitel'noy sfery [Structural features of English multi-component terms in the construction field]. Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki. 2016. No. 7(61), part 3. pp. 74–77. (in Russ.)
2. Iksanova, R. M., Kirillova, I. K., & Zubkova, Ya. V. Structural features of English-language construction terminology // Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Humanities. – 2024. – No. 2-2. – P. 154-157.
3. Grinev-Grinevich S.V. Terminovedenie [Terminology studies]. Moscow: Akademiya, 2008. 304 p. (in Russ.)

4. Leychik V.M. Terminovedenie: Predmet, metody, struktura [Terminology studies: Subject, methods, structure]. Moscow: LIBROKOM, 2014. 264 p. (in Russ.)
5. Reformatskiy A.A. Termin kak chlen leksicheskoy sistemy yazyka [Term as a member of the lexical system of language]. Problemy strukturnoy lingvistiki. Moscow: Nauka, 1968. pp. 102–125. (in Russ.)
6. Staroverova A.D. Osobennosti slovoobrazovaniya terminologii stroitel'noy industrii [Word formation features of construction industry terminology]. International scientific review. 2016. No. 19 (29). pp. 34–36. (in Russ.)
7. Superanskaya A.V. Obshchaya terminologiya: voprosy teorii [General terminology: theoretical issues]. Moscow: LENAND, 2012. 248 p. (in Russ.)
8. Khakieva Z.U. Osnovnye harakteristiki sistemy angloyazychnoy stroitel'noy terminologii [Main characteristics of the English construction terminology system]. Filologicheskie nauki. 2010. No. 2(6). pp. 181–185. (in Russ.)
9. Chernyavskaya L.F. Angliyskiy yazyk. Terminy i terminoobrazovanie [English language. Terms and term formation]. Bratsk: BrGU, 2007. 99 p. (in Russ.)
10. Wilkinson C. Supersheds: The architecture of long-span, large-volume buildings. Oxford: Butterworth Architecture, 1991. 150 p.
11. Gunel M.H., Ilgin H.E. Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form. London: Routledge, 2014. 256 p.
12. Morshed A. Impossible Heights: Skyscrapers, Flight, and the Master Builder. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2015. 280 p.
13. ASTM E631-15. Standard Terminology of Building Constructions. ASTM International, 2015.

УДК 004.77:332.14

Е.М. Сочина, Е.И. Чалова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
191186, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**РАЗВИТИЕ УМНЫХ ГОРОДОВ: ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ**

Е.М. Сочина, Е.И. Чалова, 2026

Статья посвящена анализу трансформации жилищно-коммунального хозяйства в контексте развития концепции «умного города». Рассматриваются ключевые вызовы современного ЖКХ, включая износ инфраструктуры, неэффективное использование ресурсов и необходимость повышения устойчивости городской среды. Особое внимание уделяется роли цифровых технологий - интернета, искусственного интеллекта, больших данных и цифровых платформ, как основы интеллектуальных систем управления коммунальной инфраструктурой. Подчеркивается значение человекоцентричного подхода и вовлечения жителей в процессы управления через цифровые каналы обратной связи, механизмы электронного участия и гражданского мониторинга. На основе анализа международных и российских практик (Сингапур, Барселона, Москва и другие города) показаны различия архитектурных и управленческих моделей цифрового ЖКХ. Обоснована необходимость интеграции технологических решений в существующие управленческие процессы и развития модульных, аналитически ориентированных платформ как условия устойчивого развития городской среды и повышения качества коммунальных услуг.

Ключевые слова: умный город, жилищно-коммунальное хозяйство, цифровизация ЖКХ, Интернет вещей (IoT), цифровые платформы, большие данные, искусственный интеллект, участие граждан, Smart Citizen, устойчивое развитие городской среды.

Современные города сталкиваются с рядом сложных задач в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Ключевые проблемы включают устаревшую инфраструктуру, неэффективное управление ресурсами, высокие эксплуатационные расходы и необходимость адаптации к климатическим изменениям. Концепция «умного города» предлагает новые подходы к управлению ЖКХ с использованием цифровых технологий, которые позволяют повысить прозрачность, автоматизировать процессы и улучшить качество коммунальных услуг.

Развитие интеллектуальных систем управления жилищно-коммунальным хозяйством основано на применении таких технологий, как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI), большие данные (Big Data) и блокчейн. Эти инструменты способствуют повышению эффективности использования ресурсов, снижению затрат и улучшению экологической устойчивости городской среды.

Несмотря на ключевую роль цифровых технологий в развитии умных городов, устойчивость и эффективность интеллектуальных систем управления жилищно-коммунальным хозяйством в значительной степени зависят от степени вовлеченности населения. Современные исследования в области городского управления все чаще подчеркивают необходимость перехода от технократической модели, ориентированной исключительно на автоматизацию процессов, к человекоцентричному подходу, в рамках которого жители рассматриваются как активные участники городской экосистемы, а не только как конечные потребители коммунальных услуг. В этом контексте социальное измерение умных городов приобретает стратегическое значение, поскольку именно через участие граждан формируется доверие к цифровым инструментам и обеспечивается их практическая результативность.

Одним из ключевых направлений такого участия становится использование цифровых каналов взаимодействия между жителями и организациями, ответственными за управление ЖКХ. Мобильные приложения, городские порталы и электронные сервисы обратной связи позволяют гражданам в оперативном режиме сообщать о неисправностях, контролировать выполнение заявок и получать информацию о состоянии инженерной инфраструктуры. В отличие от традиционных форм обращения, цифровые платформы сокращают временной разрыв между фиксацией проблемы и ее устранением, а также создают накопительный массив данных, который может использоваться для анализа системных сбоев и оптимизации процессов обслуживания. Таким образом, обратная связь от жителей становится не просто инструментом коммуникации, а важным элементом системы мониторинга и управления городской инфраструктурой.

Развитие концепции Smart Citizen предполагает более глубокую интеграцию жителей в процессы принятия решений, выходящую за рамки подачи жалоб и обращений. В умных городах все большее распространение получают практики совместного планирования и электронного участия, включая

цифровые голосования, обсуждение приоритетов капитального ремонта и распределение бюджетных средств на локальные инфраструктурные проекты. Подобные механизмы позволяют учитывать реальные потребности населения при формировании программ модернизации ЖКХ и повышают социальную легитимность принимаемых решений. Исследования показывают, что проекты, реализуемые с участием жителей, как правило, воспринимаются как более справедливые и получают более высокий уровень общественной поддержки, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов и необходимости долгосрочных инвестиций.

Отдельного внимания заслуживает развитие практик гражданского мониторинга и так называемой партисипативной сенсорификации, при которой жители участвуют в сборе данных о состоянии городской среды. Использование доступных датчиков и открытых цифровых платформ позволяет сообществам самостоятельно фиксировать параметры, связанные с качеством воздуха, уровнем шума, температурным режимом и другими показателями, влияющими на комфорт проживания. Такие данные могут дополнять официальные системы мониторинга и служить основанием для корректировки управленческих решений в сфере ЖКХ. При этом важным условием эффективности подобных инициатив остается интеграция гражданских данных в формальные управленческие процессы и обеспечение их корректной интерпретации.

Международный опыт развития умных городов демонстрирует, что наибольшего эффекта цифровая трансформация ЖКХ достигает в тех случаях, когда технологические решения встроены в долгосрочную стратегию городского управления. Показательным примером является Сингапур, где интеллектуальные системы управления водоснабжением используются для комплексного мониторинга состояния сетей и прогнозирования аварийных ситуаций. Применение датчиков и аналитических платформ позволяет городским службам выявлять утечки на ранних стадиях, оптимизировать распределение ресурсов и обеспечивать устойчивое водоснабжение в условиях высокой плотности застройки и ограниченности природных ресурсов. Такой подход рассматривается не только как инструмент повышения операционной эффективности, но и как элемент национальной политики водной безопасности.

Опыт Барселоны иллюстрирует возможности интеграции цифровых технологий в управление городскими услугами на уровне районов и кварталов. Внедрение интеллектуальных систем уличного освещения, адаптирующихся к уровню освещенности и присутствию людей, позволило сократить энергопотребление и повысить комфорт городской среды. Аналогичный подход был реализован в сфере обращения с отходами, где использование «умных» контейнеров и аналитики данных дало возможность оптимизировать маршруты вывоза мусора и снизить нагрузку на городскую инфраструктуру. Важной особенностью данного кейса является ориентация на открытые данные и участие жителей, что способствует формированию доверия к муниципальным инициативам и повышает их социальную приемлемость.

В российских городах цифровизация ЖКХ также приобретает системный характер, хотя реализуется с учетом национальных институциональных и правовых особенностей. В Москве развитие единой цифровой платформы жилищно-коммунального хозяйства позволило объединить сервисы для жителей, управляющих компаний и городских служб, обеспечив более прозрачное взаимодействие и оперативное реагирование на обращения граждан. Аналогичные решения внедряются в Казани и Санкт-Петербурге, где цифровые платформы используются для учета потребления ресурсов, контроля выполнения работ и повышения качества обслуживания жилого фонда. Эти примеры показывают, что даже в условиях сложной и неоднородной инфраструктуры цифровые инструменты могут стать эффективным механизмом модернизации ЖКХ при наличии институциональной поддержки и четко выстроенной модели управления.

В целом анализ практических кейсов подтверждает, что успешное внедрение интеллектуальных решений в сфере ЖКХ не ограничивается технологической составляющей. Ключевым фактором остается способность городов интегрировать цифровые инструменты в существующие управленческие процессы, обеспечивая их адаптацию к локальным условиям и реальным потребностям населения. Именно такая интеграция позволяет рассматривать умное ЖКХ как основу устойчивого развития городской среды, а не как набор разрозненных инновационных проектов.

Развитие интеллектуальных систем управления жилищно-коммунальным хозяйством в умных городах опирается на целый комплекс цифровых технологий, призванных обеспечивать стабильность функционирования критической инфраструктуры, повышение энергоэффективности, автоматизацию процессов и глубокую аналитику данных. В основе таких решений лежит Интернет вещей (IoT) - сеть взаимосвязанных сенсоров и устройств, которые непрерывно собирают данные о состоянии коммунальных систем, включая сети водоснабжения, электроснабжения, теплоснабжения и другие инженерные коммуникации. Эти данные, передаваемые в режиме реального времени, становятся основой для построения цифровых платформ управления и аналитических моделей, позволяющих не только мониторить текущую работу систем, но и прогнозировать сбои, планировать техническое обслуживание и

оптимизировать расход ресурсов за счет аналитики и предиктивных моделей. Такая архитектура доказала свою эффективность в самых разных контекстах, где объединение датчиков, облачных сервисов и алгоритмов обработки данных создает основу для устойчивого управления коммунальными процессами и поддержания качества услуг для жителей.

Ключевым элементом технологической инфраструктуры являются цифровые платформы умного города - многослойные программные решения, которые обеспечивают унификацию данных, визуализацию информации, интеграцию сервисов и управление разнородной инфраструктурой через единый интерфейс. Одним из международно известных примеров такой платформы является открытая система Sentilo, разработанная в рамках проекта Smart City в Барселоне. Эта платформа служит для обмена данными между большим числом устройств и систем, обеспечивая совместимость различных сенсоров и актуаторов, а также возможность интегрировать как новые, так и наследуемые технологии в единый городской «операционный слой». Sentilo может быть развернута как локально, так и в облаке, и служит примером архитектуры, где данные с множества источников собираются, нормализуются и становятся доступными для аналитических и управленческих приложений.

Подобные универсальные IoT-платформы широко используются и в коммерческих решениях для коммунального сектора. Например, международная платформа ThingPark for Energy & Utilities от компании Actility предлагает инфраструктуру для подключения и управления IoT-датчиками и счетчиками в коммунальных сетях, включая водоснабжение, газ и электричество. Благодаря использованию сетей типа LoRaWAN, такие платформы позволяют объединить в едином пространстве измерительные устройства, детекторы утечек и механизмы автоматизированного учета расхода ресурсов, что существенно повышает масштабируемость системы и снижает затраты на интеграцию.

В российских условиях цифровые платформы и решения для умного ЖКХ также развиваются, отражая стремление к локализации технологий и созданию собственных интеграционных сред. В рамках программ цифровизации городов реализуются платформы интеллектуального учета ресурсов, автоматизированного контроля заявок потребителей, а также цифровые модели управления объектами коммунального хозяйства, включающие контроль состояния инженерных сетей, автоматизацию диспетчеризации и интеграцию сервисов взаимодействия с жителями.

Технологически такие платформы строятся на основе многослойной архитектуры, где нижний уровень представлен физическими устройствами и коммуникационными протоколами, такими как LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi и другие, обеспечивающими связь сенсоров с центральными системами. Средний уровень включает компоненты обработки и хранения данных, а верхний слой реализует функции аналитики, визуализации и управления сервисами. Современная практика предполагает также использование гибридных моделей с облачными сервисами и краевыми вычислениями (edge computing), что позволяет обеспечить высокую скорость реакции на события и снизить нагрузку на центральные узлы обработки данных.

Важной характеристикой современных платформ является их открытость и способность к расширению через API и стандарты взаимодействия. Например, международный TALQ Protocol служит стандартом для интеграции различных устройств и подсистем в единое управление, что позволяет разным поставщикам оборудования и программного обеспечения взаимодействовать в рамках общей архитектуры. Такие подходы способствуют построению экосистемы, где новые решения и сервисы могут быть добавлены без радикальной переработки существующей инфраструктуры.

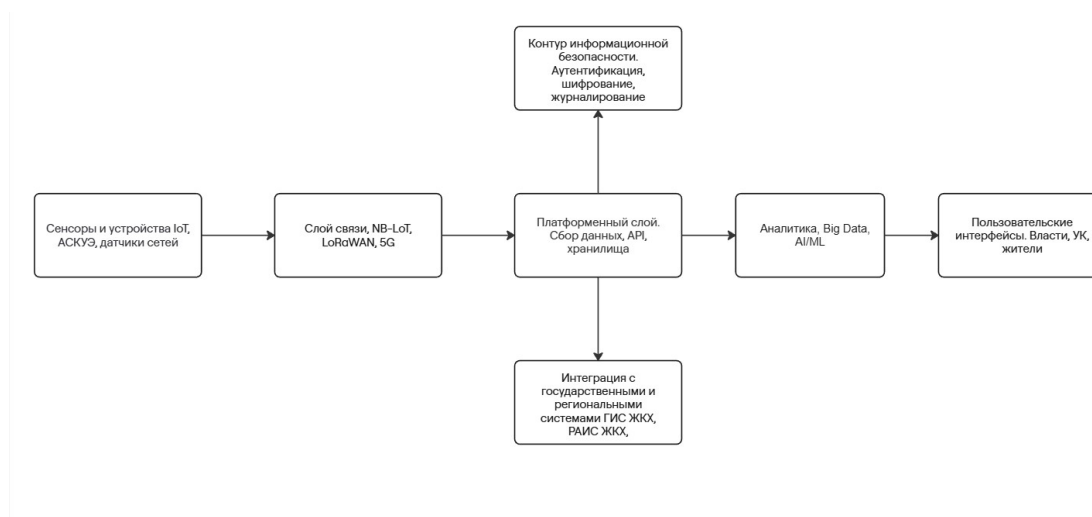
Таким образом, технологические решения для ЖКХ в умных городах не представляют собой набор изолированных приложений, а формируют целостную цифровую среду, основанную на IoT-датчиках, аналитике больших данных, интеллектуальных платформах и стандартизированных протоколах взаимодействия. Такие платформы обеспечивают как операционное управление коммунальными сетями, так и стратегическую аналитику, что в конечном итоге повышает устойчивость городской среды, оптимизирует использование ресурсов и улучшает качество коммунальных услуг для жителей.

В российской практике цифровизации жилищно-коммунального хозяйства формируется многоуровневая система информационных платформ, каждая из которых выполняет специализированные функции и взаимодействует с другими элементами экосистемы. Базовым федеральным уровнем является Государственная информационная система ЖКХ, предназначенная для нормативного раскрытия информации, учета жилищного фонда, начислений и предоставления данных контролирующим органам и гражданам. На региональном уровне развиваются региональные информационно-аналитические системы ЖКХ, в том числе РИАС ЖКХ, которые аккумулируют данные о состоянии инженерной инфраструктуры, показаниях приборов учета, параметрах потребления ресурсов и ходе выполнения коммунальных работ. Эти системы ориентированы на аналитическую поддержку управленческих решений органов власти и муниципалитетов и, как правило, интегрируются с ГИС ЖКХ через программные интерфейсы, обеспечивая автоматизированный обмен данными. Дополняют данную архитектуру муниципальные и коммерческие цифровые платформы управляющих и ресурсоснабжающих организаций, предназначенные для оперативного управления, диспетчеризации, работы с обращениями жителей и внутреннего учета. В

совокупности такие решения формируют связанную цифровую среду, в которой федеральные, региональные и прикладные платформы не дублируют, а дополняют друг друга, обеспечивая сквозную цифровизацию процессов управления ЖКХ.

В сравнении с международными практиками умных городов, такими как Барселона и Сингапур, российская модель цифровизации жилищно-коммунального хозяйства отличается иными приоритетами и архитектурной логикой. В зарубежных кейсах цифровые платформы ЖКХ изначально проектировались как операционные системы города, ориентированные на управление инфраструктурой в режиме, близком к реальному времени, с активным использованием данных от IoT-устройств, аналитики и автоматизированных механизмов принятия решений. В России же развитие цифровых решений в сфере ЖКХ началось преимущественно с создания централизованных государственных информационных систем, нацеленных на учет, контроль и нормативное раскрытие информации, что предопределило доминирование отчетных и регуляторных функций над управленческими.

В результате российские платформы ЖКХ в большинстве случаев выполняют роль информационного контура, фиксирующего состояние объектов и событий постфактум, тогда как в Барселоне и Сингапуре цифровые системы интегрированы в процессы эксплуатации и технического обслуживания и используются для прогнозирования отказов, оптимизации режимов работы сетей и распределения ресурсов. Дополнительным отличием является уровень открытости и модульности платформ: зарубежные решения ориентированы на использование открытых стандартов и API, что упрощает подключение сторонних сервисов и развитие экосистемы приложений, тогда как российские системы пока характеризуются более жесткой централизованной архитектурой и ограниченной интеграцией аналитических модулей.



Данная диаграмма отражает референсную архитектуру цифровой платформы умного города, ориентированную на управление ЖКХ и городскими сервисами.

В основе архитектуры лежит уровень сенсоров и устройств, включающий IoT-датчики, автоматизированные системы коммерческого учета ресурсов и средства мониторинга инженерных сетей. Эти компоненты формируют первичный поток телеметрических данных, необходимый для дальнейшей аналитической обработки.

Следующий уровень представлен коммуникационной инфраструктурой, обеспечивающей передачу данных с использованием специализированных протоколов и сетей, таких как NB-IoT, LoRaWAN, сети пятого поколения и оптоволоконные каналы. Выбор технологий связи определяется требованиями к задержкам, энергоэффективности и надежности передачи данных.

Центральным элементом архитектуры является платформенный слой, выполняющий функции агрегации, хранения и маршрутизации данных. На этом уровне реализуются IoT-платформы, шины данных, API и сервисы интеграции, обеспечивающие взаимодействие между разнородными источниками данных и прикладными модулями. Именно данный слой обеспечивает масштабируемость системы и возможность подключения внешних сервисов.

Над платформенным слоем располагается аналитический контур, включающий инструменты обработки больших данных, алгоритмы машинного обучения и элементы цифровых двойников городской инфраструктуры. Этот уровень предназначен для прогнозирования аварийных ситуаций, оптимизации режимов работы коммунальных систем и поддержки управленческих решений.

Прикладной уровень представлен пользовательскими интерфейсами и сервисами для органов власти, управляющих компаний и жителей. Он обеспечивает визуализацию данных, поддержку процессов управления, а также механизмы обратной связи и взаимодействия с населением.

Отдельно в архитектуре выделены два сквозных контура. Контур информационной безопасности охватывает все уровни системы и включает механизмы управления доступом, шифрования, журналирования событий и соблюдения регуляторных требований. Контур интеграции с государственными и региональными информационными системами обеспечивает обмен данными с ГИС ЖКХ, региональными информационно-аналитическими системами и муниципальными платформами, формируя единое цифровое пространство управления ЖКХ.

С точки зрения дальнейшего развития ИТ-компоненты российских систем ЖКХ представляют значительный потенциал для исследований и практических разработок. Перспективными направлениями являются внедрение событийно-ориентированных архитектур, расширение использования потоковой аналитики и машинного обучения для прогнозирования аварий и оптимизации обслуживания, а также развитие цифровых двойников инженерной инфраструктуры на основе интеграции данных ГИС ЖКХ, региональных платформ и IoT-систем. Отдельного внимания заслуживает разработка унифицированных API и стандартов обмена данными, способных обеспечить совместимость государственных, региональных и коммерческих решений и создать условия для формирования экосистемы ИТ-сервисов в сфере ЖКХ.

Таким образом, сближение российской модели цифрового ЖКХ с лучшими международными практиками возможно не за счет прямого копирования зарубежных решений, а через эволюционное развитие ИТ-архитектуры существующих платформ в сторону проактивного, модульного и аналитически ориентированного управления, что открывает широкие возможности для дальнейших научных и прикладных исследований в области информационных технологий.

Список литературы

1. Акимова О. Е., Волков А. А. Концепция «умный город»: эволюция, элементы и форма реализации // Теоретическая экономика. — 2020. — № 6 (66). — С. 55–63.
2. Балахонова Е. В. Инновационное развитие умных городов как необходимое условие достижения целей устойчивого развития // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. — 2023. — № 1 (45). — С. 37–54.
3. Голованов В. И. «Умные города»: создание, развитие и перспективы : учеб. пособие. — М. : МАКС Пресс, 2022. — 416 с. : ил.
4. Голованов В. И. Управление устойчивым развитием умного города : учеб. пособие. — М. : МАКС Пресс, 2023. — 300 с. : ил.
5. Голованов В. И. Современная стратегия управления Москвой : учеб. пособие. — М. : МАКС Пресс, 2024. — 404 с.
6. Голованов В. И. Стратегия развития города : учебник для вузов. — М. : Наука, 2024. — 452 с. : ил.
7. Емельянов А. В. Исследование исполнения проекта Минстроя России по цифровизации городского хозяйства «Умный город» // Молодой ученый. — 2022. — № 7 (402). — С. 230–237.
8. Зотов В. Б. Управление городом на примере Москвы. — М. : Юстицинформ, 2019. — 44 с.
9. Лакиза И. А., Посажеников А. А. Мировой опыт внедрения инновационных технологий в ЖКХ // Вестник науки. — 2024. — № 6 (75). — Т. 5. — С. 156–163.
10. Попов Е. В., Кох И. А., Семьячков К. А. Экономическое таргетирование развития умных городов // Вопросы инновационной экономики. — 2022. — № 2. — С. 859–878.
11. Рослова Е. Ю. Проблемы внедрения концепции «умный город» в города Российской Федерации // Актуальные вопросы современной экономики. — 2023. — № 1. — С. 274–278.
12. Смирнов Е. А., Каштанов В. Г., Денк В. В., Халимон Е. А. Тренды инновационного развития умных городов // Вестник ГУУ. — 2021. — № 5. — С. 28–36.
13. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ. — 2020. — № 30 (ч. 1). — Ст. 4830.

14. Camprodon G. Smart Citizen Kit and Station: An Open Environmental Monitoring System for Citizen Participation // ScienceDirect. — 2023. — URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 16.03.2026).
15. McKinsey Global Institute. Smart Cities: Digital Solutions for a More Livable Future. — 2018. — 152 p.
16. Nikpour M., Behvand Yousefi P., Jafarzadeh H. et al. Intelligent Energy Management with IoT Framework in Smart Cities Using Intelligent Analysis: An Application of Machine Learning Methods for Complex Networks and Systems // ScienceDirect. — 2024. — URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 16.03.2026).
17. Surnov S., Bychkovskiy I., Surnov G., Surnov N. Asynchronous Sensor System for Collecting Detailed Data on the Environment and Resource Consumption in Smart City // ScienceDirect. — 2023. — 10 p. — URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 12.03.2026).
18. Концепция «Москва — умный город-2030» [Электронный ресурс]. — URL: <https://storage.strategy24.ru/files/strategy/201903/724ca9541151bd969b96ed594f37a103.pdf> (дата обращения: 23.03.2026).
19. Минстрой Российской Федерации. Программа «Умный город» [Электронный ресурс]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogo-khozyaystva-umnyy-gorod/> (дата обращения: 16.04.2026).
20. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. — URL: <https://digital.ac.gov.ru/about/> (дата обращения: 23.03.2026).
21. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ. — 2020. — № 30 (ч. I). — Ст. 4830.
22. Эффективные отечественные практики на базе технологий искусственного интеллекта в «умном городе» [Электронный ресурс]. — URL: https://www.tadviser.ru/images/1/19/AI_smart_city.pdf (дата обращения: 23.03.2026).

УДК 004.8

С. Н. Шемякова, А. С. ГусевБелорусско-Российский университет
212000, Могилёв, проспект Мира, 43**СОСТАВ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ GOOSECODE***Аннотация.*

В статье рассматривается проблема недостаточной автоматизации процесса практического обучения программированию. Предлагается описание онлайн-платформы GooseCode, предназначенной для решения алгоритмических задач, прохождения теоретических тестов и участия в соревновательном режиме «1 на 1». Система интегрирует инструменты автоматической проверки кода, аналитику прогресса пользователя и функции AI-ассистента для генерации персональных рекомендаций. Приложение предназначено для студентов технических специальностей, начинающих разработчиков и участников IT-сообществ, стремящихся систематически повышать свой уровень.

Ключевые слова: web-приложение, образовательная платформа, онлайн-обучение, искусственный интеллект, соревновательное программирование, рейтинговая система, автоматизированная проверка кода.

A. S. Gusev, S. N. ShemyakovaBelarusian-Russian university
212000, Mogilev, Mira Ave, 43**THE COMPOSITION OF THE WEB APPLICATION OF THE ONLINE PROGRAMMING LEARNING PLATFORM GOOSECODE***Annotation.*

The article discusses the problem of insufficient automation of the practical programming learning process. The description of the online GooseCode platform is proposed, designed to solve algorithmic problems, pass theoretical tests and participate in a 1-on-1 competitive mode. The system integrates automatic code review tools, user progress analytics, and AI assistant functions to generate personalized recommendations. The application is intended for students of technical specialties, novice developers and members of IT communities who seek to systematically improve their level.

Keywords: web application, educational platform, online learning, artificial intelligence, competitive programming, rating system, automated code verification.

Введение

Актуальность платформ для практического обучения программированию обусловлена цифровизацией экономики и ростом требований к квалификации IT-специалистам. Традиционные подходы к обучению с недостатком практики не формируют навыки решения нестандартных задач, необходимые для собеседований и работы. Рынок предлагает симуляторы и обучающие среды, однако большинство платформ дают статичные упражнения без персонализированной обратной связи и отслеживания прогресса. В результате преподавателям трудно объективно оценивать решения, а студенты не получают мгновенной обратной связи, что снижает мотивацию.

Цель работы – описание архитектуры, функциональных требований и методологии использования платформы GooseCode – комплексной системы, объединяющей теоретическую подготовку, практику, соревновательные механики и менторскую поддержку на базе технологий искусственного интеллекта. Особое внимание в исследовании уделено моделированию функциональных требований через диаграмму вариантов использования, что позволяет детально описать взаимодействие субъектов с системой и обосновать полноту реализованного функционала.

Основная часть. В ходе исследования существующих решений был проведен сравнительный анализ 16 цифровых образовательных сред, таких как Codewars, Exercism, HackerRank, LeetCode, Codeforces, Project Euler, Edabit, CodinGame, CheckiO, Coderbyte, CodeSignal, SPOJ, Topcoder, binarysearch, Codier и BigSib [1]. Анализ рынка позволил классифицировать платформы по целевому назначению: геймифицированные среды, ресурсы с персонализированной обратной связью, карьерно-ориентированные ресурсы и платформы для соревновательного программирования.

Геймифицированные среды, такие как Codewars и CodinGame, ориентированы на широкую аудиторию и решение проблемы мотивации на начальных этапах. Однако отсутствие теоретических объяснений в них создает риск когнитивной перегрузки начинающих. Ресурсы с персонализированной обратной связью, например Exercism, делают акцент на проверке кода реальными менторами, но их развитию зачастую мешает модель, при которой финансирование поступает только за счёт пожертвований. Карьерно-ориентированные ресурсы такие, как HackerRank, LeetCode, формируют компетенции, востребованные на рынке труда, но ограничение доступа к полному функционалу через платные подписки создаёт ситуацию, при которой образовательные возможности становятся неравными. Платформы для соревновательного программирования такие, как Codeforces, Topcoder, учат писать оптимальный код в стрессовых условиях, однако новичков может демотивировать как высокий уровень конкуренции, так и наличие системы штрафов.

Выявлен ряд системных проблем, снижающих эффективность формирования профессиональных компетенций в существующих решениях.

- фрагментарность образовательного цикла: специализация платформ на одном виде деятельности приводит к необходимости использования нескольких сервисов одновременно, что усложняет трекинг прогресса;
- недостаточность персонализированной поддержки: ресурсы соревновательного типа предполагают высокую автономность обучающегося, отсутствие инструментария для объяснения логических ошибок без предоставления готового решения создает барьер входа;
- отсутствие адаптивности: многие системы предоставляют задачи высокой сложности без предварительной проверки уровня знаний пользователя;
- дисбаланс теории и практики: значительная часть ресурсов ориентирована исключительно на написание кода, игнорируя этап проверки усвоения фундаментальных концепций;
- ограниченность социального обучения: механизмы рецензирования кода и обсуждения решений развиты слабо.

Таким образом, оптимальная стратегия предполагает построение гибридной образовательной среды, интегрирующей элементы различных платформ в единый учебный процесс.

Далее рассмотрим архитектуру и технологическую реализацию разрабатываемой платформы GooseCode. Среда спроектирована как веб-приложение, реализующее замкнутый цикл обучения. Архитектура системы построена по модульному принципу, что обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость и четкое разграничение зон ответственности компонентов. Для реализации фронтенда используется актуальный Next, обеспечивающий высокую интерактивность интерфейса, особенно критичную для соревновательного режима с обновлением данных в реальном времени. Бэкенд-часть построена на Node.js с использованием фреймворка Express, который позволяет эффективно обрабатывать асинхронные запросы. Взаимодействие с AI-ассистентом реализовано через API больших языковых моделей (LLM).

В архитектуре одним из важных составляющих выступает модуль, отвечающий за выполнение кода. Для обеспечения безопасности при выполнении пользовательского кода применяется изолированные Docker-контейнеры. Каждый запускаемый скрипт выполняется в изолированном окружении со следующими ограничениями: максимальный объем оперативной памяти — 128 МБ, отсутствие сетевого доступа, строгий лимит времени выполнения. Для языков, требующих компиляции, таких как C++, Java [4], C#, реализована стадия предварительной компиляции; для языков с транспилицией – TypeScript, CoffeeScript, – преобразование в целевой код. В качестве базы данных используется PostgreSQL, обеспечивающая целостность данных о пользователях, задачах и попытках решения. Аутентификация поддерживается с помощью JWT-токенов, что обеспечивает Stateless-архитектуру сервера и безопасность сессий.

Далее представлены функциональные требования и моделирование вариантов использования платформы GooseCode [3],[5]-[6]. Диаграмма вариантов использования web-приложения, представленная на рис. 1, определяет границы системы и взаимодействия между актерами и функциональными модулями. Основным актером системы является «Пользователь» — зарегистрированный участник платформы. Вторичным актером выступает «Администратор», обладающий расширенными правами модерации [6].

Перейдём к описанию ключевых вариантов использования, реализующих жизненный цикл обучения в системе [2].

1. Управление доступом и профилем пользователя.

Взаимодействие с системой начинается с варианта использования «Авторизация». Пока пользователь не пройдёт аутентификацию, доступ к ресурсам и остальным действиям платформы закрыт. Пользователь может реализовать вход двумя способами: посредством ввода учетных данных (e-mail и пароль) или через провайдеров OAuth 2.0 (Google, GitHub). В случае выбора стандартного входа система проверяет хешированные учетные данные в базе данных. При успешной верификации пользователю выдается пара токенов: краткосрочный access-токен (JWT) для авторизации запросов и долгосрочный

refresh-токен, хранящийся в HttpOnly cookie для защиты от XSS-атак. Механизм автоматического обновления access-токена обеспечивает непрерывность сессии. В случае неудачи система отображает сообщение об ошибке. Вариант использования «Регистрация» позволяет новому участнику создать аккаунт, заполнив обязательные поля профиля, после чего автоматически выполняется вход. Вариант «Выход» завершает сессию, делая недействительными токены и перенаправляя пользователя на публичную страницу.

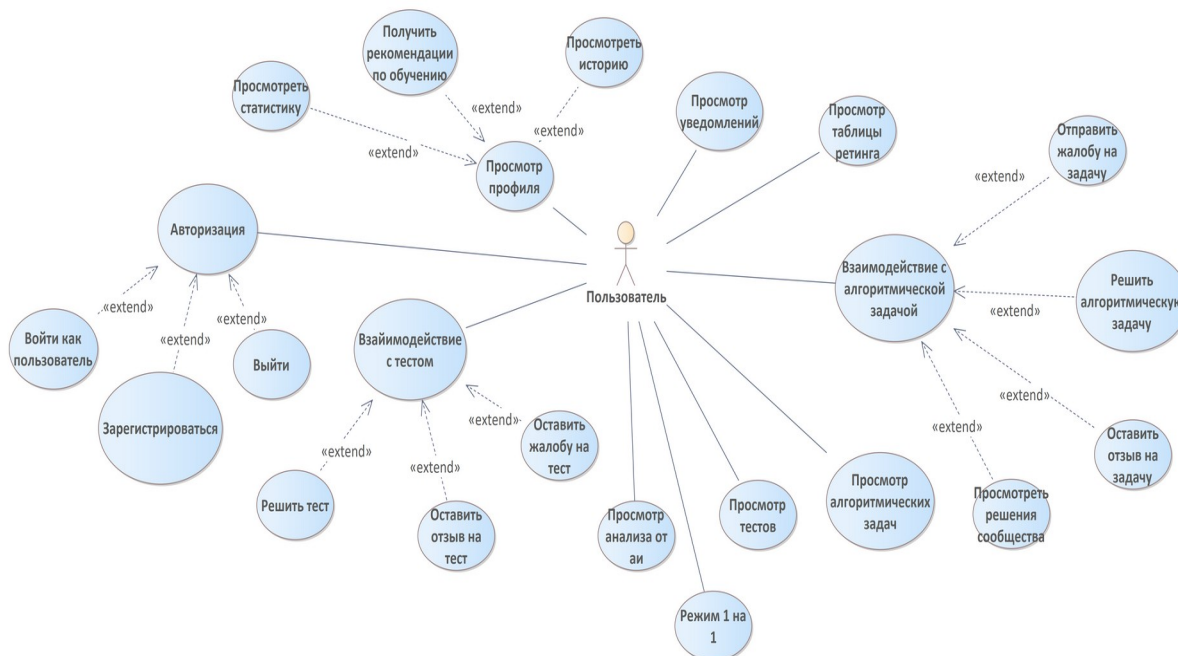


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования web-приложения GooseCode

После авторизации пользователь получает доступ к варианту использования «Просмотр профиля». Профиль выступает личным кабинетом, отражающим прогресс участника. В рамках этого использования реализуется подфункция «Просмотр статистики», где отображаются накопленный опыт (XP), рейтинг, общее количество решенных задач и процент успешных решений. Особое внимание уделено визуализации данных через «Тепловую карту активности», которая показывает интенсивность занятий пользователя по дням. Насыщенность цвета ячеек коррелирует с количеством выполненных действий, что позволяет отслеживать регулярность обучения. Важным элементом профиля является вариант «Получить рекомендации по обучению». Система анализирует историю решений пользователя, выявляя темы, по которым возникают систематические ошибки (например, рекурсия или динамическое программирование), и формирует персональный план обучения. Рекомендации генерируются AI-ассистентом и представлены в виде структурированного текста с пояснениями, что реализует принцип адаптивности образовательной траектории.

2. Взаимодействие с образовательным контентом.

Основной образовательный процесс реализуется через два крупных блока вариантов использования: «Взаимодействие с тестом» и «Взаимодействие с алгоритмической задачей». Оба блока имеют схожую структуру, но различаются по целевому назначению: тесты ориентированы на проверку теоретических знаний, алгоритмические задачи — на практическое программирование.

Вариант «Просмотр тестов/задач» предоставляет пользователю доступ к каталогу контента. Интерфейс реализует систему фильтрации и поиска: пользователь может отбирать задачи по уровню сложности (от простой до сложной), тематическим тегам (строки, массивы, сортировка) и языку программирования. Список обновляется в реальном времени. При выборе конкретной задачи активируется вариант «Решить тест/задачу». Пользователь переходит в рабочее пространство (IDE), где слева отображается условие задачи с примерами входных и выходных данных, а справа расположен редактор кода с подсветкой синтаксиса. Пользователь выбирает язык программирования из поддерживаемого списка (JavaScript, TypeScript, Python, C++, C#, Java, PHP, CoffeeScript) и пишет решение.

Основным событием данного варианта использования является запуск кода. Система выполняет код в изолированном Docker-контейнере и проверяет его на наборе тест-кейсов. Результат возвращается в виде детализированного отчета: для каждого теста показывается статус (пройден/не пройден), ожидаемый

и фактический вывод, время выполнения и текст ошибки компиляции с указанием строки. Это формирует культуру систематической отладки.

После попытки решения пользователь может инициировать вариант «Просмотр анализа от AI-ассистента». Ассистент изучает написанный код и дает подробную обратную связь: объясняет допущенные ошибки, предлагает более эффективные подходы, указывает на слабые места в логике, анализирует временную и пространственную сложность алгоритма. Важно отметить, что алгоритм генерации ответа настроен на педагогическую направленность: ИИ указывает на логические несоответствия, но не предоставляет готовое решение, реализуя принцип «направляющего наставничества». Пользователь может продолжить диалог в формате чата, задавая уточняющие вопросы.

Социальная составляющая обучения реализуется через варианты «Оставить отзыв/жалобу» и «Просмотреть решения сообщества». После работы с задачей пользователь может оценить её полезность по шкале от 1 до 5 звезд и оставить текстовый комментарий. В случае обнаружения некорректности условия или тестов активируется вариант «Оставить жалобу», который создает заявку для администратора. После успешного решения задачи пользователю открывается доступ к решениям других участников, что позволяет изучать альтернативные подходы и паттерны проектирования.

3. Соревновательный режим.

Функциональным модулем, не имеющим аналогов на платформе, является вариант использования «Режим 1 на 1», реализующий полноценный цикл соревновательного программирования в реальном времени. Данный процесс состоит из пяти последовательных фаз, каждая из которых представляет собой отдельное состояние системы.

Фаза 1 «Лобби» предоставляет пользователю три сценария поиска соперника: быстрый поиск (автоматический подбор по рейтингу), создание собственной комнаты (с возможностью установки пароля) или вход по коду приглашения. Система использует WebSocket для отображения списка открытых комнат в реальном времени.

Фаза 2 «Ожидание в комнате» синхронизирует игроков. На экране отображается статус подключения второго участника. Хост комнаты имеет возможность отменить игру до начала матча.

Фаза 3 «Выбор задачи» реализует механику взаимного обмена заданиями. Оба игрока одновременно выбирают задачу для своего соперника из общего каталога с учетом фильтров сложности. Это добавляет стратегический элемент в соревнование.

Фаза 4 «Бой» является основной. Игроки оказываются в интерфейсе решения задач. У каждого пользователя две задачи: та, что выбрал соперник, и та, что выбрал он сам. Отображение количества тестов, пройденных соперником, в реальном времени создает атмосферу соревнования. Встроенный чат позволяет участникам общаться. Система предусматривает обработку разрывов соединения: пользователь может переподключиться к активному бою, при этом его прогресс сохраняется. Победа присуждается тому, кто первым правильно решит обе задачи.

Фаза 5 «Результат» фиксирует итог матча. На экране отображается имя победителя, начисляется опыт (XP) и изменяется рейтинг в глобальной таблице лидеров. Пользователь имеет возможность немедленно начать новый матч.

4. Администрирование и аналитика.

Варианты использования для роли «Администратор» включают модерацию контента и управление пользователями. Администратор рассматривает жалобы на задачи, принимает решения по отзывам, публикует новые тесты и алгоритмические задачи. Система уведомляет пользователей о результатах рассмотрения жалоб через модуль «Просмотр уведомлений». Пользователь видит список сообщений, может отмечать их как прочитанные или удалять. Это обеспечивает обратную связь между сообществом и разработчиками платформы.

Далее рассмотрим методологию применения платформы GooseCode в образовательном процессе. Внедрение системы в процесс образования может осуществляться по нескольким сценариям, соответствующим этапам формирования профессиональных компетенций.

На диагностическом этапе преподаватель использует модуль теоретических тестов для проверки усвоения фундаментальных концепций (ООП, структуры данных). Тесты поддерживают различные форматы вопросов, включая анализ фрагментов кода. Преподаватель получает агрегированную статистику по группе, что позволяет выявить сложные для усвоения аспекты и скорректировать лекционный материал.

На практическом этапе основной вид деятельности — решение задач в рабочем пространстве. Основным преимуществом является мгновенная обратная связь и роль AI-ассистента. Поскольку преподаватель объективно неспособен уделить индивидуальное внимание сразу 20–30 студентам, AI-ассистент берёт на себя роль первичного проверяющего, что подталкивает студентов мыслить самостоятельно.

Развитие навыков код-ревью реализуется через социальное взаимодействие. После успешного решения задачи студенту открывается доступ к решениям других участников. Преподаватель может

организовать учебное задание: проанализировать альтернативные решения, оценить их эффективность. Таким образом формируются навыки чтения чужого кода и конструктивной критики.

Соревновательный режим может быть использован для проведения контрольных работ в игровой форме. Организация приватной комнаты для учебной группы создает здоровую конкуренцию, а синхронизация в реальном времени позволяет преподавателю отслеживать прогресс каждого участника. Начисление рейтинга и опыта обеспечивает измеримый прогресс и мотивацию.

Заключение

В результате выполнения работы был представлена разрабатываемая платформа GooseCode, представляющая собой целостную образовательную экосистему. Архитектура системы направлена на решение основных проблем цифрового обучения программированию: разрыва между теорией и практикой, недостатка персонализированной обратной связи и фрагментарности инструментов. В результате подробного моделирования вариантов использования был реализован полный цикл взаимодействия пользователя с системой — от авторизации и проверки знаний до сложных соревновательных форматов и социального обучения.

Уникальность системы заключается в гармоничном сочетании классического подхода к решению алгоритмических задач, интеллектуальной поддержки AI-ассистента и полноценного соревновательного режима 1 на 1 в реальном времени. Такая комбинация позволяет не только повысить качество усвоения материала за счет персонализированной обратной связи, но и значительно усилить вовлеченность пользователей за счет игровых механик. Техническая безопасность обеспечивается выполнением пользовательского кода в изолированных Docker-контейнерах, а масштабируемость — модульной архитектурой на базе Node.js и React.

Внедрение GooseCode в образовательный процесс или в систему внутрикорпоративного обучения позволит повысить эффективность подготовки разработчиков, обеспечив объективную оценку их навыков, структурированное накопление опыта и соревновательную мотивацию к развитию.

Список литературы

- 15 лучших альтернатив Codewars в 2026 году. URL: <https://rigorousthemes.com/blog/best-codewars-alternatives/> (дата обращения: 20.03.2026).
- 15 *luchshikh al'ternativ Codewars v 2026 godu*. URL: <https://rigorousthemes.com/blog/best-codewars-alternatives/> [15 Best Codewars Alternatives 2026]. (date accessed: 20.03.2026).
- Алгоритм описания функциональных требований к системе в формате Use Case. URL: https://systems.education/functional_requirements_in_usecases (дата обращения: 03.04.2026).
- Algoritm opisaniya funktsional'nykh trebovaniy k sisteme v formate Use Case*. URL: https://systems.education/functional_requirements_in_usecases [Algorithm for describing functional requirements for a system in the Use Case format]. (date accessed: 03.04.2026).
- Варианты на все случаи жизни: как написать полезный use case. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-use-case-kak-ih-napisat/> (дата обращения: 02.04.2026).
- Varianty na vse sluchai zhizni: kak napisat' poleznyy use case*. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-use-case-kak-ih-napisat/> [Options for all occasions: how to write a useful use case]. (date accessed: 02.04.2026).
- Использование плагинов в Maven: автоматизация задач сборки для Java-проектов. URL: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/ispolzovanie-plaginov-v-maven-avtomatizatsiya-zadach-sborki-dlya-java-proektov> (дата обращения: 03.04.2026).
- Ispol'zovaniye plaginov v Maven: avtomatizatsiya zadach sborki dlya Java-proyektov*. URL: <https://ru.hexlet.io/blog/posts/ispolzovanie-plaginov-v-maven-avtomatizatsiya-zadach-sborki-dlya-java-proektov> [Using Maven Plugins: Automating Build Tasks for Java Projects]. (date accessed: 03.04.2026).
- Диаграмма вариантов использования — унифицированный язык моделирования (UML). URL: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/use-case-diagram/> (дата обращения: 06.04.2026).
- Diagramma variantov ispol'zovaniya — unifitsirovannyy yazyk modelirovaniya (UML)*. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/use-case-diagram/> [Use Case Diagram - Unified Modeling Language (UML)]. (date accessed: 06.04.2026).
- Руководство по Use Cases. URL: <https://habr.com/ru/articles/887224/> (дата обращения: 31.03.2026).
- Rukovodstvo po Use Cases*. URL: <https://habr.com/ru/articles/887224/> [Use Cases Guide]. (date accessed: 31.03.2026).

УДК 004.89

С.А. Ковалёв, С.Н. Гугняева

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
190013, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера А

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ (FIJI) И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ (LLM) ПРИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ КОНФЛЮЭНТНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ КУЛЬТУРЫ

Конфлюэнтность является одним из ключевых параметров при культивировании адгезивных клеток, однако традиционная визуальная оценка под микроскопом субъективна и трудно воспроизводима. В работе проведён сравнительный анализ двух альтернативных подходов: детерминированной пороговой сегментации с помощью плагина PHANTAST в среде Fiji и визуальной оценки, выполняемой шестью мультимодальными нейросетевыми моделями: Grok, GigaChat, Алиса AI, Perplexity, Google AI Mode, ChatGPT. На материале серийных микрофотографий клеточной культуры, полученных на 1-е, 2-е и 4-е сутки при шести различных разведениях (1:3 – 1:10), показано, что метод Fiji обеспечивает высокую точность измерения площади, но требует трудоёмкой ручной настройки и чувствителен к артефактам освещения. Мультимодальные LLM, напротив, дают быструю оценку, устойчивую к вариациям фона, однако характеризуются систематическим завышением (на 10–15%) и значительным разбросом между моделями (до 42%). Наиболее стабильные результаты продемонстрировали Grok, ChatGPT и Google AI. Установлено, что для точных количественных исследований предпочтителен Fiji, тогда как для экспресс-мониторинга допустимо использование LLM при условии внесения поправки на завышение. Рекомендовано комбинированное применение методов для повышения надёжности и воспроизводимости оценки конфлюэнтности.

Ключевые слова: конфлюэнтность, клеточная культура, ImageJ, PHANTAST, Fiji, нейросетевые модели, LLM, мультимодальный анализ, сегментация изображений, количественная оценка.

S.A. Kovalev, S.N. Gugnayaeva

Saint-Petersburg State Institute of Technology
190013, St. Petersburg, Moskovsky Avenue, 24-26/49, lit. A

COMPARATIVE ANALYSIS OF DETERMINISTIC SEGMENTATION (FIJI) AND MULTIMODAL AI MODELS FOR QUANTITATIVE CELL CONFLUENCE ESTIMATION.

Confluence is a key parameter in adherent cell culture, yet traditional visual estimation under a microscope is subjective and poorly reproducible. This study presents a comparative analysis of two alternative approaches: deterministic threshold segmentation using the PHANTAST plugin within Fiji/ImageJ and visual assessment performed by six multimodal large language models: Grok, Gigachat, Alisa AI, Perplexity, Google AI Mode, ChatGPT. Using time-series micrographs of a cell culture obtained on days 1, 2, and 4 at six different seeding dilutions (1:3 – 1:10), we demonstrate that the Fiji method provides high accuracy of area measurement but requires labor-intensive manual tuning and is sensitive to illumination artifacts. In contrast, multimodal LLMs offer rapid evaluation robust to background variations, yet they systematically overestimate confluence (by 10–15%) and exhibit considerable inter-model variability (up to 42%). The most stable results were obtained from Grok, ChatGPT, and Google AI. It is concluded that Fiji is preferable for precise quantitative studies, whereas LLMs may be used for routine express monitoring provided a correction for overestimation is applied. A combined strategy is recommended to enhance the reliability and reproducibility of confluence assessment.

Keywords: confluence, cell culture, ImageJ, PHANTAST, Fiji, neural network models, LLM, multimodal analysis, image segmentation, quantitative assessment.

Введение

Конфлюэнтность, определяемая как процентное соотношение площади поверхности культурального сосуда, занятой адгезивными клетками, является необходимым параметром при работе с клеточными культурами. На основе количественной оценки конфлюэнтности устанавливается кратность посева (1:3, 1:4 и т. д.), что позволяет поддерживать культуру. В логарифмической фазе роста и стандартизировать условия для последующих манипуляций. Традиционная визуальная оценка конфлюэнтности под микроскопом обладает высокой субъективностью и вносит значительную вариабельность в экспериментальные данные даже среди опытных специалистов [1]

Точная оценка конfluenceности – залог воспроизводимости условий культивирования. Это важно для корректной интерпретации результатов эксперимента. Уровень покрытия поверхности клетками напрямую влияет на их физиологическое состояние, включая пролиферативную активность, метаболизм, межклеточные взаимодействия и экспрессию генов. Ошибки в оценке конfluenceности могут приводить к снижению воспроизводимости экспериментов и искажению получаемых результатов, что делает разработку точных и объективных методов её определения актуальной задачей современной клеточной биологии [2].

Для исследований в области микробиологии важно не только измерить конfluenceность, но и верно интерпретировать ее значение для конкретного эксперимента, так как разные уровни конfluenceности ассоциированы с различными физиологическими состояниями клеток:

- **30–50%:** Фаза активной пролиферации (логарифмическая фаза роста), когда клетки имеют достаточно пространства и питательных веществ, а межклеточные контакты минимальны;

- **70–80%:** «Рабочее окно», рекомендуемое для многих экспериментов (трансфекция, экстракция белка, лекарственный скрининг). В этом состоянии клетки обычно имеют стабильный метаболизм и однородную морфологию;

- **90–100%:** Состояние гиперконfluenceности (монослой). На этой стадии пролиферация клеток может замедляться или останавливаться из-за контактного ингибирования, истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма. Это может приводить к стрессу, изменению экспрессии генов и даже гибели клеток, что искажает результаты экспериментов.

Современные подходы, такие как технология xCELLigence RTCA, решают проблему объективности путем непрерывного измерения импеданса, однако не всегда доступны в рутинной лабораторной практике, поскольку требуют использования специализированных планшетов E-Plate [3]. В качестве доступной альтернативы широкое распространение получили методы компьютерного анализа микрофотографий. С одной стороны, детерминированные алгоритмы (например, плагины платформы ImageJ/Fiji) позволяют количественно измерить площадь, занятую клетками. С другой стороны, бурное развитие искусственного интеллекта привело к появлению мультимодальных нейросетевых моделей (Large Language Models, LLM), способных анализировать изображения и давать оценочные суждения в ответ на текстовый промпт.

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности и воспроизводимости двух подходов к оценке конfluenceности: детерминированной программной сегментации средствами Fiji и визуальной оценки, выполненной современными мультимодальными LLM (Grok, ChatGPT, Gigachat, Perplexity и др.), на примере серийной динамической культуры клеток.

Методология исследования:

Для анализа использована серия микрофотографий культуры адгезивных клеток. Предварительно клетки нарастили в стандартных условиях до достижения полного (100%) монослоя, после чего проводили рассев в шести разведениях: 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:8 и 1:10. Снимки культуры были получены методом световой микроскопии на 1-е, 2-е и 4-е сутки после посева. Полученные данные легли в основу количественной оценки динамики роста клеток.

На рисунке 1 представлен сводный вид исследуемой культуры в динамике, позволяющий визуально оценить нарастание клеточной массы и изменение морфологии монослоя по мере увеличения времени культивирования и концентрации посевного материала. Именно этот набор изображений послужил исходным материалом как для количественного анализа методом пороговой сегментации в программе Fiji, так и для параллельной оценки конfluenceности мультимодальными нейросетевыми моделями.

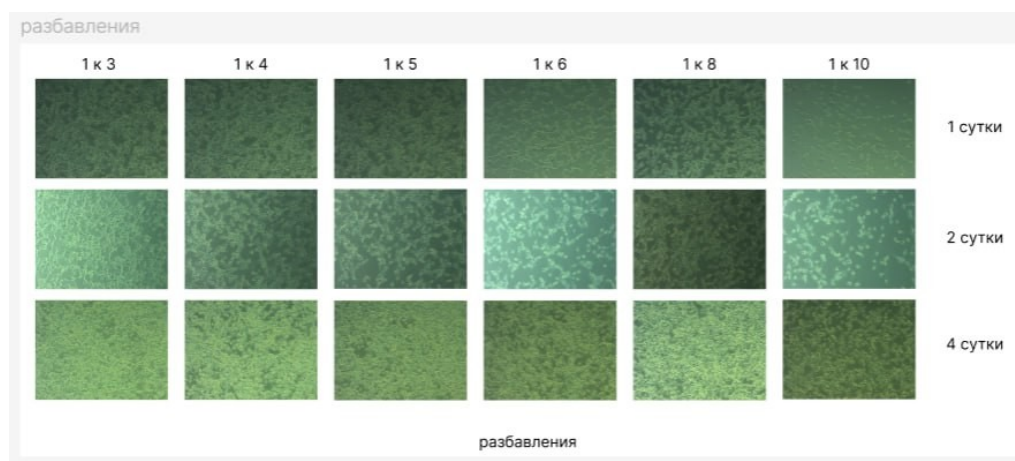


Рис. 1. Микрофотографии клеточной культуры при различных разведениях на 1, 2 и 4 сутки

Метод 1: Детерминированная сегментация (Fiji/ImageJ)

Анализ изображений проводился с использованием открытого программного обеспечения Fiji (расширенная версия ImageJ). Процесс включал стандартные этапы: преобразование в 8-битный формат, коррекцию неравномерности освещения (по необходимости), пороговую обработку (Thresholding) для выделения клеточной массы и последующее измерение процентной доли площади (Area Fraction).

В ходе работы были выявлены следующие методологические проблемы, характерные для детерминированного подхода:

- Вариабельность освещения: из-за неоднородного фона на разных фотографиях автоматический подбор порога давал артефакты.
- Инверсия маски: при расчетах Fiji мог инвертировать выделение (в одних случаях черным фоном считался фон, в других – сами клетки);
- Трудоемкость подбора параметров: для каждой серии требовалась ручная подгонка параметров яркости и порога, что нивелирует преимущество автоматизации.

Плюсом метода является полный контроль исследователя над процессом: при необходимости можно вручную подправить маску.

На рисунке 2 представлены скриншоты интерфейса плагина PHANTAST в процессе обработки различных разведений клеточной культуры. Как видно из настроек, для достижения корректной сегментации в каждом конкретном случае требовалась индивидуальная подстройка параметра Epsilon (0.03, 0.04, 0.05), а также выбор режима вывода (маска и/или наложение на оригинал). Такая вариабельность настроек иллюстрирует одну из главных проблем детерминированного подхода – отсутствие универсального набора параметров и необходимость субъективного вмешательства оператора

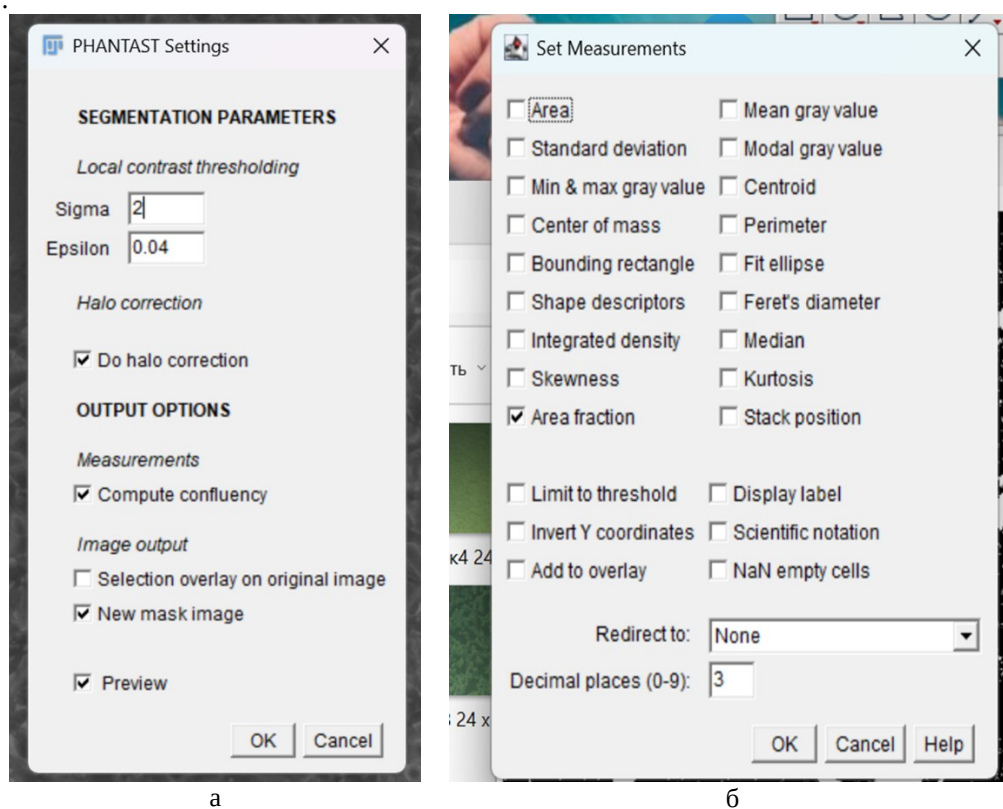


Рис. 2. Интерфейс плагина PHANTAST (Fiji) с настройками параметров сегментации: а – установка значений Sigma и Epsilon для локальной пороговой обработки; б – окно выбора измеряемых параметров (Set Measurements) с активированной опцией Area fraction.

Пример обработки изображения с наложением маски представлен на рисунке 3.

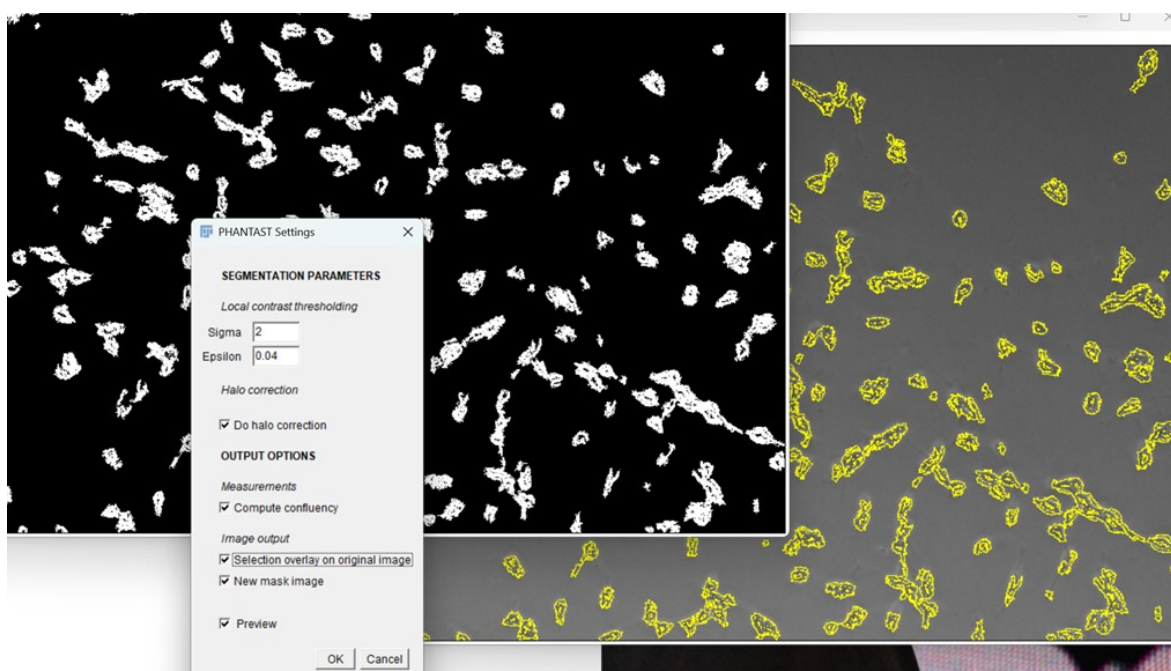


Рис. 3. Пример обработки изображения с наложением маски.

Метод 2: Оценка мультимодальными LLM

Изображения были предъявлены шести различным нейросетевым моделям в интерфейсе чата с запросом оценить процент конфлюэнтности (визуально). Оценки собирались в деперсонализированном виде для Grok, ГигаЧат, Алиса AI, Perplexity, Google AI Mode и ChatGPT.

Эксперимент

Количественные оценки конфлюэнтности, полученные методом детерминированной сегментации в программе Fiji с использованием плагина PHANTAST, а также усреднённые значения, предоставленные шестью мультимодальными нейросетевыми моделями, представлены в Таблице 1. Для удобства интерпретации все значения приведены к единому формату (% покрытия площади).

Таблица. 1. Сравнение оценок конфлюэнтности (%) различными инструментами

Разведение	Сутки	Fiji	Grok	ГигаЧат	Алиса	Perplexity	Google AI	ChatGPT
1:3	1	83	85-90	90	85	58	85-90	85-90
	2	86	95-100	95	90	94	95	95-100
	4	90	95-100	100	95	71	95	100
1:4	1	67	80-85	80	70	58	80	80-85
	2	73	90-95	85	85	93	90-95	90-95
	4	84	90-95	90	90	73	95	100
1:5	1	66	75-80	70	65	55	70-75	75-80
	2	67	85-90	75	75	88	85-90	85-90
	4	89	85-90	85	75	69	95	95-100
1:6	1	60	65-70	60	50	55	60-65	65-70
	2	74	70-75	65	65	88	80-85	75-80
	4	90	80-85	75	75	69	95	90-95
1:8	1	24	50-55	50	45	54	50-60	55-60
	2	76	55-60	55	55	87	75-80	65-70
	4	87	65-70	65	65	68	90-95	85-90
1:10	1	24	35-40	40	40	54	40-50	40-50
	2	47	45-50	45	50	87	70-75	55-65
	4	86	50-55	55	60	67	90	75-85

Анализ результатов:

Анализ полученных результатов показал, что как детерминированный метод сегментации (Fiji), так и мультимодальные нейросетевые модели в целом воспроизводят биологически ожидаемую динамику роста клеточной культуры. Во всех сериях эксперимента наблюдается увеличение конфлюэнтности с

течением времени (1–4 сутки) и снижение значений при увеличении разведения клеточной суспензии (от 1:3 к 1:10), что подтверждает корректность эксперимента.

Для количественной оценки точности моделей использовалась средняя абсолютная ошибка (MAE), определяемая как среднее значение модуля отклонения предсказаний модели от эталонных значений [4]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad 11 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

, где y_i - значения конфлюэнтности, полученные методом детерминированной сегментации (Fiji), а \hat{y}_i - соответствующие оценки нейросетевой модели.

Результаты показали, что для большинства моделей MAE находится в диапазоне 11-13% (Алиса - 11.00%, Google AI - 11.08%, GigaChat - 11.94%, ChatGPT - 11.86%, Grok - 12.83%), что указывает на сопоставимый уровень абсолютной ошибки. Существенно более высокое значение MAE у модели Perplexity (18.50%) свидетельствует о её низкой точности и нестабильности.

Однако MAE не позволяет оценить направление систематической ошибки, поэтому дополнительно рассчитывалось смещение (bias) [5]:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad 22 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

, где y_i - значения конфлюэнтности, полученные методом детерминированной сегментации (Fiji), а \hat{y}_i - соответствующие оценки нейросетевой модели.

Данная метрика отражает среднее отклонение предсказаний модели от эталонных значений и позволяет выявить систематические искажения. Установлено, что модели ChatGPT (bias = +10.25%) и Google AI (bias = +11.08%) демонстрируют выраженную тенденцию к завышению оценок конфлюэнтности. В противоположность этому, модель Алиса характеризуется отрицательным смещением (-2.11%), что указывает на склонность к занижению значений. Модели GigaChat (0.39%) и Grok (3.72%) демонстрируют минимальное смещение, что свидетельствует о более сбалансированном характере ошибок.

Для оценки степени согласованности моделей с эталонными данными и способности воспроизводить вариацию экспериментальных значений использовался коэффициент детерминации (R^2), определяемый следующим образом:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad 33 \setminus * \text{ MERGEFORMAT } ()$$

, где y_i - значения конфлюэнтности, полученные методом детерминированной сегментации (Fiji), а \hat{y}_i - соответствующие оценки нейросетевой модели, \bar{y} - среднее значение конфлюэнтности по данным Fiji [4,6].

Полученные значения R^2 указывают на умеренный уровень согласованности моделей с эталонными данными. Наибольшее значение продемонстрировала модель Алиса (0.559), что свидетельствует о наилучшей способности воспроизводить относительную динамику изменений. Модели Google AI (0.519) и ChatGPT (0.496) демонстрируют сопоставимые результаты, тогда как Grok (0.394) характеризуется более слабой корреляцией. Отрицательное значение R^2 у модели Perplexity (-0.034) указывает на отсутствие адекватной зависимости между предсказаниями и экспериментальными данными.

Сопоставление всех трёх метрик показало, что низкое значение MAE не гарантирует отсутствия систематических ошибок. Так, модели ChatGPT и Google AI демонстрируют относительно низкую среднюю ошибку, однако сопровождаются значительным положительным смещением, что приводит к систематическому завышению оценок конфлюэнтности. В то же время модель Алиса, обладая сопоставимым уровнем MAE, демонстрирует наилучшее значение R^2 и более корректно воспроизводит относительные изменения.

Визуальный анализ диаграммы рассеяния (рисунок 4) подтверждает выявленные закономерности: для моделей ChatGPT и Google AI характерно расположение точек выше линии идеального соответствия ($y = x$), тогда как распределение значений для GigaChat и Grok более симметрично. Модель Perplexity демонстрирует значительный разброс, что отражает её низкую воспроизводимость.

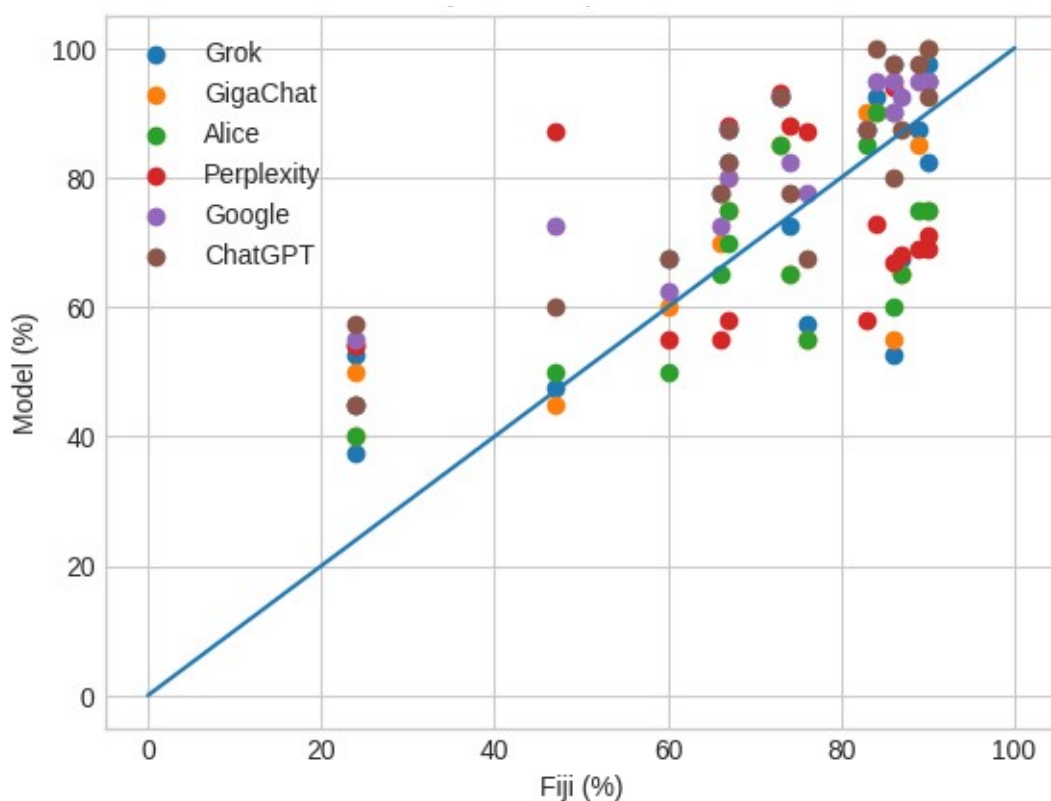


Рис. 4. Зависимость оценок конфлюэнтности, полученных мультимодальными моделями, от эталонных значений Fiji.

Анализ динамики (рисунок 5) показывает, что все модели корректно отражают общий тренд увеличения конфлюэнтности с течением времени. Однако при низких значениях (<50%) наблюдается существенное расхождение с эталонными данными: модели демонстрируют сглаживание значений и недостаточную чувствительность к разреженным клеточным культурам.

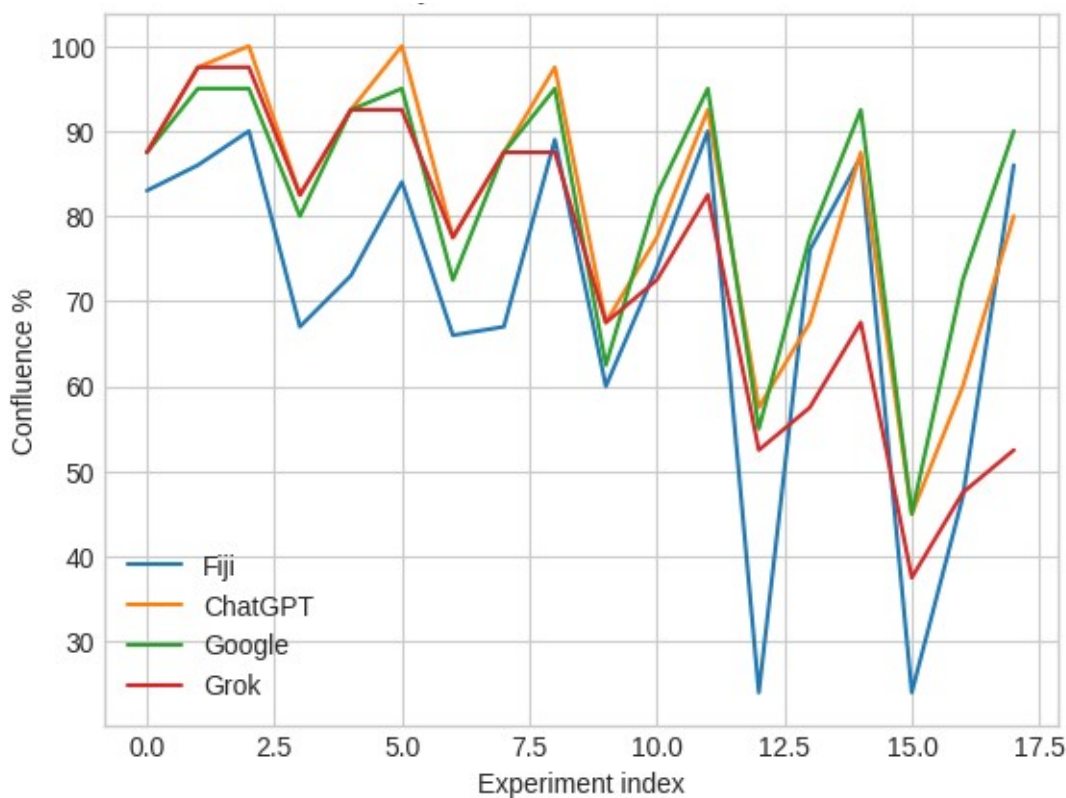


Рис. 5. Сравнительная динамика конфлюэнтности при различных разреждениях и сроках культивирования.

По оси абсцисс отложен порядковый номер экспериментального условия, представляющий собой последовательность комбинаций степени разведения клеточной культуры и времени культивирования (1, 2 и 4 сутки). Следует отметить, что данная ось не является физической шкалой, а используется исключительно для упорядоченного отображения экспериментальных данных.

Вывод:

Таким образом, мультимодальные нейросетевые модели обладают ограниченной точностью при количественной оценке конфлюэнтности и характеризуются наличием как случайных, так и систематических ошибок. Их поведение соответствует скорее качественной классификации уровня конфлюэнтности, чем точному измерению процентного покрытия. Полученные результаты согласуются с современными исследованиями, указывающими на необходимость калибровки и валидации моделей машинного обучения при применении в задачах биомедицинского анализа изображений [7].

В отличие от LLM, детерминированная сегментация средствами Fiji/PHANTAST остаётся референсным методом для количественных измерений, несмотря на трудоёмкость и чувствительность к условиям освещения. Таким образом, для рутинного мониторинга клеточных культур допустимо применение LLM в качестве инструмента экспресс-оценки при условии внесения эмпирической поправки на систематическое завышение, тогда как для экспериментов, требующих высокой точности, следует отдавать предпочтение Fiji с обязательной верификацией получаемых масок. Перспективным направлением является разработка специализированных нейросетевых моделей, обученных на размеченных микрофотографиях, что позволит объединить семантическую устойчивость LLM с количественной точностью детерминированных алгоритмов.

*Научный руководитель: доцент кафедры системного анализа и информационных технологий СПбГТИ(ТУ), к.т.н., доцент
Ананченко И.В.*

*Scientific supervisor: Associate Professor of the Department of Systems Analysis and Information Technologies of Saint Petersburg Institute of Technology, Ph.D. (Engineering), Associate Professor
Igor V. Ananchenko.*

Список литературы:

1. Logos Biosciences. A Complete Guide to Cell Culture Confluence: From Accurate Measurement to Improved Experimental Reproducibility [Электронный ресурс] // Logos Biosciences : сайт. - 06.02.2026. - URL: <https://logosbio.com/es/a-complete-guide-to-cell-culture-confluence-from-accurate-measurement-to-improved-experimental-reproducibility/> (дата обращения: 07.04.2026).
2. Freshney R. I. Culture of animal cells: a manual of basic technique and specialized applications. – John Wiley & Sons, 2015;
3. Atienza J. M. et al. Dynamic and label-free cell-based assays using the real-time cell electronic sensing system // Assay and drug development technologies. – 2006. – Т. 4. – №. 5. – С. 597-607.
4. Willmott C. J., Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance // Climate research. – 2005. – Т. 30. – №. 1. – С. 79-82.
5. Chai T. et al. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) // Geoscientific model development discussions. – 2014. – Т. 7. – №. 1. – С. 1525-1534.
6. Draper N. R., Smith H. Applied regression analysis. – John Wiley & Sons, 1998. – Т. 326.
7. Esteva A. et al. A guide to deep learning in healthcare // Nature medicine. – 2019. – Т. 25. – №. 1. – С. 24-29.

References:

1. Logos Biosciences. A Complete Guide to Cell Culture Confluence: From Accurate Measurement to Improved Experimental Reproducibility [Электронный ресурс] // Logos Biosciences : сайт. - 06.02.2026. - URL: <https://logosbio.com/es/a-complete-guide-to-cell-culture-confluence-from-accurate-measurement-to-improved-experimental-reproducibility/> (дата обращения: 07.04.2026).
2. Freshney R. I. Culture of animal cells: a manual of basic technique and specialized applications. – John Wiley & Sons, 2015;
3. Atienza J. M. et al. Dynamic and label-free cell-based assays using the real-time cell electronic sensing system // Assay and drug development technologies. – 2006. – Т. 4. – №. 5. – С. 597-607.
4. Willmott C. J., Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance // Climate research. – 2005. – Т. 30. – №. 1. – С. 79-82.
5. Chai T. et al. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) // Geoscientific model development discussions. – 2014. – Т. 7. – №. 1. – С. 1525-1534.
6. Draper N. R., Smith H. Applied regression analysis. – John Wiley & Sons, 1998. – Т. 326.

7. Esteva A. et al. A guide to deep learning in healthcare //Nature medicine. – 2019. – Т. 25. – №. 1. – С. 24-29.

УДК 688.726.3:745/749:620.2

К.О. Белоусова, Е.В. Бызова

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРЁХ ТРАДИЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ МАТРЕШЕЧНОГО ЦЕНТРА: КОДЫ РОСПИСИ И ФОРМЫ

Е.В. Бызова, 2026

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы информационной идентификации традиционных российских центров производства матрёшки - Семёновского, Похлов-Майданского и Вятского. Анализируются ключевые аутентичные признаки каждого типа: форма, технология росписи, цветовая гамма, орнамент. Особое внимание уделяется эволюции каждой из них: прослеживаются изменения формы, цвета, антропометрических особенностей.

Ключевые слова: деревянная игрушка, матрешка, идентификация, роспись, производство, местоположение

К.О. Belousova, E.V. Byzova

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

INFORMATIONAL IDENTIFICATION OF THE THREE TRADITIONAL CENTER OF THE MATRESHKA CENTER: CODES OF PAINTING AND SHAPES

Abstract: The article discusses the issues of information identification of traditional Russian matryoshka production centers " Semenovsky, PokhlovMaidansky and Vyatsky. The key authentic features of each type are analyzed: shape, painting technology, color scheme, ornament. Special attention is paid to the evolution of each of them: changes in shape, color, and anthropometric features are traced.

Keywords: wooden toy, matryoshka, identification, painting, production, location

На территории Российской Федерации сегодня активно происходит возрождение традиционных культурных ценностей, народных промыслов и исторической преемственности, в частности проявляется интерес к деревянной игрушке, как символу национальной идентичности. На протяжении столетий игрушка являлась неотъемлемым атрибутом воспитательного процесса и предшествующих, и последующих поколений.

Народная игрушка – один из древнейших феноменов культуры народа, впитавшая в себя национальный колорит, многообразие видов и форм. Через игрушку ребенок знакомился с окружающим миром. По внешним особенностям русской народной игрушки можно было понять, в какой именно местности ее смастерили и каким способом. Крупным центром производства деревянной игрушки была Нижегородская губерния, во многих ее районах – Городецком, Семёновском, Федосеевском – вырезались и расписывались игрушки, а также Сергиев Посад с прилегающими к нему селениями и п. Богородское. В каждом регионе существовали свои особенности в изготовлении деревянных игрушек, которые отражали общественный уклад, быт, обычаи и увлечения местного населения. Идентификация деревянных игрушек проводится по способу изготовления – столярные, токарные, резьба; по образу; по способу отделки. Ермиловские, Крутецкие и Полхов–Майданские игрушки были выполнены токарным способом. Богородские, Сергиевские, Мазыкские, Новинские, Гороховецкие, Федосеевские были выполнены резным способом, с помощью ножей и топора.

Актуальность темы обусловлена необходимостью идентификации самой популярной ремесленной деревянной игрушки - матрешки от массовой сувенирной продукции, разобрать подлинные

технологические и художественные приемы, сохранившиеся из прошлого. Возрождение деревянной игрушки способствует восстановлению преемственности поколений и возвращению утраченных традиций, формируя целостное представление о культурном наследии России.

Матрешка - полая внутри деревянная ярко разрисованная кукла в виде полуовальной фигуры, в которую вставляются другие такие же куклы меньшего размера [1]

Существует множество мифов и легенд о происхождении матрешки, самая распространенная версия - русская кукла была создана в мастерской «Детское воспитание», принадлежавшей семье типографа и издателя А.И. Мамонтова в 1890-х годах и прототипом ее была фигурка японского бога Фукурокудзю. Но все версии не имеют документального подтверждения. И на Всемирной выставке в Париже (1900 г) матрешка получила бронзовую медаль, и никто из участников ее, в том числе и японцы не предъявили претензии в плагиате российский мастеров.

Создателем матрешки является токарь Василий П. Звездочкин (Сергиев Посад). Первая фигурка была нелепа по исполнению, и требовала доработок. Название этой русской игрушки восходит к женскому имени собственному Матрёна или Матрона. От Матроны появилось уменьшительно-ласкательное – Матрёшка. Имя Матрона пришло к нам из латинского языка (Матри, с др.-инд. «мать», ближе к санскриту), – в индуистской культуре это божественные матери, олицетворяющие силы природы.

Образ матрешки стал символом жизни, материнства и плодородия. Фигурки деревянных кукол означают маленьких детей, продолжение рода.

Сложность технологического процесса изготовления матрешки заключается в тщательной и многолетней подготовке древесины: используют мягкие породы - липу, реже ольху или березу, которые вырубают ранней весной. Стволы очищают от коры, но обязательно оставляют кольцевые полоски коры, предотвращая от потрескивания. Сушится несколько лет при естественной вентиляции и приобретает глухой стук, который свидетельствует о готовности к токарной обработке, шлифованию, росписи и лакированию [2].

Современные матрешки порой не совсем похожи на своих прародительниц. Первоначальные матрешки были не такими яркими и выразительными - оттенки были теплыми, мягкими. Все это связано с развитием промышленности и каждый регион старался популяризовать именно свою матрешку – делая ее более красочной и яркой. Яркое, колоритное решение росписей помогало матрешкам повысить спрос. Мест, где производят и расписывают матрешек, в России великое множество. Но все же основные кустарные производства, которые имеют свой неповторимый почерк и узнаваемую манеру росписи, расположены в центральной России: в г. Семенове, г. Полхов-Майдане Нижегородской области и на севере, в г. Вятке (Киров).

Для объектов исследования и сравнения были взяты три образца матрешек: семеновская, полхов-майданская, вятская из исследуемого магазина и три аналогичных образца, полученных в дар от респондентов анкетирования. Образцы не первоначальные. Каждая из них имеет свои ярко выраженные отличительные черты.

Семеновская матрешка.

По данным историков в 1924 г. семеновская матрешка обрела свою самобытность и уникальную стилистику, разительно отличающую ее от конкурентов. Отличительными признаками ее являлись следующие данные: точеная, мягкая линия головы плавно перетекает в покатые плечи, книзу ее форма сужается. Фигуры старательно прошкуривают, загрунтовывают картофельным клейстером и просушивают. Художники расписывали матрешку анилиновыми красками, затем ее лакировали. В подделках часто используют гуашь и прием «двойной мазок». Для начала они наносили тонкой кистью лицо куклы, а потом изображали ее одежду.

Для семеновской росписи матрешки с момента ее создания характерны: большой объем не закрашенного дерева; фартук, на котором изображены крупные цветы, чаще розы, но встречаются ромашки и незабудки; цветы изображали в плоской форме; красный, синий и желтые – цветовые доминанты; асимметрия расположения букета на фартуке с небольшим смещением вправо, черные волосы на пробор, яркие щечки поставленные тычком, брови дугой. Руки опущены по бокам (рис. 1 а) [3]. В связи с реорганизацией семеновских артелей после 1954 года матрешки заулыбались, губы стали ярче, но по-прежнему небольшие, более выразительными стали большие глаза, сохранился цвет волос (рис. 1 б) [4]. Изменилась и техника росписи. В первую очередь рисовали чёрной тушью контур: лицо, руки, платок, завязанный узелком под подбородком, потом раскрашивали. Такое прорисовывание контура называется «навodka». Яркое, колоритное решение семеновской росписи помогало матрешкам повысить покупательский спрос. За свои сто лет облик семеновской матрешки не раз изменялся: от суровых форм, сдержанной цветовой гаммы и строгого лица первой половины XX-го века до утонченного силуэта с многоцветным букетом, задорным румянцем и милой улыбкой к концу XX. На рис.1 в представлена матрешка, выполненная в 2023 году, глаза стали более выразительными с ресничками.



Рис.1. Эволюция Семёновской матрешки
 а) Одна из первых матрешек; б) с 1950-х годов; в) с 2023 года

В качестве идентификации выступает и место производства Семёновской матрешки. Подлинной признается только та, которая сделана в Семенове, так как торговая марка «Семёновская матрешка» зарегистрирована как НМПТ (наименование места происхождения товара) и правообладателем является ООО «Торговый дом Семёновская роспись».

Полхов-Майданская матрешка. Точная дата, когда впервые в Полхов-Майдане узнали о матрешке и начали делать свои, узнать никак нельзя. Существуют предположения, что матрешка в это село попала после ярмарки в Сергиевом Посаде в 20-е годы XX столетия. Полхов-майданские матрешки имеют вытянутую и стройную форму. Голова плоская, шея стремительно увеличивается при переходе в туловище (рис.2 а) [3]. У некоторых матрешек сросшиеся брови были нарисованы одним галочкообразным росчерком, отчего они имели суровый вид, у других глаза были широко расставлены, что производило впечатление простодушия. Вслед за соединенными крутыми дугами бровей выводились близко посаженные глаза, часто они были неодинакового размера, рисовались две точки носа и малюсенький ротик. Такой полховская матрешка оставалась довольно долго. Позднее мастера стали делать ее более округлой и приземистой (рис.2 б) [4]. Лицо кукол, обрамленное черными кудрями, рисовалось тушью. Женщины убирали волосы под кокошник, девушки под ленты, а вокруг лица в головной убор втыкали черные, завитые штопором, как кудри, перышки селезня. Эти локоны – подлинная деталь старинного местного женского наряда. Голова покрыта платком. У более старших матрешек, как на рис.2 а, платок не завязан, а спускается по обе стороны, как у старообрядцев, раскрашивался одним цветом. На макушке обязательно крупный цветок из трёх лепестков (рис.2 б). В настоящее время цвет волос у кукол может быть любого цвета (чаще желтого, рыжего, коричневого цветов). Овал, замещающий передник, покрывался цветочной росписью, заполнялся узором из роз, шиповника, георгинов и ягод. Самый основной элемент росписи – большие цветы шиповника. Цветочный орнамент характеризовался разнообразием оттенков – малиновый, зеленый, желтый, синий, черный. Руки у полховмайданской матрешки не обозначены. Часто в указанных матрешках наблюдалась асимметрия лица, и чувствуется, что их расписывал ребенок, что, действительно, имело место. Работали полховмайданцы, как правило, дома всей семьей: дед, отец или старший брат точат игрушку, бабушка, мать и младшие дети расписывают. После вытачки форму грунтуют крахмальным клеем, контур рисунка наводят тушью (что и называется наводкой), а затем расписывают анилиновыми красителями. Основные черты самобытной полховмайданской росписи: цветы с наводкой - самобытная роза с прорисовкой тушью и раскраской анилиновыми красками. У большой матрешки 3 цветка, на следующей – 1 цветок и 2 бутона; далее 1 бутон; далее 1 листик (рис.2 в). В 30-е годы XX века в Полхов-Майдане была организована артель «Красная заря», ставшая впоследствии фабрикой, а в конце XX века – производственным объединением полховмайданская роспись, где матрешка продолжала творчески развиваться от наивной игрушки в писаную красавицу с алыми губами, розовыми щечками, черными дугами ровных бровей и большими глазами, обрамленными пушистыми ресницами. В 90-х годах произошло изменение в причёске у полховмайданских матрешек – появился на голове прямой пробор (рис.2 г).



Рис.2. Эволюция Полхов-Майданской матрешки:

а) первая матрешка; б) в 30-х годов XX столетия; в) в 50-е года XX столетия; г) в 90-е года XX столетия

Вятская матрешка. Вятская матрёшка - наиболее северная из всех традиционных российских деревянных кукол. Она сформировалась вслед за семёновской и полхов-майданской матрёшками. Одна из первых матрешек Вятской губернии Российской империи, датируемая началом XX в., хранится в фондах Кировского областного краеведческого музея. Это одиночная матрёшка с расписанной в красный цвет юбкой, синей кофтой и зеленым платком. Активное развитие промысла началось в 1937 году и матрёшек рисовали в цветном платке, сарафане на лямках и с букетом полевых цветов в руках. Матрёшки были трёхместными и расписывали их масляными красками (рис.3.а) [3].

До 1960 года в артели выпускались только два типа матрешек – 4- и 5-местные.

В 1964 году была создана в Нолинскую фабрику сувениров и появилась «матрёшка-груша» (рис.3. б).

С 1968 года на фабрике стали применять роспись матрешек анилиновыми красителями. Яркие краски существенно изменили вятскую матрёшку. Старые же образцы матрёшки в традиционной крестьянской одежде оказались невостребованными.

В 1970-х к расписному декору матрёшек стали добавлять инкрустацию из соломки, так появились матрешки, декорированные соломенными узорами. Наклеивают по сырому нитроцеллюлозному лаку на расписанную анилиновыми красками матрёшку, после покрывают масляным лаком (рис.3 в).

Соломенные узоры на матрёшках выполнены обычными и покрашенными в разные цвета геометрическими фигурами, вырезанными из соломки: ромбами, квадратами, прямоугольниками и другими. Эти частички соломки создают на изделиях, кроме цветowych решений, игру света и тени, в зависимости от расположения волокон, что придаёт изделию необычную объёмность и отличают вятские матрёшки с соложкой от любых других. Именно эти образцы положили начало новому направлению в развитии вятской матрёшки.

Вятская матрешка имеет следующие характерные черты: девушка-северянка в нарядном сарафане и красочном платке без мелких деталей, роспись в сочетании с инкрустированной соломой, тщательная прорисовка глаз с бровями и ресницами, голубые или синие глаза, плоский орнамент преобладанием зеленых, синих и красных оттенков в оформлении, грушевидное тело, светлые волосы. Все эти особенности советского периода сохранились и в современной продукции (рис.3. г).



Рис.3 Эволюция Вятской матрешки:
а) в 30-е года XX века; б) в 1964 году; в) в 1970 году; г) в настоящее время

Деревянные игрушки – это часть истории русского народа. В игрушках заложена хозяйственная, культурная жизнь, искусство и трудовая деятельность человека, в целом их отношение к окружающему миру, коллективный опыт предыдущих поколений. Игрушки подготавливают ребенка к осмысленной деятельности в семье и в обществе. Кроме внешнего облика, народная игрушка имеет внутреннее содержание. Русская кукла – матрешка, была задумана, как игрушка, способствующая освоению ребенком таких понятий как форма, цвет, количество, размер. В статье рассмотрены характерные особенности матрешки основных производителей России. К сожалению, при выборе матрешки потребитель доверяет мнению продавца, который не всегда владеет полной информацией, и редко руководствуется признаками идентификации по их распознаванию.

Список литературы

1. Ожегов С. И. Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1988. 750 с.
2. Производство настоящих русских матрёшек. URL: <https://goldengrail.ru/proizvodstvo-matreshek.html> (дата обращения: 10.04.2026)
3. Деревянные игрушки. Путеводитель по русским ремёслам. URL: <https://russianarts.online/toys/wooden-toys/> (дата обращения: 11.04.2026)
4. Государственный каталог Музейного фонда Российской Федерации. URL: <https://goskatalog.ru/portal/#/collections?q=матрешка&museumIds=1891&imageExists=null> (дата обращения: 10.04.2026)

References

1. Ozhegov, S. I. Dictionary of the Russian Language. Moscow: Russkiy Yazyk, 1988. 750 p.
2. Production of real Russian matryoshkas. URL: <https://goldengrail.ru/proizvodstvo-matreshek.html> (accessed: 10.04.2026)
3. Wooden Toys. A Guide to Russian Crafts. URL: <https://russianarts.online/toys/wooden-toys/> (accessed: 11.04.2026)
4. State Catalog of the Museum Fund of the Russian Federation. URL: <https://goskatalog.ru/portal/#/collections?q=matryoshka&museumIds=1891&imageExists=null> (accessed on 10.04.2026)

УДК 677.07

И.В. Дербин, Е.Н. Дресвянина

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ТРЕБОВАНИЙ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕ

© И.В. Дербин, Е.Н. Дресвянина, 2026

В статье представлен сравнительный анализ подходов к разработке системы требований к боевой одежде пожарного в Российской Федерации и странах Европейского союза. Рассмотрены нормативно-правовые базы двух систем — российский ГОСТ Р 53264 (актуализированная версия 2019 года) и европейский стандарт EN 469:2020. Выявлены общие принципы (многослойная конструкция, испытания на термоманекене, приоритет термической защиты) и ключевые различия. Показано, что европейский подход эволюционирует в сторону функциональной дифференциации и учета эргономики (классы защиты по тепловому излучению X1/X2, влагозащите Y1/Y2, воздухопроницаемости Z1/Z2), тогда как российский стандарт сохраняет более консервативный «барьерный» подход, делая акцент на максимальной прочности и термостойкости материалов. Отдельное внимание уделено технологической независимости Российской Федерации, развивающей собственное производство арамидных волокон, что позволяет создавать конкурентоспособные материалы. В заключении обоснована необходимость дальнейшей гармонизации стандартов с учетом национальных особенностей и условий эксплуатации.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, огнестойкие материалы, арамидные волокна, тепловая защита, термоманекен, техническое регулирование, пожарная безопасность.

I.V. Derbin, E.N. Dresvyanina

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

This article presents a comparative analysis of approaches to developing a system of requirements for firefighter protective clothing in the Russian Federation and the European Union. It examines the regulatory frameworks of the two systems—Russian GOST R 53264 (updated 2019) and European standard EN 469:2020. Common principles (multilayer construction, thermal dummy testing, and thermal protection priority) and key differences are identified. It is shown that the European approach is evolving toward functional differentiation and ergonomics (thermal radiation protection classes X1/X2, moisture protection Y1/Y2, and air permeability Z1/Z2), while the Russian standard maintains a more conservative "barrier" approach, emphasizing the maximum strength and heat resistance of materials. Particular attention is paid to the technological independence of the Russian Federation, which is developing its own production of aramid fibers, which allows it to create competitive materials. The conclusion substantiates the need for further harmonization of standards, taking into account national characteristics and operating conditions.

Боевая одежда пожарного (БОП) является критически важным элементом обеспечения безопасности личного состава при тушении пожаров. Эффективность защиты зависит от вида и свойств используемых материалов, требования к которым регламентируются нормативными документами. В настоящей статье проводится сравнительный анализ подходов к проектированию, сертификации и применению тканей для боевой одежды пожарного в Российской Федерации и странах Европейского союза.

В Европе действует система стандартов (Европейский комитет по стандартизации) [1], ключевым из которых для боевой одежды пожарного является EN 469:2020 «Protective clothing for firefighters» [2]. Дополнительно применяются EN 1486:2007 (для отражающей одежды предназначенной для специальных видов пожаротушения в условиях интенсивного теплового излучения) [3].

Формирование российской нормативной базы в области боевой одежды пожарного осуществлялось с учётом европейских подходов. Первым системообразующим документом стал НПБ 157-99 [4] где использовалась трехуровневая классификация БОП (I, II, III) по уровням защиты, основанная исключительно на отечественных подходах. В ГОСТ Р 53264-2009 [5] и последующей актуализированной версии ГОСТ Р 53264-2019 [6] классификация была пересмотрена на (БОП, СЗО ПТВ, СЗО ИТ) с учётом европейской терминологии и подходов, в предисловии которых прямо указано, что при разработке требований к материалам и конструкции, а также методов испытаний были учтены требования европейских стандартов, включая EN 469-97 [2]. Это подтверждает, что российская система стандартизации в данной

В России также внедряются межгосударственные стандарты, гармонизированные с ISO. Например, ГОСТ ISO 13506-1-2021 [7] устанавливает метод испытания специальной одежды на термоманекене при воздействии открытого пламени с тепловым потоком 84 кВт/м², а ГОСТ ISO 13506-2-2021 [8] определяет метод расчета прогнозируемых ожоговых травм кожи на основе данных, полученных при таком испытании. Это указывает на процесс гармонизации, хотя и не полный»

Однако, как отмечают российские исследователи [9], в европейских и международных стандартах существуют недостатки, которые требуют критического анализа. В частности, различия касаются методик испытаний на воздействие тепловых факторов и критериев оценки защитных свойств многослойных пакетов.

В табл.1 приведен сравнительный анализ классификационных подходов к боевой одежде пожарного.

Таблица 1. Сравнительный анализ классификационных подходов к БОП

Параметр	Российская Федерация (ГОСТ Р 53264-2019) [5]	Европейский союз (EN 469:2020) [2]
Классификация рисков	Предусмотрена градация одежды по типам и классам в зависимости от условий эксплуатации и уровня теплового воздействия	Четкое разделение на два уровня (Level 1 и Level 2) в зависимости от ожидаемой интенсивности теплового воздействия и сценария работы
Требования к материалам верха	Физико-механические: разрывная нагрузка, сопротивление раздиру, устойчивость к истиранию. Тепловые: устойчивость к тепловому потоку, открытому пламени, ограничение теплопередачи	Механические: прочность на разрыви раздир. Термические: - распространение пламени (образование отверстий, остаточное горение). - теплопередача при контакте с пламенем (HTI24) и излучением (RHTI24). - термостойкость (усадка при 180°C)
Требования к многослойному пакету	Комплексная оценка всех слоев (внешний, влагозащитный, тепловой) с проведением испытаний на термоманекене. Методика измеряет переданную тепловую энергию через многослойный пакет одежды	Аналогичный комплексный подход с оценкой всех слоев. Дополнительное требование к паропроницаемости (водяное сопротивление R_{et}) для обеспечения теплового комфорта и снижения теплового стресса

На основании табл.1, можно сделать вывод, что ключевое различие в подходах к классификации рисков между российской и европейской нормативными базами заключается в принципе разделения уровней защиты: Европа использует риск-ориентированный подход с двумя уровнями, тогда как Россия применяет многофакторную классификацию по типам, классам, категориям, видам и климатическому исполнению.

Европейский подход (EN 469:2020): риск-ориентированная двухуровневая система

EN 469:2020 [2] разделяет боевую одежду пожарного на два уровня защиты в зависимости от оценки риска и предполагаемого сценария работы (табл. 2).

Таблица 2. Классификация к БОП согласно EN 469:2020

Уровень	Сценарий применения	Требования
Level 1	Работа, связанная с наружным пожаротушением и вспомогательными операциями (тушение пожаров на открытых пространствах, поддержка основных подразделений). Не предназначен для тушения пожаров внутри зданий и сооружений, если не используется в комбинации с Level 2 или другими специализированными СИЗ.	Минимальные требования к защите от тепла и пламени (X1).
Level 2	Работа, связанная с тушением пожаров и	Повышенные

Уровень	Сценарий применения	Требования
	проведением спасательных работ внутри зданий и сооружений (наиболее высокий уровень риска) .	требования к защите от тепла и пламени (X2).

Различие между Level 1 и Level 2 ограничено требованиями к защите от тепла и пламени (показатели X1 или X2). Эти уровни защиты могут быть достигнуты как одним изделием, так и комбинацией отдельных предметов одежды.

Дополнительная маркировка EN 469:2020 включает два дополнительных класса:

– Y (Y1/Y2) – класс защиты от проникновения воды;

– Z (Z1/Z2) – класс сопротивления водяному пару (паропроницаемость).

Российский подход (ГОСТ Р 53264-2019): многофакторная система классификации

В российском стандарте классификация строится на разделении по типам СЗО (специальной защитной одежды) с градацией по классам защиты внутри каждого типа, а также по категориям, видам, климатическому исполнению и принадлежности

Таблица 3. Классификация БОП (боевой одежды пожарного) по классам защиты

Класс БОП	Категория	Воздействующий тепловой поток, кВт/м ²	Назначение
Класс 1	1-а	5,0	БОП общего назначения
	1-б	7,5; 40,0	БОП специального назначения для работы в особо сложных условиях в ограниченном пространстве
Класс 2	—	1,75	Рабочий костюм для тушения природных, ландшафтных пожаров на открытом воздухе

Согласно исследованиям ВНИИПО МЧС России от 2024 года [9], критерии оценки защиты, приведенные в зарубежных и национальных стандартах, являются адекватными, однако европейские стандарты имеют некоторые недостатки, связанные с недостаточной жесткостью требований к некоторым видам теплового воздействия – это, в первую очередь, недостаточное внимание стандарта EN 469:2020 к проблеме теплового стресса (перегрева) при физической работе в защитной одежде, а также отсутствие комплексной оценки готового изделия с учетом эргономики и взаимодействия с другим снаряжением. Стандарт хорошо защищает от внешнего огня, но слабо учитывает внутренний нагрев организма от физической работы, что критично для условий эксплуатации боевой одежды пожарного.

Стандарты EN 469:2020 и ГОСТ Р 53264-2019 устанавливают требования к эксплуатационным характеристикам боевой одежды пожарного, но не регламентируют конкретные рецептуры материалов. Анализ ассортимента сертифицированной продукции позволяет выделить следующие инженерные подходы:

В европейской практике широко используется комбинация мета-арамида и пара-арамида. Например, продукция Twin System® компании Apparel Supply Solutions имеет состав наружного слоя 82% мета-арамид и 18% Kevlar® с запатентованной обработкой Petroshield® для защиты от воды и химикатов, а также усиление Arashield® (545 г/м²) в зонах износа.

В российской практике применяются как чистые арамиды, так и смеси с FR-вискозой или огнестойким хлопком. В рамках межгосударственных испытаний фигурировали образцы с составом 75% арамида, 23% других волокон и 2% антистатика. Разработаны технологии получения огнестойкой пряжи из отечественных волокон – Русар® (параарамид) и Арселон® (полиоксадиазол), что позволяет снизить зависимость от импорта.

Как в России, так и в Европе используется оценка готового многослойного пакета БОП на термоманекене по методике ISO 13506 (в России — ГОСТ ISO 13506-1-2021 и ГОСТ ISO 13506-2-2021). При этом испытании измеряется прогнозируемая площадь ожогов (в % от поверхности тела).

Российский подход базируется на оценке времени защиты при заданных уровнях теплового потока (5,0 кВт/м², 7,5 кВт/м², 40,0 кВт/м²) с разделением на классы БОП.

Европейский подход базируется на прогнозировании площади ожогов (в % от поверхности тела) с

К примеру, в табл. 4 отображены результаты межлабораторных испытаний из ГОСТ ISO 13506-2-2021 с участием 12 лабораторий по всему миру, показали следующие результаты для различных образцов материалов и боевой одежды пожарного.

Таблица 4. Результаты межлабораторных испытаний

Образец	Состав материала	Прогнозируемая площадь ожогов (%)
A	Арамид (однослойный, 260 г/м ²)	50,3%
B	Хлопок с огнестойкой пропиткой (335 г/м ²)	53,4%
C	Модакрил/хлопок/антистатик (54/45/1%, 325 г/м ²)	65,0%
D	Боевая одежда пожарного (75% Kevlar® Tough, 23% Kevlar®, 2% антистатик; мембрана Sympatex®; флис 50% арамид / 50% FR-вискоза)	14,4%

Многослойная боевая одежда пожарного (образец D) показал значительно лучший результат (14,4% прогнозируемой площади ожогов) по сравнению с однослойными термостойкими тканями (50-65% ожогов). Это подтверждает эффективность многослойной конструкции БОП.

Результаты межлабораторных испытаний, проведенных в рамках разработки ISO 13506-2-2021:

– для боевой одежды пожарного (состав: Kevlar® Tough, мембрана Sympatex®, арамидный флис) прогнозируемая площадь ожогов составила 14,4%;

– для сравнения: однослойная арамидная ткань (260 г/м²) показала результат 50,3% ожогов.

Эти данные демонстрируют критическую важность многослойной конструкции, которая является обязательной как в российской, так и в европейской практике. Однако европейские стандарты больше внимания уделяют эргономике и тепловому комфорту (паропроницаемости), тогда как российские стандарты исторически делали акцент на максимальной прочности и термостойкости.

Исследования, проведенные, в частности, польскими специалистами (Roguski J. et al., 2016) [10], показывают, что требования как европейских, так и российских (ранее НПБ 162-02) стандартов в основном концентрируются на защите от термических факторов – теплового излучения, открытого пламени, контактного тепла. Вместе с тем существуют различия в подходах к тестированию и установлению пороговых значений тепловых параметров, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5. Сравнение требований к защитным свойствам боевой одежды пожарного

Категория защиты	Европейский подход (EN 469:2020) [2]	Российский подход (ГОСТ Р 53264-2019) [5]
Тепловое излучение	Два уровня: X1* и X2* (в зависимости от класса защиты)	Испытания по ГОСТ 12.1.044, ГОСТ Р ИСО 6941
Распространение пламени	Испытания по EN ISO 15025	Метод определения способности распространения пламени (ГОСТ Р ИСО 6941)
Механическая прочность	Разрывная нагрузка, сопротивление раздиру	Разрывные характеристики (ГОСТ 3813), раздирающая нагрузка (ГОСТ 17922)
Влагозащита	Классы Y1/Y2* (водопроницаемость)	Методы определения намокаемости (ГОСТ 8972)
Воздухопроницаемость	Классы Z1/Z2*	Методы определения паропроницаемости

Категория защиты	Европейский подход (EN 469:2020) [2]	Российский подход (ГОСТ Р 53264-2019) [5]
Химическая защита	Ограниченная (только случайные разливы)	Не распространяется (отдельные стандарты)

По данным указанным в таблице 5 выявлены различия, которые свидетельствуют о том, что, несмотря на общую цель (предотвращение термических травм), европейский стандарт EN 469:2020 [2] эволюционировал в сторону функциональной дифференциации и учета эргономики (классы защиты по теплу, влаге и воздуху). Российский ГОСТ Р 53264-2019 [5] сохраняет более консервативный, «барьерный» подход, делая акцент на подтверждении устойчивости к экстремальным воздействиям без детализации степеней защиты для промежуточных условий эксплуатации. Это не свидетельствует о преимуществе или недостатке той или иной системы, а отражает различные тактико-технические требования к организации труда пожарных в Европе и Российской Федерации.

Заключение

Сравнительный анализ показывает, что российская нормативная база в области тканей для боевой одежды пожарного (ГОСТ Р 53264-2019) изначально была гармонизирована с европейскими стандартами (EN 469:2020), однако дальнейшее развитие пошло по разным траекториям, а именно:

- сближение подходов: обе системы признают необходимость многослойной защиты и используют схожие методы испытаний (тепловой поток, термоманекен);

- различия в приоритетах: европейские стандарты (EN 469) все больше смещаются в сторону баланса между защитой и комфортом (паропроницаемость, вес), российские стандарты сохраняют более консервативные требования, отдавая приоритет максимальной прочности и термостойкости;

- технологическая независимость: Россия развивает собственное производство арамидных волокон (Русар®, Арселон (полиоксиадиазол), что позволяет создавать конкурентоспособные материалы, не уступающие по основным характеристикам западным аналогам (Kevlar®, Nomex®);

- направление развития: дальнейшая гармонизация стандартов будет идти через внедрение международных методик (ISO 13506), но с учетом национальных особенностей и условий эксплуатации.

Таким образом, можно утверждать, что дальнейшие исследования и разработки в области огнестойких материалов, таких как параарамиды, являются перспективными и необходимыми для повышения уровня защиты пожарных и улучшения их боевой готовности. Внедрение новых технологий и материалов в производство боевой одежды будет способствовать не только повышению безопасности, но и улучшению условий труда работников, что имеет важное значение для успешного выполнения задач в сфере пожарной безопасности.

Список литературы

1. CEN-CENELEC. ETUC joins work on Protective Clothing against Heat and Fire [Электронный ресурс] // CEN-CENELEC. – 2025. – Режим доступа: <https://www.cencenelec.eu/news-events/news/2025/newsletter/ots-63-6117> (дата обращения: 11.04.2026)

2. EN 469:2020 Protective clothing for firefighters — Performance requirements for protective clothing for firefighting activities [Текст] = Защитная одежда для пожарных — Эксплуатационные требования к защитной одежде для пожаротушения : европейский стандарт. — Brussels : European Committee for Standardization, 2020. — 50 p. — (CEN/TC 162).

3. EN 1486:2007 Protective clothing for fire-fighters — Test methods and requirements for reflective clothing for specialised fire-fighting [Текст]. – Brussels : CEN, 2007. – 30 p.

4. НПБ 157-99 Боевая одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 1999–10–01. – М. : ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МВД России, 2000. – 36 с.

5. ГОСТ Р 53264-2009 Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2009–05–01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 47 с.

6. ГОСТ Р 53264-2019 Техника пожарная. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2022–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 47 с.

7. ГОСТ ISO 13506-1-2021 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от кратковременного воздействия открытого пламени. Часть 1. Метод испытания специальной одежды. Измерение переданной энергии с применением манекена, оснащенного приборами [Текст]. – Введ. 2022–10–01. – М. : ФГБУ «РСТ», 2021. – 54 с.

8. ГОСТ ISO 13506-2-2021. Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Метод испытания готовых изделий на термоманекене. Ч. 2. — М.: Российский институт стандартизации, 2021.

9. Логинов В.И., Архиреев К.Э., Коренкова О.А. Требования к боевой одежде пожарного и экспериментальные методики исследований, изложенные в европейских, международных и зарубежных национальных стандартах // Актуальные вопросы пожарной безопасности. — 2019. — № 1 (1).

10. Дымов С.М., Вищекин М.В., Александров А.М., Баженов И.В. Анализ требований к защитной одежде пожарных в отечественных и зарубежных нормативных документах // Актуальные вопросы пожарной безопасности. — 2024. — Т. 22, № 4. — С. 24-31. — DOI: 10.37657/vniipo.avpb.2024.68.71.003.

11. Roguski J., Stegienko K., Kubis D., Błogowski M. Comparison of Requirements and Directions of Development of Methods for Testing Protective Clothing for Firefighting [Текст] // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2016. – Vol. 24, No. 5(119). – P. 132-136. – DOI: 10.5604/12303666.1215538

References

1. CEN-CENELEC. ETUC joins work on Protective Clothing against Heat and Fire [Electronic resource] // CEN-CENELEC. – 2025. – URL: <https://www.cencenelec.eu/news-events/news/2025/newsletter/ots-63-etuc/> (accessed: 11.04.2026).

2. EN 469:2020. Protective clothing for firefighters — Performance requirements for protective clothing for firefighting activities. – Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2020. – 50 p. – (CEN/TC 162).

3. EN 1486:2007. Protective clothing for fire-fighters — Test methods and requirements for reflective clothing for specialised fire-fighting. – Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2007. – 30 p.

4. NPB 157-99. Firefighter's battle clothing. General technical requirements. Test methods. – Effective date: 1999–10–01. – Moscow: Main Department of State Fire Service (GUGPS) and Federal State Institution All-Russian Research Institute of Fire Protection (FGU VNIIPPO) of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000. – 36 p. (In Russian)

5. GOST R 53264-2009. Fire engineering. Special protective clothing for firefighters. General technical requirements. Test methods. – Effective date: 2009–05–01. – Moscow: Standartinform, 2009. – 47 p. (In Russian) [Replaced by GOST R 53264-2019]

6. GOST R 53264-2019. Fire engineering. Special protective clothing for firefighters. General technical requirements. Test methods. – Effective date: 2022–01–01. – Moscow: Standartinform, 2019. – 47 p. (In Russian)

7. ГОСТ ISO 13506-1-2021. Occupational safety standards system. Special clothing for protection against short-term exposure to open flame. Part 1. Test method for special clothing. Measurement of transferred energy using an instrumented manikin. – Effective date: 2022–10–01. – Moscow: Russian Standardization Institute (FGBNU "RST"), 2021. – 54 p. (In Russian)

8. GOST ISO 13506-2-2021. Occupational safety standards system. Clothing for protection against heat and flame. Test method for finished products using a thermal manikin. Part 2. – Moscow: Russian Standardization Institute, 2021. (In Russian)

9. Loginov, V.I., Arkhireev, K.E., Korenkova, O.A. Requirements for firefighter's protective clothing and experimental research methods outlined in European, international and foreign national standards // Current Issues of Fire Safety. – 2019. – No. 1 (1). – P. 58-68. (In Russian)

10. Dymov, S.M., Vishchekin, M.V., Alexandrov, A.M., Bazhenov, I.V. Analysis of requirements for protective clothing for firefighters in domestic and foreign regulatory documents // Current Issues of Fire Safety. – 2024. – Vol. 22, No. 4. – P. 24-31. – DOI: 10.37657/vniipo.avpb.2024.68.71.003. (In Russian)

11. Roguski, J., Stegienko, K., Kubis, D., Błogowski, M. Comparison of Requirements and Directions of Development of Methods for Testing Protective Clothing for Firefighting // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2016. – Vol. 24, No. 5(119). – P. 132-136. – DOI: 10.5604/12303666.1215538.

Научное издание

ПРОМТЕХДИЗАЙН

Естественные и технические науки

Сборник статей всероссийской научной конференции

молодых ученых с международным участием

Часть 3

Оригинал-макет подготовил А. М. Шванкин

Подписано в печать __. __. 2026 г. Формат 60×84 1/16.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 14,1. Тираж 125 экз. Заказ 173

Электронный адрес: imn_dni_nauki@sutd.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»

191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26