

На правах рукописи



ГУБАНОВ КИРИЛЛ НИКОЛАЕВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ
ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность

2.3.4. «Управление в организационных системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новокузнецк – 2026 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВО «СибГИУ»)

Научный руководитель: **Рыбенко Инна Анатольевна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладных информационных технологий и программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВО «СибГИУ»)

Официальные оппоненты: **Россихина Лариса Витальевна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий ФКОУ ВО «Ордена Трудового Красного Знамени Академии управления Министерства внутренних дел Российской Федерации», г. Москва

Новичихин Алексей Викторович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой логистики и коммерческой работы ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск

Защита состоится «11» ноября 2026 г. в 14 ч. 00 мин. в ауд. 3П на заседании диссертационного совета 24.2.401.03 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» по адресу: 654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный р-н, ул. Кирова, зд. 42. E-mail: ravesa89@yandex.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк (<http://www.sibsiu.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.401.03,
кандидат технических наук, доцент



Сеченов Павел
Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

В настоящее время одним из ключевых и капиталоемких секторов промышленности является производство металлических конструкций, широко применяемых в строительстве, машиностроении, энергетике и других отраслях.

Производственный процесс в данной сфере отличается высокой степенью сложности и многоэтапностью. Он включает разработку 3D-моделей, формирование и согласование чертежей, их архивирование и последующую передачу в производство. Каждый из этих этапов сопровождается обработкой значительных объемов данных и требует точного отслеживания их статусов, согласованности версий и актуальности информации. Состав задач, операций и порядок их выполнения персоналом не всегда регламентирован. Отсутствие жесткой регламентации порядка функционирования организационной системы приводит к информационным разрывам, к дублированию работ, потере актуальных данных и замедлению производственного цикла.

Современные программные решения, такие как Tekla Structures, AutoCAD или ERP-системы реализуют определенный функционал для отдельных стадий проектирования или учёта. Однако требуются значительные усилия по их взаимной интеграции для улучшения системы управления документооборотом.

Набирающая обороты цифровая трансформация отрасли также стимулирует разработку системных решений по управлению проектной документацией. Системный подход к управлению проектной документацией может быть эффективно реализован на основе представлений о жизненном цикле проектной документации.

Таким образом, актуальными и важными задачами институционального управления при производстве металлических конструкций является разработка структуры и содержания стадий жизненного цикла проектной документации, а также построение системы управления этим жизненным циклом.

Степень разработанности темы исследования

Методологические и теоретические основы управления организационными системами, включая разработку методов институционального, мотивационного, информационного управления и согласованных и эффективных механизмов управления проработаны в трудах В. Н. Буркова, Д. А. Новикова, А. В. Щепкина и М. В. Губко. Полученные авторами результаты составляют хорошую основу для решения большого числа практических задач.

Технологические и организационные аспекты производства металлических конструкций исследованы в работах А. А. Гореликова, Е. В. Плахотниковой, М. А. Синелюбова и других авторов. Вопросы цифровизации промышленности и перехода к сквозному информационному взаимодействию отражены в трудах М. В. Царёва и Ю. С. Андреева. Принципы структурного и имитационного моделирования производственных систем, а также вопросы автоматизации управления развиты С. Н. Григорьевым, Г. Г. Куликовым и А. И. Вальтером. Методология обработки данных и нечеткой кластеризации представлена в исследованиях Т. Т. З. Нгуена и А. Ю. Николаева.

Однако большинство существующих подходов ориентировано на локальную оптимизацию отдельных этапов – проектирования или ресурсного планирования, не обеспечивая целостности процесса. В частности, недостаточно проработанными остаются вопросы формирования структуры управления жизненным циклом проектной документации и создания механизмов унификации проектных элементов в условиях реального производства.

Также применение механизмов согласования интересов центра и агентов к задачам управления жизненным циклом проектной документации в производстве металлоконструкций практически не исследовано. Недостаточно проработаны вопросы определения локальных показателей эффективности стадий, формирования множеств допустимых альтернатив их развития и сведения задачи распределения ресурсов к вычислительно реализуемой оптимизационной модели.

Отсутствие комплексных решений, обеспечивающих сквозное сопровождение проектной документации, унификацию технологий производства проектных элементов и интеграцию CAD- и ERP-сред, сдерживает цифровую трансформацию отрасли. Это определяет актуальность исследования, направленного на разработку моделей и алгоритмов для построения эффективной системы управления документацией и унификации изделий.

Объектом исследования является процесс управления производством металлических конструкций.

Предмет исследования: система и процессы управления проектной документацией при производстве металлоконструкций, подходы и методы структурного и институционального управления, а также согласованные и эффективные механизмы управления поведением агентов в организационных системах.

Цель работы

Повышение эффективности процесса управления производством металлических конструкций за счет формирования структуры жизненного цикла проектной документации и системы управления жизненным циклом, разработки и применения согласованного и эффективного механизма инвестирования в улучшение процесса управления проектной документацией, а также посредством унификации технологии производства на основе нечеткой кластеризации производимых элементов металлоконструкций.

Задачи исследования

1. Разработать структуру жизненного цикла проектной документации для производства металлоконструкций, построить функциональную структуру системы управления жизненным циклом и разработать IDEF0-модели основных процессов стадий жизненного цикла.

2. Разработать процедуру формирования множеств унифицированных элементов металлоконструкций на основе их геометрических и технологических параметров.

3. Разработать согласованный и эффективный механизм управления инвестициями в совершенствование процесса управления проектной документацией.

4. Разработать программный комплекс, реализующий и интегрирующий предложенные проектные решения по совершенствованию процесса управления разработкой проектной документации в действующую систему управления и оценить эффективность внедрения.

Научная новизна

1. Структура жизненного цикла проектной документации и функциональная структура системы управления жизненным циклом, отличающиеся полным набором прямых и обратных связей между стадиями цикла, а также встроенными в процессы методами идентификации и верификации цифровых копий чертежей, позволяющих минимизировать количество ошибок.

2. Процедура формирования множеств унифицированных элементов металлоконструкций, отличающаяся комплексированием алгоритма нечеткой кластеризации (метод Fuzzy C-Means) с механизмом комплексной оценки (МКО) числовых, категориальных и структурных признаков и применением критерия Fuzzy Partition Coefficient для выбора оптимального числа кластеров.

3. Согласованный и эффективный механизм управления инвестициями в совершенствование процесса управления проектной документацией, отличающийся тем, что задача, решаемая агентами, представляет собой модифицированную задачу о ранце и относится к классу обратных задач управления, а задача, решаемая центром - модифицированную задачу о ранце, относящуюся к классу прямых задач управления.

Теоретическая и практическая значимость работы

Подход к описанию проектной документации на основе представлений о ее жизненном цикле позволяет получить наиболее полные и системные знания о предмете исследования. Результаты реализации этого подхода для институционального управления проектной документацией при производстве металлоконструкций составляет теоретическую ценность работы. Другими теоретическими результатами работы являются: эффективная интеграция метода нечеткой кластеризации и механизма комплексного оценивания теории управления организационными системами для формирования подмножеств унифицированных элементов изготавливаемых металлоконструкций и разработанный механизм согласованного инвестирования. Совместное применение методов и механизмов расширяет класс решаемых задач.

Практическая ценность работы состоит в эффективном решении поставленной в исследовании задачи и достижении цели исследования, а также в возможном широком тиражировании решений на предприятиях, выпускающих металлоконструкции, а также в использовании результатов в учебном процессе при подготовке специалистов в области информационных систем управления, автоматизации производственных процессов, цифрового инжиниринга и управления жизненным циклом изделий. Практическую значимость также имеет разработанный механизм управления инвестициями в совершенствование процессов жизненного цикла проектной документации, позволяющий формализовать выбор мероприятий развития, согласовать локальные и глобальные цели подсистем и обеспечить рациональное распределение ограниченных ресурсов предприятия.

Методология и методы исследования

Для достижения цели исследования и решения поставленных задач применялись подходы и методы системного анализа, методы институционального и механизмы согласованного и эффективного управления поведением персонала, методы моделирования бизнес-процессов, аппарат нечеткой математики, методы проектирования программного обеспечения, способы управления чертежами и их интеграция с 3D-моделями, а также методы тестирования для обеспечения надежности и функциональности разработанного комплекса.

Положения и результаты, выносимые на защиту

1. Структура и процессы жизненного цикла проектной документации, функциональная структура системы управления жизненным циклом.
2. Процедура формирования множеств унифицированных элементов металлоконструкций
3. Согласованный и эффективный механизм управления инвестициями в процесс управления проектной документацией.
4. Программный комплекс «SZMK», реализующий и интегрирующий разработанные проектные решения в действующую систему управления

Степень достоверности результатов. Основные результаты проведенных исследований подтверждаются их обоснованием с применением: аппарата системного анализа и функционального моделирования, методов сетевого программирования, механизмов организационного управления, натурно-экспертного и компьютерного моделирования, апробацией полученных результатов на 6 международных и всероссийских конференциях, результатами внедрении в производственную среду.

Апробация результатов. Основные результаты работы были изложены на шести научно-практических конференциях, семинарах и совещаниях различного уровня: XI Международная научно-практическая конференция (Кемерово, 2019); Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения (Новокузнецк, 2020, 2023); Всероссийская научно-практическая конференция Системы Автоматизации (в образовании, науке и производстве) (Новокузнецк, 2022, 2023, 2024).

Личный вклад автора заключается в проведении анализа подходов и способов управления жизненным циклом проектной документации в машиностроительной и строительной отраслях; разработке структуры жизненного цикла проектной документации и функциональной структуры системы управления жизненным циклом, построении IDEF0-моделей процессов стадий жизненного цикла проектной документации; комплексировании алгоритма нечеткой кластеризации Fuzzy C-Means с механизмом комплексной оценки признаков для формирования множеств унифицированных элементов металлических конструкций; разработке согласованного и эффективного механизма управления инвестициями в совершенствование процесса управления проектной документацией; проектировании и разработке программного комплекса «SZMK», реализующего функции усовершенствованных процессов жизненного цикла проектной документации и обеспечивающего интеграцию с CAD- и ERP-средами; проведении

оценки эффективности внедрения разработанного комплекса на основе сравнительного анализа производственных показателей.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.4. Управление в организационных системах: п. 3 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах»; п. 4 «Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах».

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе: 3 – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК; 6 – в сборниках всероссийских и международных конференций. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Изложена на 161 странице, содержит 34 рисунка, 16 таблиц, список литературы из 135 наименований и 9 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, степень разработанности темы исследования, сформулированы объект и предмет исследования, цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, определена степень достоверности результатов, представлены сведения об апробации результатов, указан личный вклад автора, соответствие паспорту специальности, список публикаций, описана структура и объем диссертации.

1 Анализ недостатков действующей системы управления документацией в производстве металлических конструкций, подходы и способы совершенствования системы

Анализ недостатков действующей системы управления документацией. Производство металлических конструкций представляет собой многостадийный процесс, включающий основные стадии проектирования, изготовления и контроля качества. Высокая сложность технологического цикла обусловлена разнообразием конструктивных решений, крупными габаритами изделий и необходимостью координации между подразделениями. Эти особенности формируют высокие требования к организации информационного взаимодействия, необходимого для обеспечения стабильного качества и ритмичности выпуска продукции.

В настоящее время действующая организационная система по подготовке проектной документации производства металлоконструкций ООО «СЗМК» представляет собой совокупность функционально связанных подразделений – конструкторского бюро (КБ), производственно-диспетчерского отдела (ПДО), отдела подготовки производства (ОПП) и архива, взаимодействующих на основе утвержденных норм деятельности (положений о подразделениях, должностных

инструкций и других) посредством информационного обмена и обеспечивающих преобразование требований заказчика к металлоконструкции в готовый комплект проектной документации для передачи в производство.

Анализ функционирования действующей системы показал, что применение современных инструментальных средств (систем автоматизированного проектирования Tekla Structures и планирования ресурсов 1С:ERP) не обеспечивает эффективного управления изменениями и перемещениями проектной документации. Порядок движения документов по подразделениям, изменение документов регламентируются отдельными локальными нормативными актами организации («Закрытие заказа», «Контроль качества процесса Моделирование» и др.), не охватывающими существенное множество операций с документами (прежде всего выполняемых персоналом вручную). В результате не обеспечивается актуальность, достоверность и целостность данных. Мониторинг движения документов (814 чертежей) выявил высокую долю не регламентированных ручных операций. Средний комплект КМД включает 150–500 файлов различных форматов (DWG, PDF, NC1/DXF, Excel). При обработке заказов средней сложности фиксируется 150–180 уникальных деталей, однако до 20 % из них представляют собой конструктивные дубликаты или незначительно различающиеся элементы. Отсутствие эффективного механизма кластеризации и унификации элементов металлоконструкций приводит к необоснованному разнообразию технологических операций и маршрутов, существенно увеличивая издержки производства.

Также существенным недостатком действующей системы является отсутствие прозрачной процедуры обоснования затрат на совершенствование процессов обработки проектной документации. Решения о внедрении отдельных мероприятий принимаются фрагментарно и, как правило, не опираются на формализованную оценку их вклада в общий результат функционирования организационной системы. Вследствие этого инвестиции в развитие отдельных стадий жизненного цикла носят несогласованный характер и не обеспечивают рационального распределения ресурсов предприятия.

Из-за отсутствия регламентов для многих операций процесса обработки документов, в том числе выполняемых персоналом вручную, невозможно автоматизированное выполнение. Это обстоятельство является основной причиной высокой трудоёмкости процесса. Регламент «Закрытие заказа» содержит более 17 групп ручных проверок, включающих сверку соответствия перечня чертежей DWG/PDF, контроль заполнения Excel-ведомостей, проверку нумерации, форматов, актуальности ревизий и удаление временных файлов. Регламент «Контроль качества процесса Моделирование» описывает свыше двадцати пунктов проверки 3D-модели, включая поиск конфликтов деталей, выявление негабаритных сборок, проверку сварных швов и корректности нумерации. Кроме того, «ручная» обработка сопровождается большим количеством ошибок в документации.

Задачи и операции, реализуемые в действующем процессе обработки проектной документации представлены на рисунке 1 и включают: разработку 3D-модели, ручную проверку модели, формирование и согласование чертежей, создание ведомостей, подготовку выгрузок в 1С:ERP и архивирование.

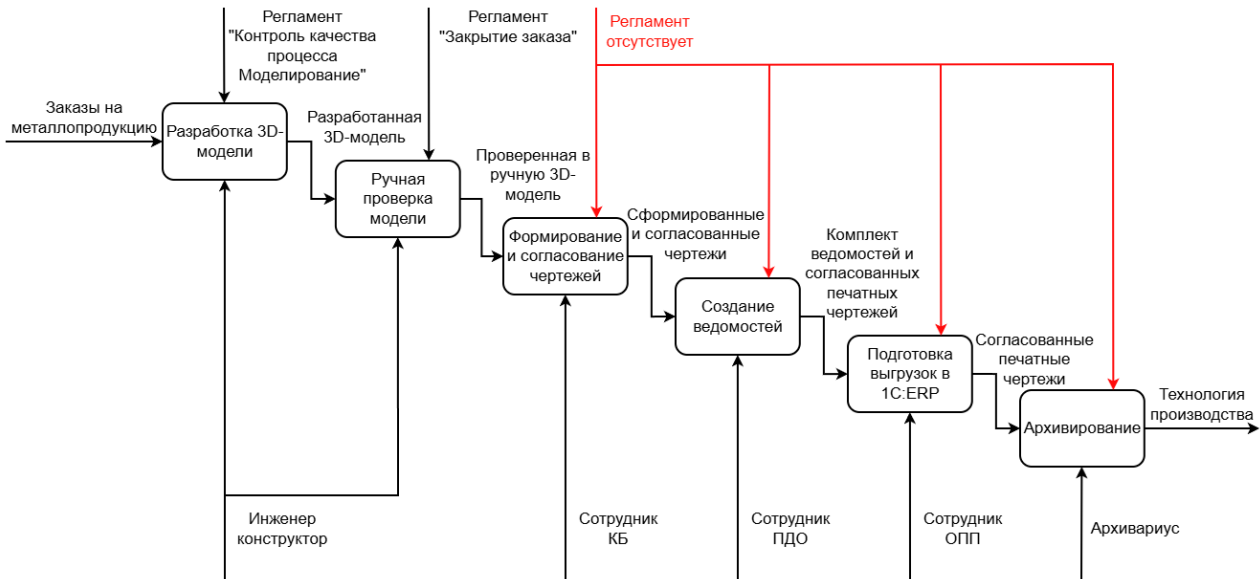


Рисунок 1 – IDEF0-модель действующего процесса формирования проектной документации

Отсутствие норм деятельности для многих задач и операций приводит к несогласованности данных между стадиями, рассинхронизации версий чертежей с моделями, расхождению хранящихся копий PDF/DWG, а также к росту числа ошибок при передаче в производство. Другим недостатком действующего процесса является фрагментарность - неполнота перечня задач и операций. В частности, в процессе отсутствуют процедуры контроля актуальности чертежей, проверки полноты выгрузки моделей, кластеризации проектных элементов и подтверждение целостности данных при передаче между исполнителями. Статистика инцидентов подтверждает, что разрывы в контуре управления возникают в точках перехода ответственности: конструктор пропускает марки при выгрузке, а диспетчер ПДО не фиксирует отклонения в номенклатуре из-за отсутствия инструментов автоматического аудита данных. Это приводит к тому, что до 32% заказов имеют нарушения сроков прохождения этапов.

Таким образом, к основным недостаткам действующей системы управления проектной документации следует отнести:

1. Неполноту состава задач и операций и неполную регламентацию процесса обработки проектной документации.
2. Избыточное многообразие используемых технологических операций и технологических схем обработки элементов металлоконструкций.
3. Отсутствие системы управления процессом обработки проектной документации, цель которой состоит в преобразовании параметров элементов заказанной металлоконструкции в унифицированную технологию их производства.
4. Большая трудоемкость процесса обработки проектной документации и значительное число ошибок при выполнении «ручных» операций.
5. Отсутствие формализованного механизма обоснования и распределения затрат на совершенствование процессов обработки проектной документации.

Подходы и способы совершенствования действующей системы. В соответствии с предлагаемой в теории управления организационными системами

классификацией методов (видов) управления первый недостаток действующей системы может быть устранен на основе применения методов институционального управления. Полнота состава задач и операций может быть обеспечена за счет применения одного из наиболее эффективных подходов системного анализа к исследованию структуры организационной системы – на основе изучения и регламентации жизненного цикла процесса обработки проектной документации (определения последовательности этапов и состава задач этапов обработки).

Избыточное многообразие технологических операций и технологических схем обработки элементов металлоконструкций может быть преодолено посредством разработки метода унификации используемых технологических операций, который должен включать процедуру построения обобщенного показателя, описывающего величину отличия различных элементов металлоконструкций, и процедуру нечеткой кластеризации элементов на основе значений этого показателя.

Создание унифицированных технологий производства металлоконструкций и поддержание технологий в актуальном состоянии возможно посредством разработки функциональной структуры системы управления, управляемой системой в которой является жизненный цикл обработки проектной документации.

Снижение трудоемкости и количества ошибок при функционировании процесса обработки проектной документации достигается автоматизацией «ручных» операций на основе регламентации действий по их выполнению и написания ПО, реализующего функции регламентированных операций.

Таким образом, изложенный перечень подлежащих решению в диссертационном исследовании задач направлен на достижение цели исследования - повышение эффективности процесса управления производством металлических конструкций за счет формирования структуры жизненного цикла проектной документации и системы управления жизненным циклом, разработки и применения согласованного и эффективного механизма инвестирования в улучшение процесса управления проектной документацией, а также посредством унификации технологии производства на основе нечеткой кластеризации производимых элементов металлоконструкций.

2 Структурные модели и алгоритмы управления жизненным циклом проектной документации

Структуризация жизненного цикла проектной документации. На основе представлений о действующем процессе формирования проектной документации (рисунок 1), выявленных недостатках процесса, общих представлений о понятии «жизненный цикл» и целевого назначения жизненного цикла проектной документации, состоящего в создании и поддержании в актуальном состоянии унифицированных технологий производства элементов металлоконструкций, автором предложена структура жизненного цикла проектной документации, представленная на рисунке 2.

Предложенная структура жизненного цикла проектной документации описывает последовательность этапов и формат проектных документов, передаваемых текущим этапом на следующий этап жизненного цикла.



Рисунок 2 – Структура жизненного цикла проектной документации

Для снижения влияния ручных действий и устранения ошибок, возникающих вследствие несогласованности или неполноты данных, каждая стадия жизненного цикла включает набор автоматизированных процедур контроля, ориентированных на проверку ключевых характеристик проектной информации. На этапе проектирования 3D-моделей осуществляется формирование исходной цифровой модели изделия. При этом проводится верификация геометрических зависимостей и атрибутивной согласованности элементов, обеспечивая корректность базовых данных. На стадии кластеризации проектных элементов производится структурное упорядочение и унификация составных частей на основе исходной цифровой модели. При формировании и согласовании чертежей, осуществляется подготовка графической документации на основе актуальной модели и её согласование с ответственными лицами. Обеспечивается соответствие графической документации цифровой модели и согласованность используемых обозначений. На последующих стадиях оцифровки чертежей происходит преобразование согласованных документов в электронный формат, что создаёт основу для их долговременного использования. Контролируется полнота комплекта, корректность цифровых копий и их сопоставимость с исходными данными. Завершающая стадия хранения и утилизации отвечает за поддержание целостности цифрового хранилища проектной документации, фиксацию её актуальных версий и регламентированное исключение устаревших данных.

Все участники процесса работают с актуальными версиями документов. Механизм управления версиями документов обеспечивает прослеживаемость модификаций, автоматическую фиксацию изменений и уведомление смежных исполнителей о появлении новых версий документов. Детальное описание основных процессов стадий жизненного цикла проектной документации дано в тексте диссертации в виде соответствующих IDEF0-моделей.

Структуризация системы управления жизненным циклом. На основе построенной структуры жизненного цикла проектной документации была разработана функциональная структура управления жизненным циклом проектной документации, представленная на рисунке 3.

Каждая стадия жизненного цикла является управляемой системой подсистемы управления этой стадией. Прямая связь описывает выходное воздействие подсистемы управления отдельной стадией, которая, в тоже время, представляет собой входное воздействие для подсистемы управления следующей стадией.

Обратные связи обеспечивают взаимодействие каждой из стадий со всеми ей предшествующими стадиями и обеспечивают возможность каждой стадии улучшать свою деятельность за счет инициации необходимых для нее изменений в деятельности предыдущих стадий.

В действующей системе управления проектной документацией отдельные операции выполняются в разных средах и по несогласованным правилам, что приводит к потере актуальных чертежей и дублированию действий исполнителей. Обратные связи обеспечивает сквозную связь процессов стадий, где механизм управления версиями, фиксации изменений и стандартизированного информационного обмена встроен в логику работы всех подсистем. Такой подход создаёт условия для согласованности принимаемых решений, снижает вероятность расхождений в данных и обеспечивает оперативный контроль достижения целевых показателей, что является критически важным для повышения эффективности организационной системы.

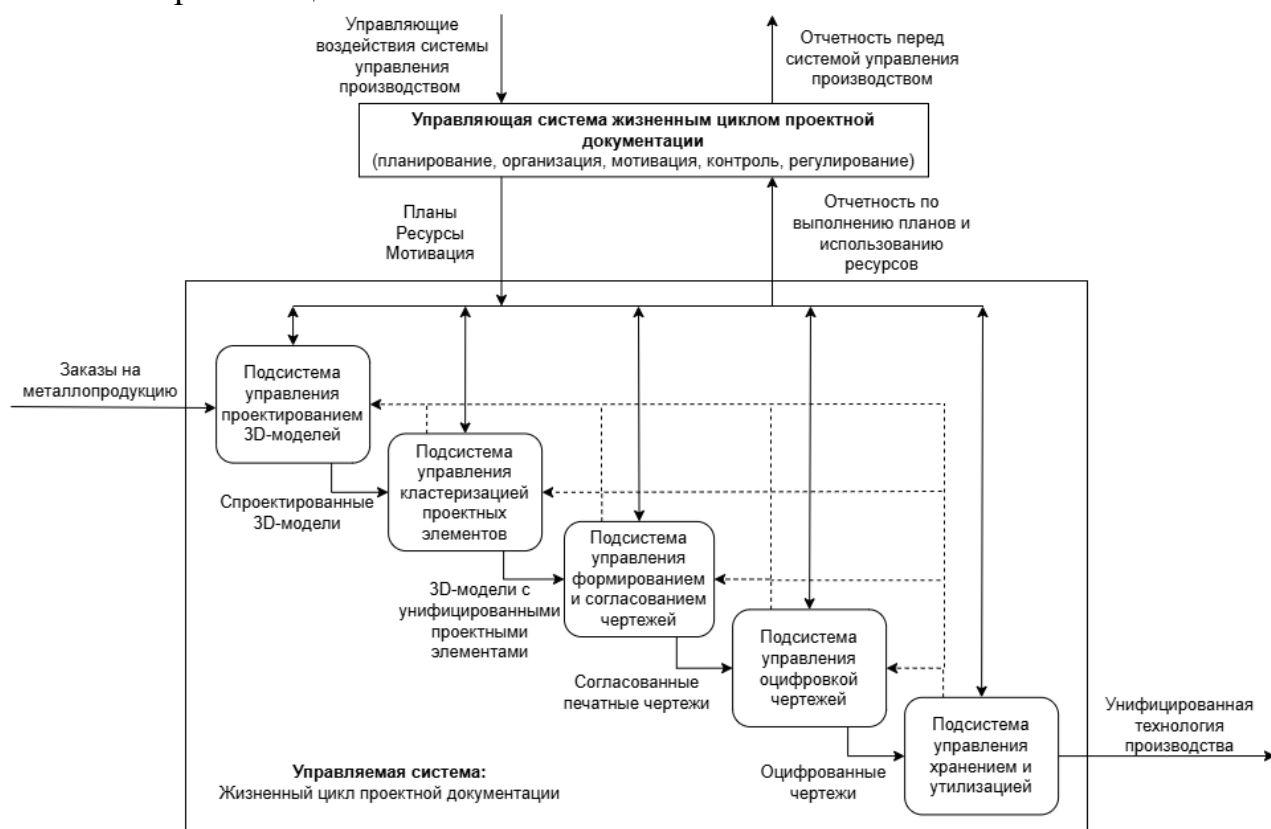


Рисунок 3 – Функциональная структура системы управления жизненным циклом проектной документации

Унификация технологий производства элементов металлоконструкций. Под унифицированной технологией будем понимать общую технологическую схему производства для элементов металлоконструкций, принадлежащих од-

ному классу. Для формирования и поддержания в актуальном состоянии множества унифицированных технологий разработан и реализован комплексный механизм управления, который включает следующую последовательность шагов:

1. Определение перечня локальных показателей, описывающих элементы металлоконструкций и влияющих на технологическую схему производства для элементов, имеющих полный комплект проектной документации.

2. Построение обобщенного показателя различия элементов металлоконструкций на основе локальных показателей и по степени их влияния на технологическую схему производства.

3. Решение на основе значений обобщенного показателя различия задачи классификации элементов металлоконструкций: определение количества классов (унифицированных технологий) и принадлежности элементов к классам с одной технологической схемой производства.

4. Перед формированием проектной документации для нового элемента металлоконструкции (при обработке нового заказа) решается задача определения класса его принадлежности. При обнаружении отсутствия такого класса формируется новый класс с новой технологической схемой производства, которая актуализирует множество применяемых унифицированных технологий.

В основе построения обобщенного показателя различия элементов металлоконструкций лежит механизм комплексной оценки, нашедший широкое применение в управлении организационными системами. Детализация реализации указанных шагов осуществляется следующим образом.

При выполнении шага 1 каждый элемент металлоконструкции представляется в виде вектора разнородных признаков. Числовые показатели (геометрические размеры, масса) предварительно нормализуются, а категориальные характеристики (марка стали, тип профиля) и структурные признаки приводятся к формализованному виду, обеспечивающему их использование в рамках единого метрического пространства. Это позволяет осуществлять корректное вычисление мер различия между элементами, необходимых для реализации алгоритмов оптимизации и классификации.

На шаге 2 формируется обобщенный показатель различия элементов металлоконструкций. В отличие от простых метрик, используется квадратичная форма комбинированного расстояния между элементом x_i и центром k -го кластера v_k :

$$D^2(x_i, v_k) = \omega_1 D_{num}^2(x_i, v_k) + \omega_2 D_{cat}^2(x_i, v_k) + \omega_3 D_{str}^2(x_i, v_k), \quad (1)$$

где D_{num} – евклидово расстояние для нормализованных числовых признаков, D_{cat} – евклидово расстояние в пространстве формализованных категориальных признаков, отражающее меру технологической совместимости материалов и профилей, D_{str} – метрика структурной схожести, а $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты определяются методом экспертного ранжирования и отражают степень критичности соответствующих групп признаков для тех-

нологического процесса. Согласованность экспертных оценок проверяется с использованием коэффициента конкордации Кендалла, что обеспечивает обоснованность и воспроизводимость процедуры формирования обобщённого показателя различия.

Использование квадратичной формы комбинированного расстояния обеспечивает математическую корректность целевой функции кластеризации и позволяет учитывать разнородность признаков. Анализ альтернативных метрик (в частности, расстояний Махаланобиса, Минковского и Чебышёва) показал, что их прямое применение затруднено вследствие смешанной природы инженерных данных. Предложенный подход с предварительным формализованным представлением признаков и их взвешиванием обеспечивает необходимую интерпретируемость и устойчивость результатов.

На шаге 3 решается задача кластеризации элементов металлоконструкций с применением алгоритма нечёткой кластеризации Fuzzy C-Means (FCM). Центр кластера трактуется как виртуальный технологический эталон унифицированной технологии производства. Дробные значения координат центра по отдельным признакам интерпретируются как допустимая вариативность параметров внутри одной технологической схемы.

Минимизируется целевая функция:

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik}^m D^2(x_i, v_k), \quad (2)$$

где n – количество проектных элементов, c – количество кластеров, u_{ik} – степень принадлежности i -го элемента, x_i – вектор признаков i -го элемента, v_k – центр k -го кластера, а $m > 1$ – параметр нечёткости, регулирующий «размытость» разбиения. В соответствии с рекомендациями авторов метода и практикой применения к инженерным данным, в работе используется значение $m = 2$, обеспечивающее устойчивость решения и интерпретируемость принадлежностей.

Для выбора оптимального числа кластеров применяется критерий Fuzzy Partition Coefficient (FPC):

$$FPC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik}^2, \quad (3)$$

значения которого, близкие к единице, свидетельствуют о чёткой кластерной структуре.

Использование нечёткой кластеризации позволяет учитывать допустимые технологические отклонения параметров элементов и корректно обрабатывать пограничные случаи, при которых элемент может быть изготовлен по нескольким технологическим схемам.

На шаге 4 при обработке нового заказа и до формирования проектной документации для нового элемента x_{new} рассчитываются степени его принадлежности к существующим кластерам:

$$u_{new,k} = \left(\sum_{j=1}^c \left(\frac{D^2(x_{new}, v_k)}{D^2(x_{new}, v_j)} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right)^{-1}. \quad (4)$$

Параметры функции принадлежности и порог технологической приемлемости определяются с привлечением экспертной оценки. При отнесении элемента к существующему классу используется соответствующая унифицированная технология производства; при отсутствии класса с приемлемой степенью принадлежности формируется новый класс с новой технологической схемой, что обеспечивает актуализацию множества унифицированных технологий в процессе функционирования системы.

3 Разработка согласованного эффективного механизма инвестирования в совершенствование процессов жизненного цикла проектной документации

Описание типологии организационной системы и механизма управления. Жизненный цикл проектной документации представлен совокупностью взаимосвязанных подсистем, соответствующих отдельным стадиям, а управление их развитием организовано по схеме «инвестиционный центр – подсистемы». При этом инвестиционный центр формирует правила функционирования механизма, задаёт стратегические приоритеты и распределяет ограниченные ресурсы, тогда как подсистемы, обладая локальной информацией о собственном состоянии и внутренних резервах, формируют допустимые варианты повышения эффективности.

Предложенный механизм реализуется как замкнутый контур согласования решений и представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Механизм планирования инвестирования

На первом этапе центр формирует и доводит до подсистем механизм функционирования. На втором этапе каждая подсистема самостоятельно решает локальную задачу повышения эффективности и формирует множество допустимых вариантов развития в виде «эффективность – затраты». На третьем этапе предварительно очищенные от доминируемых решений сформированные альтернативы передаются в инвестиционный центр. На четвертом этапе центр решает задачу распределения инвестиционного бюджета между стадиями жизненного цикла с учётом их приоритетности и ресурсных ограничений. На пятом этапе выбранные

решения доводятся до подсистем и определяют состав мероприятий по совершенствованию процессов.

Определение ресурсов для усовершенствования процессов стадии. Для формального описания эффективности стадии введена система локальных показателей M_{ij} , отражающих временные, качественные и организационные характеристики соответствующих процессов. Поскольку показатели имеют различную размерность, предложена процедура их нормализации путём перевода в единую дискретную балльную шкалу. Интегральная оценка эффективности i -й стадии определяется как взвешенная сумма нормализованных показателей:

$$q_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j k_{ij}, \quad \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j = 1, \quad (5)$$

где k_{ij} – нормализованное значение j -го показателя; α_j – весовой коэффициент его значимости; n_i – количество показателей.

Весовые коэффициенты устанавливаются экспертным путём с учётом значимости отдельных аспектов функционирования подсистемы.

Повышение эффективности стадии связано с выбором целевых уровней локальных показателей.

Для формализации выбора целевых уровней нормализованных показателей введем булевы переменные управления:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если для показателя } j \text{ выбран целевой уровень } k, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (6)$$

Тогда достигаемый уровень эффективности определяется выражением:

$$q_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k_j=k_j^A}^R \alpha_j k_j x_{ij}^{k_j}, \quad (7)$$

а соответствующие затраты на реализацию мероприятий по улучшению показателей имеют вид:

$$z_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k_j=k_j^A}^R (k_j - k_j^A) z_{ij}(k_j - k_j^A), \quad (8)$$

где $z_{ij}(\cdot)$ – функция затрат, определяемая экспертным путём и отражающая ресурсную ёмкость повышения показателя; k_j^A – текущее значение нормализованного показателя, k_j – выбранный целевой уровень показателя; R – максимальное значение балльной шкалы.

Локальная задача стадии сформулирована как задача дискретной оптимизации, в которой для каждого показателя выбирается один из допустимых целевых уровней улучшения. В результате решения определяются варианты развития стадии, характеризующиеся достигаемым уровнем интегральной эффективности и необходимыми затратами. В общем виде задача подсистемы может быть представлена следующим образом:

$$\begin{cases} z_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k_j=k_j^A}^R (k_j - k_j^A) z_{ij}(k_j - k_j^A) \rightarrow \min, \\ q_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k_j=k_j^A}^R \alpha_j k_j x_{ij}^{k_j} > q_i^A, \quad q_i^A \leq q_i \leq R \\ \sum_{k_j=k_j^A}^R x_{ij}^{k_j} = 1. \end{cases} \quad (9)$$

Данная постановка имеет характер обратной задачи управления, поскольку на уровне подсистемы не задаётся жёсткое бюджетное ограничение, а восстанавливается зависимость между возможным приростом эффективности и требуемыми ресурсами. С математической точки зрения задача сведена к задаче о модифицированном ранце, в которой наполнение ранца осуществляется по одному элементу из заданных множеств элементов. Её решение осуществляется методом последовательной свёртки множеств и отсеечения доминируемых комбинаций, что позволяет сформировать для каждой стадии конечное множество Парето-оптимальных альтернатив вида (q_i^ℓ, z_i^ℓ) , отражающих компромисс между уровнем эффективности и необходимыми затратами.

Распределение ресурсов между подсистемами стадий. На вышестоящем уровне иерархии разработана модель распределения ресурсов между стадиями жизненного цикла. Каждая стадия представлена множеством альтернатив вида «эффективность – затраты», а окончательный выбор осуществляется инвестиционным центром с учётом коэффициентов приоритетности стадий β_i . Целевая функция максимизирует обобщённый показатель эффективности системы управления жизненным циклом проектной документации при ограничении на общий объём инвестиций:

$$\begin{cases} Q = \sum_{i=1}^m \sum_{\ell=1}^{\ell_i} q_i^\ell \beta_i x_i^\ell \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^m \sum_{\ell=1}^{\ell_i} z_i^\ell x_i^\ell \leq Z, \\ \sum_{\ell=1}^{\ell_i} x_i^\ell = 1, \end{cases} \quad (10)$$

где ℓ_i – количество предлагаемых подсистемой вариантов развития; q_i^ℓ – эффективность ℓ -го варианта развития i -й стадии; z_i^ℓ – объём инвестиционных затрат, необходимых для реализации данного варианта; x_i^ℓ – булева переменная, принимающая значение 1 при выборе варианта ℓ для стадии i ; Q – обобщенный показатель эффективности системы управления жизненным циклом проектной документации; Z – общий объём инвестиционных ресурсов, доступных для распределения.

Альтернативно задача может быть поставлена как минимизация затрат при достижении заданного уровня эффективности:

$$\begin{cases} C = \sum_{i=1}^m \sum_{\ell=1}^{\ell_i} z_i^\ell x_i^\ell \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^m \sum_{\ell=1}^{\ell_i} q_i^\ell \beta_i x_i^\ell \geq Q_{req}, \\ \sum_{\ell=1}^{\ell_i} x_i^\ell = 1, \end{cases} \quad (11)$$

где Q_{req} – заданный целевой уровень эффективности системы управления.

Данная задача также сводится к задаче дискретной оптимизации типа модифицированного ранца, где из множества альтернатив каждой стадии выбирается один вариант, а решение строится поэтапной агрегацией вариантов с последующим отсечением доминируемых комбинаций.

Определение затрат на улучшение показателя. Существенным элементом разработанного механизма является определение затрат на улучшение локальных показателей эффективности. Поскольку такие затраты в организационно-

управленческих процессах не могут быть получены только на основе статистических данных, предложено использовать механизм экспертного оценивания. Введены удельные коэффициенты затрат на повышение показателя на единицу балльной шкалы, отражающие ресурсную ёмкость соответствующих мероприятий. Это обеспечивает связь между экспертными представлениями о сложности совершенствования процессов и формализованными задачами оптимизации на локальном и глобальном уровнях.

4 Разработка программного комплекса для управления жизненным циклом проектной документации и унификации проектных элементов

Практическая реализация разработанных моделей выполнена в виде программного комплекса «SZMK», который выступает основным инструментом институционального управления жизненным циклом проектной документации в организационной системе предприятия.

Разработана архитектура учёта и верификации проектной документации, обеспечивающая контроль жизненного цикла чертежей. В условиях роста объёма заказов ручное сопровождение документов признано неэффективным, что потребовало создания единого механизма отслеживания и актуальности данных.

Переход от 3D-модели к чертежам сопровождается извлечением параметров из проектной модели, их сопоставлением с эталонными каталогами и проверкой корректности заполнения.

Механизм верификации выполняет пошаговую фильтрацию, включая анализ обязательных атрибутов, сравнение геометрических характеристик и выявление дублирующих элементов.

Архитектура поддерживает автоматическую обработку цифровых изображений чертежей, включающую поиск и считывание встроенных идентификаторов. Алгоритм обработки изображений выполняет предобработку, поиск области кода, построчный пиксельный проход.

Для согласования данных между проектной и производственной средой реализован модуль автоматической синхронизации с ERP-системой, работающий по асинхронной схеме с периодическим обменом статусами и фиксацией расхождений. Контроль корректности жизненного цикла документации выполняет модуль мониторинга, выявляющий пропущенные версии, нарушения последовательности и задержки обработки, с автоматическим уведомлением ответственных лиц.

Разработанная архитектура представляет собой модульную систему, обеспечивающую устранение дублирования, повышение достоверности данных и сквозное сопровождение заказов на всех стадиях формирования проектной документации (рисунок 5).

Программный комплекс «SZMK» реализован на языке C# с использованием Tekla Open API, обеспечивающего взаимодействие с 3D-моделями металлических конструкций. Разработка велась в среде Microsoft Visual Studio с использованием встроенных средств интеграции с системой контроля версий, а также инструментов профилирования и визуального проектирования пользова-

тельских интерфейсов. Интерфейс приложений адаптирован под задачи подразделений предприятия, а система валидации пользовательских действий предотвращает ошибки операторов. Архитектура комплекса построена по модульному принципу и объединяет клиентские, серверные и мобильные приложения, взаимодействующие через единую базу данных PostgreSQL и с использованием протоколов TCP/IP и HTTP.

Каждая таблица базы данных соответствует прикладному классу, что гарантирует согласованность данных. Комплекс автоматизирует производственный цикл от проектирования до архивирования и синхронизации с ERP-системой.

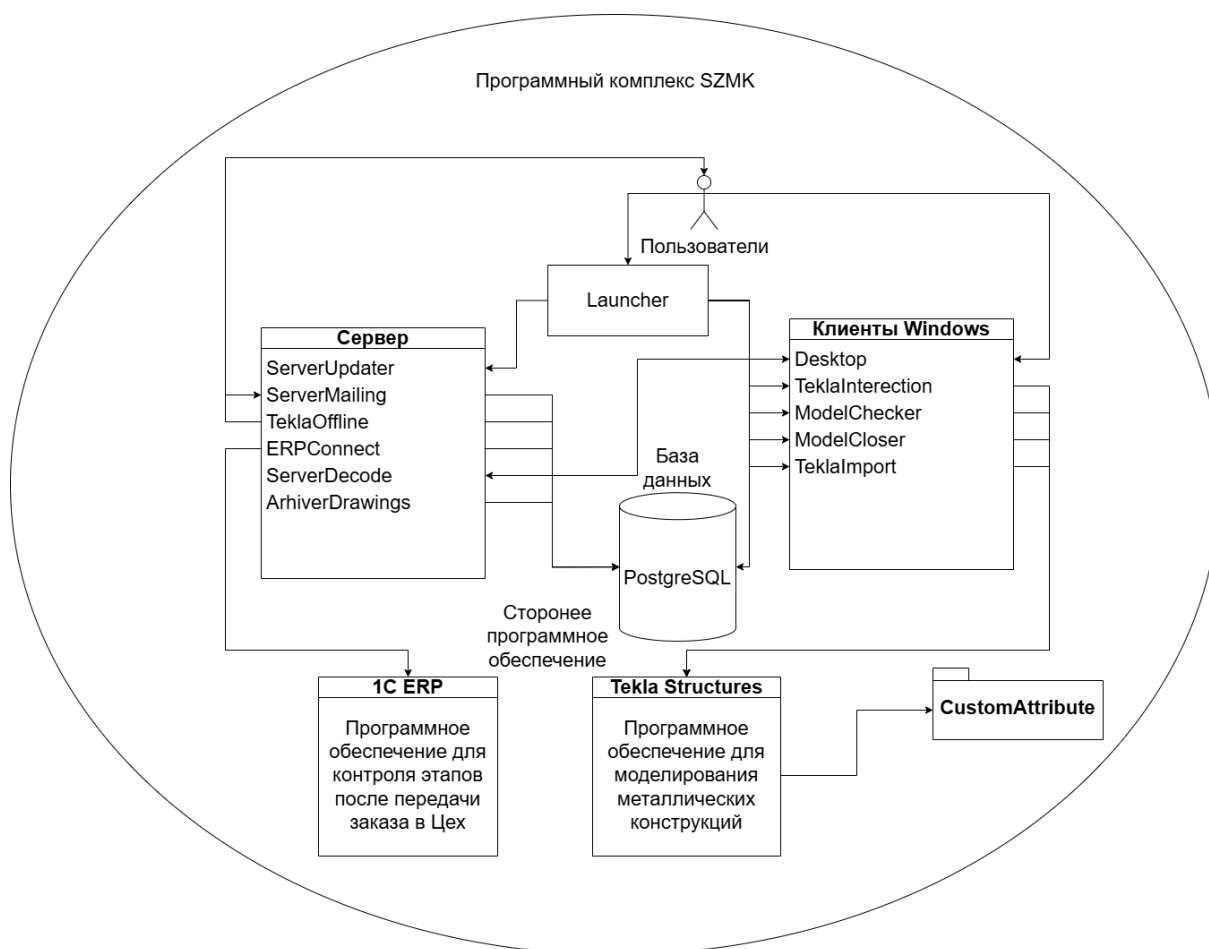


Рисунок 5 – Архитектура модулей программного комплекса «SZMK»

Основные функции распределены между модулями:

SZMK.TeklaInteraction – экспорт и верификация чертежей, контроль версий и предотвращение расхождений между PDF/DWG и 3D-моделью;

SZMK.Desktop – управление статусами, отчётность, поиск и сканирование DataMatrix-кодов с серверной расшифровкой (SZMK.ServerDecode);

SZMK.ModelChecker – автоматическая проверка 3D-моделей на соответствие стандартам и выявление ошибок унификации проектных элементов;

SZMK.ModelCloser – финальная верификация модели перед передачей в производство;

SZMK.ArhiverDrawings – архивирование неактуальных чертежей и разгрузка базы;

SZMK.ServerUpdater / SZMK.Launcher – централизованное обновление модулей;

SZMK.TeklaOffline.Scheduler – планирование фоновых задач;

SZMK.MobileScanner – мобильное сканирование DataMatrix-кодов;

SZMK.ServerMailing – уведомления о нарушениях и критических событиях;

SZMK.ERPConnect – двусторонняя синхронизация с ERP;

SZMK.TeklaImport – визуализация статусов элементов в 3D-модели;

SZMK.CustomAttribute – расчётные параметры для планирования и спецификаций.

5 Анализ эффективности внедрения программного комплекса

Практическая апробация разработанных теоретических положений осуществлена на базе ООО «СЗМК» посредством внедрения программного комплекса «SZMK».

Целью анализа является оценка результативности применения предложенных в работе механизмов институционального управления, точек контроля и комплексного оценивания. Для этого была сформирована система метрик, характеризующих эффективность управления потоками документации (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень исследуемых метрик и их интерпретация

№	Наименование метрики	Интерпретация	Тип данных
1	Среднее время от проектирования до передачи в цех	Временной интервал, охватывающий все этапы проектирования, согласования и маршрутизации	Количественная
2	Количество утерянных или повторно напечатанных чертежей	Количество случаев, когда чертеж не был найден или был воспроизведён из-за потери/ошибки	Абсолютная
3	Количество ошибок унификации проектных элементов	Число некорректно унифицированных проектных элементов	Количественная
4	Среднее количество ручных операций на один чертёж	Число ручных действий: сканирование, проверка вручную, перемещение по директориям и статусам	Количественная
5	Доля возвратов на доработку после КБ	Отношение количества возвращённых чертежей к общему числу, в процентах	Относительная
6	Процент просрочек переходов между статусами	Доля случаев, когда интервал между статусами превышает установленное нормативное значение	Относительная

Сравнительный анализ проводился на выборке из 814 чертежей в течение двух трёхмесячных периодов до и после внедрения разработанных решений. В результате автоматизации маршрутизации, контроля версий и идентификации чертежей по DataMatrix-кодам среднее время реализации заказов сократилось на 30 %, количество утерянных документов – на 45 %, а возвраты после КБ – на 40

%. Применение разработанного механизма формирования классов унифицированных элементов изготавливаемых металлоконструкций позволило снизить количество ошибок унификации проектных элементов на 70 %, что подтверждает эффективность предложенного математического аппарата. Среднее число ручных операций сократилось более чем вдвое – с 3,2 до 1,6 на чертёж, что обеспечило высвобождение около 50 % рабочего времени инженерно-технического персонала.

Автоматизация сканирования, перемещения файлов и формирования отчётности практически исключила ошибки оператора. Контроль сроков и система уведомлений снизили число просрочек более чем на 70 %, повысив прозрачность документооборота и дисциплину исполнения.

Обобщённые результаты подтверждают устойчивую положительную динамику и системный характер оптимизации процесса. Внедрение комплекса «SZMK» позволило устранить узкие места в обработке проектной документации, повысить согласованность версий и надёжность взаимодействия подразделений. Подтверждены три ключевые гипотезы исследования: автоматизация документооборота сокращает длительность цикла, верификация снижает ошибки, а нечеткая кластеризация обеспечивает унификацию и стандартизацию проектных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности процесса производства металлических конструкций, имеющая значение для развития строительной и машиностроительной отраслей. Цель исследования достигнута за счет формирования структуры жизненного цикла проектной документации и системы управления жизненным циклом, разработки и применения согласованного и эффективного механизма инвестирования в улучшение процесса управления проектной документацией, а также посредством унификации технологии производства металлоконструкций на основе нечеткой кластеризации производимых элементов.

Основные результаты исследования

1. В результате анализа действующей системы управления документацией при производстве металлических конструкций и подходов и способов, применяемых для управления проектной документацией в машиностроительной и строительной отраслях, выявлены их ключевые ограничения, связанные с фрагментарностью информационных потоков, отсутствием формализованной структуры жизненного цикла документации и недостаточной регламентацией операций и контрольных точек. На основе проведённого анализа разработана структура жизненного цикла проектной документации для производства металлических конструкций, рассматриваемая как единый объект управления и обеспечивающая сквозную прослеживаемость состояний, согласованность версий и формализацию взаимодействия между подразделениями.

2. Разработана функциональная структура системы управления жизненным циклом проектной документации, отражающая состав подсистем, их функции и информационные взаимосвязи. С применением методологии функционального моделирования разработаны IDEF0-модели основных процессов стадий жизненного цикла проектной документации, позволившие формализовать последовательность операций, точки контроля и механизмы обратной связи.

3. Разработан и применён механизм формирования классов унифицированных элементов металлических конструкций, основанный на комплексировании алгоритма нечеткой кластеризации Fuzzy C-Means с механизмом комплексной оценки числовых, категориальных и структурных признаков. Предложенный подход обеспечивает корректный учёт геометрических, технологических и конструктивных характеристик элементов, позволяет формировать группы унифицированных элементов без жёсткого задания границ классов и служит основой для унификации технологических схем производства.

4. Разработан согласованный и эффективный механизм управления инвестициями в совершенствование процесса управления проектной документацией, основанный на представлении стадий жизненного цикла в виде управляемых подсистем (агентов), формирующих множества допустимых альтернатив развития. Предложенный механизм предусматривает решение локальных задач оптимизации на уровне подсистем с последующей передачей Парето-оптимальных альтернатив в центр, где задача распределения ресурсов формализуется в виде модифицированной задачи о ранце. Особенностью подхода является отнесение задач подсистем к классу обратных задач управления, а задачи центра к классу прямых задач, что обеспечивает согласование локальных и глобальных целей и позволяет эффективно распределять ограниченные инвестиционные ресурсы.

5. Разработан и внедрён программный комплекс «SZMK», реализующий интеграцию современных программных решений по разработке проектной документации и обеспечивающий автоматизацию ключевых функций усовершенствованных процессов жизненного цикла проектной документации, включая верификацию 3D-моделей, согласование, архивирование, синхронизацию с ERP-системой и систему уведомлений ответственных лиц. Внедрение комплекса позволило сформировать единую информационную среду предприятия и обеспечить актуальность статусов проектной документации в режиме реального времени.

6. Проведена оценка эффективности внедрения программного комплекса, выполненная на основе сравнительного анализа производственных показателей до и после внедрения. Результаты оценки подтвердили сокращение средней длительности обработки заказов на 30 %, снижение количества утерянных и повторно формируемых чертежей на 45 %, уменьшение числа возвратов на доработку на 40 %, сокращение среднего количества ручных операций на один чертёж на 50 % и снижение доли просрочек переходов между статусами более чем на 70 %, что свидетельствует о повышении управляемости, дисциплины исполнения и прозрачности процессов жизненного цикла проектной документации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Губанов, К. Н. Цифровая трансформация процесса управления проектными элементами / К. Н. Губанов, И. А. Рыбенко // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 11. – С. 624-640.
2. Губанов, К. Н. Цифровизация бизнес-процесса производства металлических конструкций / К. Н. Губанов, И. А. Рыбенко // Доклады ТУСУРа. – 2025. – № 3. – С. 115-123.
3. Губанов, К. Н. Механизм согласованного распределения инвестиционных ресурсов на совершенствование процессов жизненного цикла проектной документации / К. Н. Губанов // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 4. – С. 246-264.

Публикации в других изданиях

4. Губанов, К. Н. Оптимизация бизнес-процесса анализа реализации заказа клиента в планово-диспетчерском отделе при производстве металлических конструкций / К. Н. Губанов, И. А. Рыбенко // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2024 : Труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 10–12 декабря 2024 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2024. – С. 344-346
5. Губанов, К. Н. Оптимизация бизнес-процесса проверки 3D модели, реализованной инженером-конструктором при производстве металлических конструкций / К. Н. Губанов, И. А. Рыбенко // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2023 : труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 12–14 декабря 2023 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2023. – С. 119-121.
6. Губанов, К. Н. Оптимизация бизнес-процесса архивирования чертежей при производстве металлических конструкций / К. Н. Губанов, С. Н. Калашников // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 16–17 мая 2023 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2023. – С. 158-161.
7. Губанов, К. Н. Основы алгоритмизации для разработки мобильного приложения с целью распознавания кодов Data Matrix / К. Н. Губанов, С. Н. Калашников // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 15–16 декабря 2022 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2022. – С. 382-384.
8. Ефимчик, А. А. Программное обеспечение для хранения данных в организациях с высоким уровнем конфиденциальности информации / А. А. Ефимчик, К. Н. Губанов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Ново-

кузнецк, 19–21 мая 2020 года / Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. Том Выпуск 24. Часть VI. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 60-65.

9. Ефимчик, А. А. Перспективы развития микропроцессорных систем в индустрии программного обеспечения / А. А. Ефимчик, К. Н. Губанов // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего : сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 16 мая 2019 года. Том 2. – Кемерово: Общество с ограниченной ответственностью "Западно-Сибирский научный центр", 2019. – С. 155-156. – EDN UNUCMA.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

10. Губанов К. Н. SZMK Desktop / заявители и патентообладатели: К. Н. Губанов, А. Е. Агафонов, Общество с ограниченной ответственностью "Сибирский завод металлических конструкций". – № 2024681242; заявл. 28.08.2024; опубл. 06.09.2014.

11. Губанов К. Н. SZMK TeklaInteraction / заявители и патентообладатели: К. Н. Губанов, А. Е. Агафонов, Общество с ограниченной ответственностью "Сибирский завод металлических конструкций". – № 2025660832; заявл. 17.04.2025; опубл. 28.04.2025.

12. Губанов К. Н. SZMK ModelChecker / заявители и патентообладатели: К. Н. Губанов, А. Е. Агафонов, Общество с ограниченной ответственностью "Сибирский завод металлических конструкций". – № 2025619718; заявл. 17.04.2025; опубл. 17.04.2025.

13. Губанов К. Н. SZMK TeklaOffline / заявители и патентообладатели: К. Н. Губанов, А. Е. Агафонов, Общество с ограниченной ответственностью "Сибирский завод металлических конструкций". – № 2025660833; заявл. 17.04.2025; опубл. 28.04.2025.

Подписано в печать 08.09.2026. Формат 60х90 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,25 Тираж 100 экз. Заказ № 148. Сибирский
государственный индустриальный университет 654007, г.

Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.

Издательский центр СибГИУ