

## АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

**НАБОКОВ Артем Сергеевич**, аспирант; e-mail: t3man8@yandex.ru

**БУЛАВСКИЙ Петр Евгеньевич**, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры; e-mail: bulavskiy@pgups.ru

**МАРКОВ Дмитрий Спиридонович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры; e-mail: MDS1945@yandex.ru

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

В статье исследуется процесс проектирования станционных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Представлена иерархическая структура проектной документации для линейных объектов, в которой рассмотрен раздел, посвященный системам автоматики и телемеханики в общей структуре проекта. Формализация процесса разработки технической документации станционных систем на стадии подготовки проектной документации с применением методологии BPMN-диаграмм бизнес-процессов позволила визуализировать последовательность и логику выполнения этапов, а также участников процесса проектирования. Проведенный анализ факторов, непосредственно влияющих на продолжительность проектирования, позволил предложить их классификацию, включающую четыре основные группы. На основе существующих нормативов трудозатрат на разработку проектов электрической централизации и анализа выделенных факторов предложена математическая модель целевой функции времени проектирования. Проведена экспертная оценка степени влияния различных факторов. Определен потенциал дальнейших исследований с учетом применения методологии имитационного моделирования. В перспективе данный подход позволит повысить эффективность процесса разработки технической документации, сократить сроки выполнения работ, а также создать дополнительные возможности для анализа и оптимизации процессов проектирования систем автоматики и телемеханики на железных дорогах.

**Ключевые слова:** проектирование систем автоматики и телемеханики; техническая документация; целевая функция времени проектирования; диаграмма бизнес-процессов BPMN; сроки проектирования.

DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-02-164-177

### ▼ Введение

Проектирование систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) является важнейшим этапом жизненного цикла этих систем, который обеспечивает их безопасное и надежное функционирование в процессе эксплуатации. В рамках данного этапа осуществляется разработка технической документации (ТД) СЖАТ, которая характеризуется высокой сложностью, большим количеством участников и строгими требованиями заказчика, заключающимися в необходимости достижения высокого качества документации при минимальных сроках ее разработки. Качество разрабатываемой ТД в значительной степени влияет на безопасность движения поездов.

Разработка полного комплекта проектной и рабочей документации раздела железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) для объекта железных дорог представляет собой длительный процесс, требующий согласованной работы специалистов различных отделов и учета множества влияющих факторов.

В настоящее время в данной области было проведено значительное количество исследований и разработок, направленных на повышение эффективности и качества процесса проектирования СЖАТ. Основными направлениями являются:

- развитие электронного документооборота хозяйства автоматики и телемеханики [1, 2];
- разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) [3, 4];

- применение технологии информационного моделирования для разработки ТД СЖАТ [5];
- развитие систем автоматизированной проверки ТД [6–9];
- методы оценки качества ТД [10, 11];
- кибербезопасность ТД [12];

Несмотря на значительные достижения в этих областях, вопросы оптимизации времени разработки технической документации для СЖАТ остаются малоисследованными. Существует необходимость в комплексном анализе факторов, влияющих на сроки проектирования, и разработке методов для их оптимизации.

Цель данной статьи заключается в создании метода определения времени разработки проектной документации станционных СЖАТ путем синтеза целевой функции времени проектирования.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- формализация процесса разработки проектной документации станционных СЖАТ;
- анализ состава проектной документации для раздела автоматики и телемеханики;
- анализ существующих нормативов на проектирование электрической централизации (ЭЦ);
- создание классификации факторов, влияющих на процесс разработки проекта.

В качестве исследуемого объекта проектирования выбраны станционные СЖАТ. Разработка технической документации станционных СЖАТ — сложный процесс, который является индивидуальным для каждого проекта и характеризуется большим объемом и высокой сложностью проектирования.

Также станционные системы ЭЦ имеют разнообразную классификацию:

- по виду элементной базы электрических схем;
- по способу монтажа электрических схем поста ЭЦ;
- по виду компоновки аппаратуры поста ЭЦ;
- по принципу управления напольными объектами;
- по методу обеспечения зависимостей между стрелками, светофорами и враждебными маршрутами.

Исходя из многообразия классификаций, каждый проект разработки ТД для станции является индивидуальным и обладает своим объемом работ по проектированию. Поэтому для количественной оценки объемов проектирования предлагается использовать количество проектируемых стрелочных переводов как один из ключевых параметров, влияющих на сложность путевого развития.

## 1. Структура процесса разработки проектной документации СЖАТ

Состав проектной документации для линейных объектов регламентируется постановлением Правительства РФ № 87<sup>1</sup>. В соответствии с указанным постановлением раздел, посвященный СЖАТ, входит в состав раздела 3 «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». На рис. 1 представлена иерархическая структура проектной документации.

Разрабатываемая документация разделяется на текстовую и графическую части.

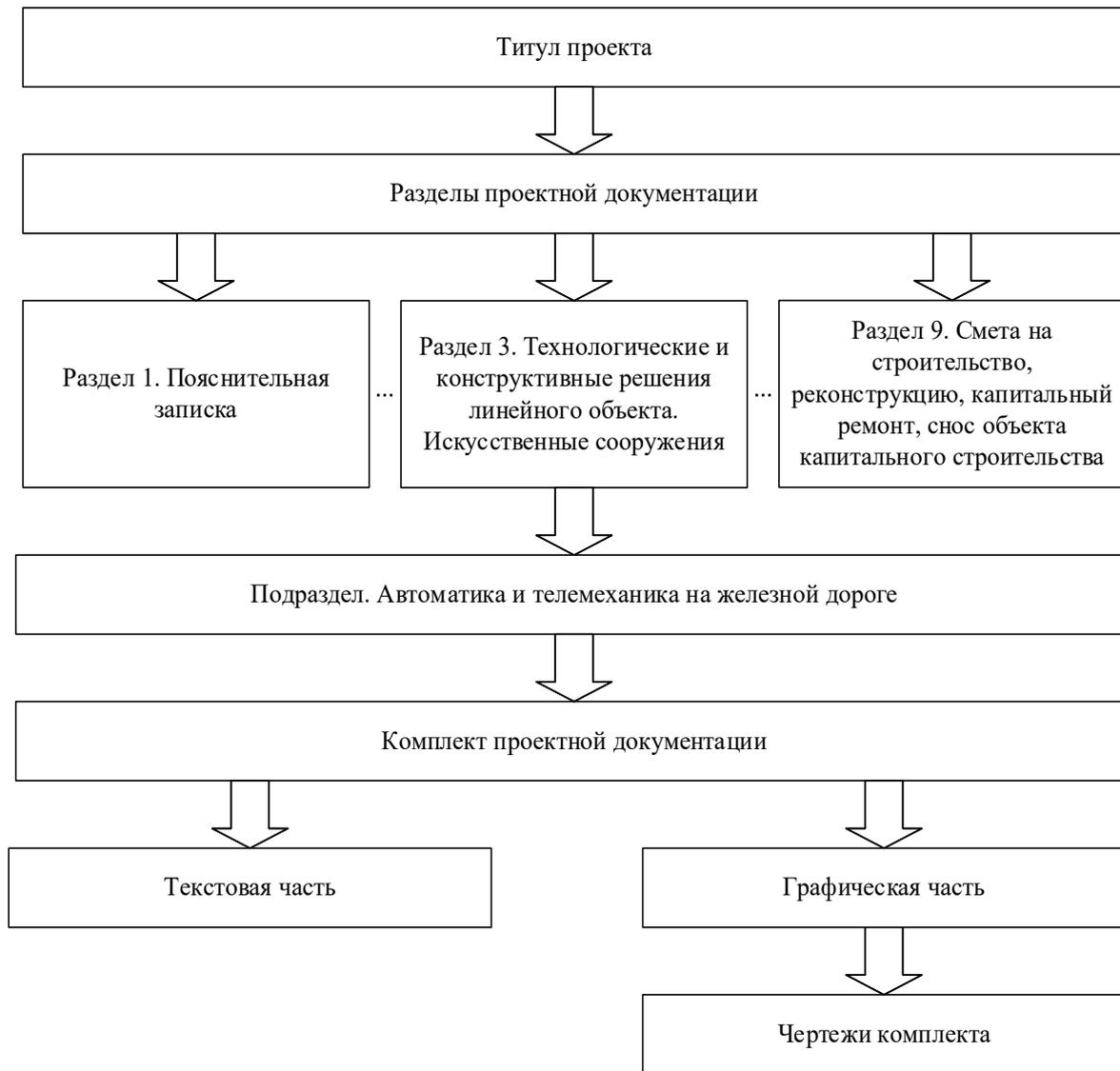
Текстовая часть комплекта состоит из пояснительной записки, которая содержит:

- введение (основание для проектирования, заказчик, цель проектирования, исходные данные);
- сведения о топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических, метеорологических и климатических условиях участка;
- существующие устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ);
- проектные решения;
- нормативная численность, состав и должностные обязанности персонала;
- мероприятия по охране окружающей среды;
- охрана труда;
- перечень нормативной литературы.

Графическая часть проектной документации для станционных СЖАТ состоит из следующих чертежей:

- схематический план с осигнализированием;

<sup>1</sup> Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 28.12.2024) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».



**Рис. 1.** Иерархическая структура проектной документации

- таблица зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах;
- двухниточный план станции;
- канализация тягового тока (при электро-тяге);
- кабельные сети стрелок;
- кабельные сети светофоров;
- кабельная сеть релейных трансформаторов;
- кабельная сеть питающих трансформаторов;
- кабельная сеть других путевых устройств;
- план трассы кабеля СЦБ;
- план расположения оборудования в посту ЭЦ (модуле).

Также на стадии ПД составляются спецификации оборудования, изделий и материалов и ведомости объемов работ.

С целью формализации и графического представления процесса разработки технической документации на станционные СЖАТ на стадии ПД предлагается использовать нотацию описания бизнес-процессов *BPMN (Business Process Model and Notation)* [13–15]. Данный метод позволяет отразить последовательность и логику выполнения процессов проектирования, а также взаимодействия между участниками проекта.

Построение диаграммы основано на анализе комплектов проектной документации и порядке ее разработки.

Разработка проектной документации начинается с получения технического задания (ТЗ) и исходных данных для проектирования. После чего осуществляется ознакомление с объектом проектирования. Далее инженеры выезжают на объект для проведения обследования, составления и согласования актов прокладки трассы кабеля и выбора мест расположения устройств ЖАТ. После оформления актов и получения решений по смежным разделам осуществляется разработка графической части проектной документации, включающей в себя подготовку чертежей. На их основе составляются спецификации оборудования, изделий и материалов и ведомости объемов работ для оценки стоимости строительства.

Завершающей стадией является прохождение государственной экспертизы, в рамках которой осуществляется проверка разработанной документации, а также процедура согласования схематического плана станции и таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах с балансодержателем объекта проектирования, после чего проектная документация передается заказчику.

Диаграмма процесса разработки ТД СЖАТ на стадии ПД представлена на рис. 2.

Диаграмма отображает основные этапы проектирования:

- получение ТЗ и исходных данных для проектирования;
- выдача заданий на проектирование;
- передача ТД между участниками процесса (смежные разделы, заказчик и др.)
- обследование объекта проектирования;
- разработка ТД;
- процедура согласования проектной документации в государственной экспертизе;
- согласование схематического плана с осигнализацией и таблицы взаимозависимостей с балансодержателем.

Проектирование СЖАТ характеризуется большим количеством участников. В диаграмме были выделены следующие участники процесса:

- отдел проектирования СЦБ;
- главный инженер проекта;
- смежные отделы;

- заказчик;
- балансодержатель объекта проектирования;
- органы государственной экспертиза.

Визуализация процесса в виде диаграммы бизнес-процесса нотации *BPMN* позволяет обозначить этапы, которые могут выполняться параллельно для сокращения времени проектирования, а также включает узлы принятия решений, демонстрирующие возможные варианты в зависимости от конкретных условий.

## **2. Анализ трудозатрат и определение факторов, влияющих на сроки проектирования ТД СЖАТ**

Для точного определения сроков разработки ТД необходимо учитывать нормативные трудозатраты на выполнение этапов проектирования. В качестве основы были использованы нормативы трудозатрат на разработку проектной документации электрической централизации<sup>2</sup>, разработанные в институте ГТСС. В табл. 1 представлены нормативные значения трудозатрат для этапов разработки ТД станционных СЖАТ на стадии ПД.

Однако помимо трудозатрат на выполнение этапов проектирования, время разработки ТД также зависит от множества факторов.

В данной работе проведен анализ факторов, влияющих на продолжительность проектирования. Под фактором понимается характеристика или условие, которое влияет на время разработки технической документации.

Классификация таких факторов представлена на рис. 3.

Выделены четыре ключевые группы факторов, оказывающие влияние на сроки выполнения проекта: технические, процессные, организационные и внешние.

### **1. Технические факторы.**

Данная группа факторов связана с характеристиками проектируемого объекта. Технические характеристики напрямую определяют объем проектных работ и, соответственно, трудозатраты на их выполнение.

<sup>2</sup> Нормативы трудозатрат на разработку проектной документации электрической централизации, ГТСС. — 1985. — 28 с.

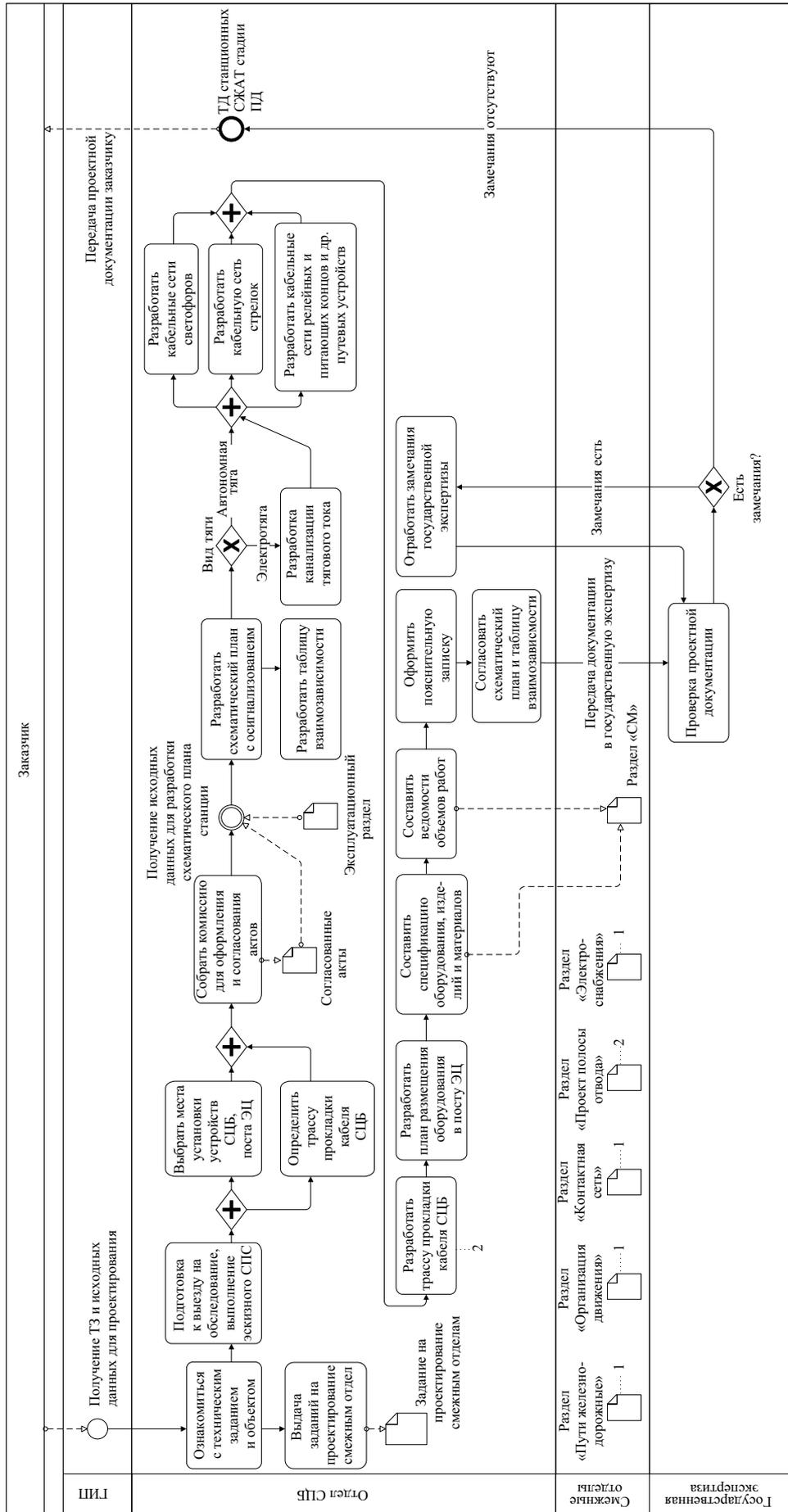
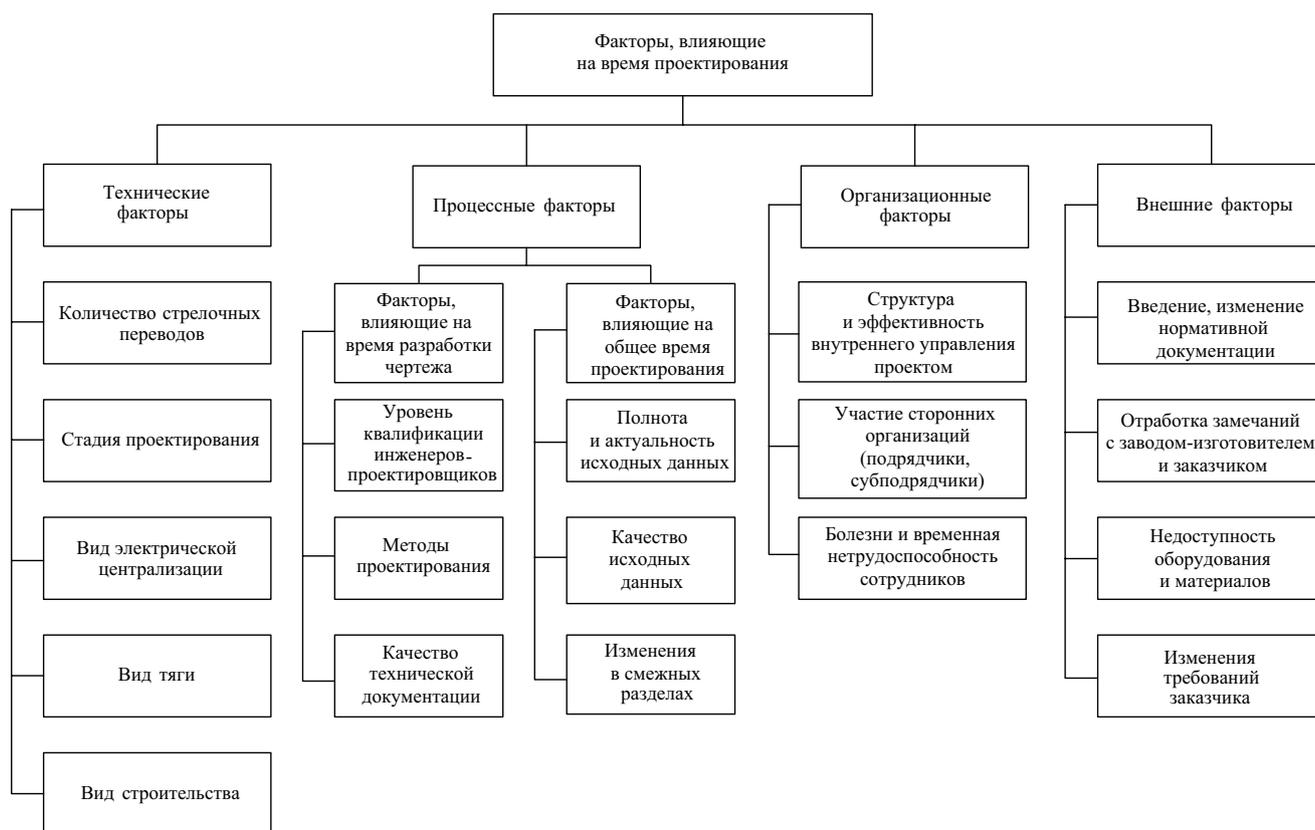


Рис. 2. VRM-диаграмма процесса разработки технической документации станционных СЖАТ на стадии ПД

**Таблица 1. Нормативы трудозатрат на разработку ТД станционных СЖАТ (стадия ПД)**

№	Наименование этапа	Измеритель	Трудозатраты, инж. дни
<i>Организационно-подготовительные мероприятия</i>			
Э1	Ознакомление с заданием	объект	2,0
Э2	Выдача заданий на проектирование	объект	2,7
<i>Обследование объекта проектирования</i>			
Э3	Подготовка к выезду на обследование, выполнение эскизного схематического плана станции	объект	3,5
Э4	Производство обследования (изучение объекта, составление актов трассы прокладки кабеля, выбор мест установки устройств)	объект	9
<i>Разработка текстовой части</i>			
Э5	Составление спецификации оборудования, изделий и материалов	объект	6,5
Э6	Составление ведомостей объемов работ	объект	4,5
Э7	Написание пояснительной записки	объект	9,5
<i>Разработка графической части (чертежей)</i>			
P1	Разработка схематического плана с осигнализированием	стрелка	0,10
P2	Разработка двухниточного плана станции	стрелка	0,12 0,14 (при электротяге)
P3	Разработка таблицы взаимозависимости стрелок, сигналов и маршрутов	стрелка	0,10
P4	Разработка канализации тягового тока	стрелка	0,04
P5	Разработка кабельной сети стрелок	стрелка	0,17
P6	Разработка кабельной сети светофоров	стрелка	0,075
P7	Разработка кабельной сети релейных и питающих концов	стрелка	0,12
P8	Разработка плана размещения оборудования на посту ЭЦ (модуле)	стрелка	0,08



**Рис. 3.** Факторы, влияющие на время проектирования

## 2. Процессные факторы.

Факторы, которые влияют на эффективность и скорость выполнения проектирования. Данная группа разделена на:

2.1. Факторы, влияющие на время разработки чертежей:

- уровень квалификации инженеров-проектировщиков. Квалификация и уровень исполнителя является важным фактором. Опытные и высококвалифицированные специалисты способны быстрее разрабатывать чертежи и принимать важные технические решения;

- методы проектирования. При применении автоматизированных способов разработки чертежей время разработки существенно уменьшается;

- качество технической документации. Низкий уровень качества приводит к трудозатратам на перепроектирование чертежей.

2.2 Факторы, влияющие на общее время проектирования:

- полнота и актуальность исходных данных. Достаточно часто предоставляемые заказчиком исходные данные оказываются неполными и неактуальными, что приводит к временным задержкам на повторный запрос и сверку исходных данных;

- качество исходных данных. При реконструкции существующих станций возникают дополнительные сложности, связанные с низким качеством исходной документации: нечитаемые, устаревшие чертежи требуют времени на актуализацию и приведение исходных данных в установленный порядок;

- изменения в смежных разделах. Разработка ТД на системы СЖАТ является весьма зависимым процессом от смежных разделов. Зачастую возникают временные задержки вследствие изменений в смежных разделах, например при корректировке путевого развития на этапе разработки схематического плана станции.

3. Организационные факторы описывают влияние внутренней структуры управления проектом, а также коммуникацию между различными участниками проекта, они включают в себя следующие факторы:

- структура и эффективность внутреннего управления проектом. Неправильно

выстроенная структура управления проектом приводит к несоблюдению технологии проектирования и вследствие этого к дополнительным трудозатратам;

- участие сторонних организаций. Привлечение к работе множества сторонних организаций приводит к временным задержкам из-за сложности в коммуникации, координации и оформлении ТД;

- болезни и временная нетрудоспособность сотрудников. В условиях ограниченного состава инженеров отсутствие ключевого специалиста может привести к задержкам сроков проектирования, что подчеркивает необходимость планирования рисков и обеспечения гибкости в распределении обязанностей внутри группы.

4. Внешние факторы включают в себя влияние обстоятельств, которые не зависят от команды проектировщиков, но оказывают значительное влияние на сроки проектирования. В их состав входят:

- введение и изменения нормативной документации. Введение новых стандартов, правил и требований могут привести к пересмотру уже разработанной проектной документации или к внесению дополнительных корректировок, что приводит к увеличению объема работ и, соответственно, увеличению времени проектирования;

- отработка замечаний с заводом-изготовителем и заказчиком. Большое количество замечаний из-за ошибок в ТД могут привести к срыву сроков проектирования;

- недоступность оборудования и материалов. В процессе проектирования могут возникать проблемы с наличием и своевременной поставкой оборудования и материалов. Если определенное оборудование недоступно на рынке, инженеры-проектировщики вынуждены искать аналоги или пересматривать технические решения проекта, что приводит к задержкам;

- изменения требований заказчика. Приводят к затратам на перепроектирование ТД вследствие изменения проектных решений.

Комплексный учет всех перечисленных факторов является необходимым условием для более точного и обоснованного прогнозирования времени проектирования.

### 3. Целевая функция времени проектирования станционных СЖАТ

Целевая функция времени проектирования проектной документации включает в себя два основных компонента, определяющих общую продолжительность выполнения проектных работ:

1. Сумма времени выполнения работ, нормируемых по объекту проектирования.

Этот компонент охватывает действия, которые выполняются для каждого объекта проектирования. Время выполнения работ регламентируется установленными нормативами трудозатрат. К таким работам относятся: разработка текстовой части, обследование и другие организационно-подготовительные работы.

2. Сумма времени выполнения работ, нормируемых по количеству стрелочных переводов.

Данный компонент напрямую связан с объемом проектирования. В контексте проектирования станционных СЖАТ основным измерителем, определяющим объем проектирования, является количество проектируемых стрелочных переводов. К данному компоненту относятся работы, связанные с разработкой графической части. Нормативное время, затрачиваемое на разработку чертежа,

рассчитывается как произведение количества стрелочных переводов на установленное нормативное время разработки чертежа, приходящееся на один стрелочный перевод.

Дополнительное влияние на процесс оказывают следующие факторы:

- качество технической документации;
- уровень квалификации инженеров-проектировщиков;
- методы проектирования.

Суммарное значение времени проектирования корректируется с учетом влияния следующих групп факторов:

- процессные;
- организационные;
- внешние.

Структура целевой функции представлена на рис. 4.

Разработка целевой функции времени проектирования направлена на решение задачи оптимизации, то есть минимизации сроков разработки технической документации. Целевая функция представляет собой математическое выражение, которое описывает время разработки проектной документации с учетом совокупности факторов, влияющих на продолжительность разработки.



Рис. 4. Структура целевой функции

Математическое описание целевой функции времени проектирования  $T_{пр}$  будет выглядеть следующим образом:

$$T_{пр} = \sum_{\Theta=1}^n (t_{\Theta}^{HP}) + (N_{стр} \cdot \sum_{P=1}^n (t_P^{HP} \cdot K_P^{инж} \cdot K_P^{ТД} \cdot K_P^{МП})) \times K_{пр} \cdot K_{орг} \cdot K_{пр}, \quad (1)$$

где  $t_{\Theta}^{HP}$  — нормативные трудозатраты на выполнение работ, нормируемые по объекту проектирования, инж. дни;

$N_{стр}$  — количество проектируемых стрелочных переводов;

$t_P^{HP}$  — нормативные трудозатраты на выполнение работ, нормируемые по количеству стрелочных переводов, инж. дни;

$K_P^{инж}$  — коэффициент влияния квалификации инженера-проектировщика на время выполнения чертежа;

$K_P^{ТД}$  — коэффициент влияния качества технической документации на время выполнения чертежа;

$K_P^{МП}$  — коэффициент влияния используемого метода проектирования на время выполнения чертежа;

$K_{пр}$  — коэффициент влияния процессных факторов;

$K_{орг}$  — коэффициент влияния организационных факторов;

$K_{вн}$  — коэффициент влияния внешних факторов.

Переменные, входящие в целевую функцию, отражают различные аспекты, влияющие на сроки проектирования. Каждая из переменных определяется как коэффициент влияния соответствующего фактора на проект.

Коэффициент влияния качества разрабатываемой документации рассчитывается по формуле:

$$K_P^{ТД} = \frac{2}{1 + k_P^{ТД}}, \quad (2)$$

где  $k_P^{ТД}$  — коэффициент качества технической документации.

Коэффициент влияния квалификации инженеров-проектировщиков на время выполнения чертежа определяется как:

$$K_P^{инж} = D_j \cdot k_P^{инж}, \quad (3)$$

где  $D_j$  — доля участия  $j$ -го инженера-проектировщика;

$k_P^{инж}$  — уровень квалификации инженера-проектировщика, выполняющего разработку чертежа.

Коэффициенты влияния процессных, организационных и внешних факторов определяются по формулам (4), (5), (6).

$$K_{пр} = k_{пи} \cdot k_{ки} \cdot k_{изм}, \quad (4)$$

где  $k_{пи}$  — коэффициент влияния полноты исходных данных;

$k_{ки}$  — коэффициент влияния качества исходных данных;

$k_{изм}$  — коэффициент влияния изменений в смежных разделах.

$$K_{орг} = k_{со} \cdot k_{б} \cdot k_{стр}, \quad (5)$$

где  $k_{со}$  — коэффициент влияния участия сторонних организаций;

$k_{б}$  — коэффициент влияния болезней и нетрудоспособности сотрудников;

$k_{стр}$  — коэффициент влияния структуры и эффективности управления проектом.

$$K_{вн} = k_{инд} \cdot k_{от} \cdot k_{ном} \cdot k_{итз}, \quad (6)$$

где  $k_{инд}$  — коэффициент влияния изменений в нормативной документации;

$k_{от}$  — коэффициент влияния отработки замечаний с заводом-изготовителем и заказчиком;

$k_{ном}$  — коэффициент влияния недоступности требуемого оборудования или материалов;

$k_{итз}$  — коэффициент влияния изменения требований заказчика.

Для того чтобы решение задачи было осуществимым, следует задать ограничения на коэффициенты влияния, отражающие, насколько фактор увеличивает или уменьшает срок проектирования. Данные диапазоны получены при помощи экспертной оценки методом непосредственной оценки [16].

**Таблица 2. Ограничения целевой функции**

Коэффициент влияния	Диапазон значений
Процессные факторы (факторы, влияющие на время разработки чертежа)	
Коэффициент влияния качества разрабатываемой технической документации на время выполнения чертежа, $K_p^{ТД}$	$1 \leq K_p^{ТД} \leq 2$
Коэффициент качества технической документации, $k_p^{ТД}$	$0,8 \leq k_p^{ТД} \leq 1$
Коэффициент влияния квалификации инженера-проектировщика на время выполнения чертежа, $K_p^{ИНЖ}$	$0,8 \leq K_p^{ИНЖ} \leq 1,25$
Коэффициент уровня квалификации инженера-проектировщика, $k_p^{ИНЖ}$	$0,8 \leq k_{инж} \leq 1,25$
Коэффициент влияния используемого метода проектирования на время выполнения чертежа, $K_p^{МП}$	$0,8 \leq K_p^{МП} \leq 1,0$
Процессные факторы (факторы, влияющие на общее время проектирования)	
Коэффициент влияния процессных факторов, $K_{пр}$	$1,0 \leq K_{пр} \leq 1,7$
Коэффициент влияния полноты исходных данных, $k_{пи}$	$1,0 \leq k_{пи} \leq 1,25$
Коэффициент влияния качества исходных данных, $k_{ки}$	$1,0 \leq k_{ки} \leq 1,15$
Коэффициент влияния изменений в смежных разделах, $k_{изм}$	$1,0 \leq k_{изм} \leq 1,18$
Организационные факторы	
Коэффициент влияния организационных факторов, $K_{орг}$	$1,0 \leq K_{орг} \leq 1,5$
Коэффициент влияния участия сторонних организаций, $k_{со}$	$1,0 \leq k_{со} \leq 1,15$
Коэффициент влияния болезней и нетрудоспособности сотрудников, $k_6$	$1,0 \leq k_6 \leq 1,08$
Коэффициент влияния структуры и эффективности управления проектом, $k_{стр}$	$1,0 \leq k_{стр} \leq 1,21$
Внешние факторы	
Коэффициент влияния внешних факторов, $K_{вн}$	$1,0 \leq K_{орг} \leq 1,59$
Коэффициент влияния изменений в нормативной документации, $k_{инд}$	$1,0 \leq k_{инд} \leq 1,15$
Коэффициент влияния отработки замечаний с заводом-изготовителем и заказчиком, $k_{от}$	$1,0 \leq k_{от} \leq 1,06$
Коэффициент влияния недоступности требуемого оборудования или материалов, $k_{ном}$	$1,0 \leq k_{ном} \leq 1,13$
Коэффициент влияния изменения требований заказчика, $k_{итз}$	$1,0 \leq k_{итз} \leq 1,16$

Ограничения целевой функции представлены в табл. 2.

Для демонстрации применения разработанной целевой функции выполним расчет времени проектирования. Расчет выполняется для вновь проектируемой железнодорожной станции с автономной тягой, оборудованной системой ЭЦ с количеством проектируемых стрелочных переводов, равным 20. Целью расчета является демонстрация возможности получения оценок времени разработки проектной документации с учетом множества выделенных влияющих факторов.

Примем следующие исходные данные для расчета (табл. 3).

Шаг 1. Определение времени выполнения работ, нормируемых по объекту проектирования.

Сумма нормативных трудозатрат на выполнение работ, нормируемых по объекту проектирования:

$$\begin{aligned} \sum_{\Theta=7}^n (t_{\Theta}^{НЭ}) &= t_{\Theta 1} + t_{\Theta 2} + t_{\Theta 3} + t_{\Theta 4} + t_{\Theta 5} + t_{\Theta 6} + t_{\Theta 7} = \\ &= 2 + 2,7 + 3,5 + 9 + 6,5 + 4,5 + 9,5 = \\ &= 37,7 \text{ инж. дни.} \end{aligned}$$

Шаг 2. Определение коэффициентов влияния уровня квалификации инженера-проектировщика и влияния качества технической документации на время разработки чертежей по формулам (2) и (3).

Для упрощения расчета примем, что каждый чертеж разрабатывает один сотрудник, таким образом,  $k_p^{ИНЖ} = K_p^{ИНЖ}$ .

**Таблица 3. Исходные данные для расчета времени проектирования**

Вид исходных данных	Обозначение	Значение
Количество стрелочных переводов	$N_{стр}$	20
Количество работ, нормируемых по объекту проектирования	$\Theta$	7
Количество работ, нормируемых по количеству стрелочных переводов	$P$	7
Уровень квалификации инженера-проектировщика	$k_{P1}^{инж}$	0,8
	$k_{P2}^{инж}$	1,0
	$k_{P3}^{инж}$	0,8
	$k_{P5}^{инж}$	0,8
	$k_{P6}^{инж}$	1,0
	$k_{P7}^{инж}$	1,0
	$k_{P8}^{инж}$	0,8
	Коэффициент качества технической документации	$k_{P1}^{ТД}$
$k_{P2}^{ТД}$		0,85
$k_{P3}^{ТД}$		0,5
$k_{P5}^{ТД}$		0,7
$k_{P6}^{ТД}$		0,8
$k_{P7}^{ТД}$		0,65
$k_{P8}^{ТД}$		0,9
Коэффициент используемого метода проектирования		$k_{P1}^{мп}$
	$k_{P2}^{мп}$	0,8
	$k_{P3}^{мп}$	0,9
	$k_{P5}^{мп}$	1,0
	$k_{P6}^{мп}$	1,0
	$k_{P7}^{мп}$	1,0
	$k_{P8}^{мп}$	1,0
	Коэффициент влияния полноты исходных данных	$k_{пи}$
Коэффициент влияния качества исходных данных	$k_{ки}$	1,10
Коэффициент влияния изменений в смежных разделах	$k_{изм}$	1,05
Коэффициент влияния участия сторонних организаций	$k_{со}$	1,0
Коэффициент влияния болезней и нетрудоспособности сотрудников	$k_{б}$	1,03
Коэффициент влияния структуры и эффективности управления проектом	$k_{стр}$	1,10
Коэффициент влияния изменений в нормативной документации	$k_{инд}$	1,0
Коэффициент влияния отработки замечаний с заводом-изготовителем и заказчиком	$k_{от}$	1,0
Коэффициент влияния недоступности требуемого оборудования или материалов	$k_{ном}$	1,0
Коэффициент влияния изменения требований заказчика	$k_{итз}$	1,1

Коэффициенты влияния качества ТД:

$$K_{P1}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,5} = 1,3.$$

$$K_{P2}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,85} = 1,08.$$

$$K_{P3}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,5} = 1,3.$$

$$K_{P5}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,7} = 1,17.$$

$$K_{P6}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,8} = 1,1.$$

$$K_{P7}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,65} = 1,21.$$

$$K_{P8}^{ТД} = \frac{2}{1 + 0,9} = 1,05.$$

Коэффициент  $K_{P4}^{ТД}$  пропущен по причине невыполнения чертежа Р4 (канализация тягового тока), так как он не разрабатывается при автономной тяге.

Шаг 3. Определение коэффициентов влияния процессных, организационных и внешних факторов по формулам (4), (5), (6)

$$K_{пр} = 1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 1,155;$$

$$K_{орг} = 1 \cdot 1,03 \cdot 1,10 = 1,133;$$

$$K_{вн} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,1.$$

Шаг 4. Определение времени проектирования по формуле (1)

$$\begin{aligned} T_{пр} = & 37,7 + 20 \cdot ((0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,8) + \\ & + (0,12 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 0,8) + (0,1 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,9) + \\ & + (0,17 \cdot 0,8 \cdot 1,17 \cdot 1) + (0,075 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1) + \\ & + (0,12 \cdot 1 \cdot 1,21 \cdot 1) + (0,08 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1)) \times \\ & \times 1,155 \cdot 1,133 \cdot 1,1 = 57,3 \text{ инж. дни.} \end{aligned}$$

Расчетные значения исходных данных и коэффициентов, использованные в данном примере, являются демонстрационными и выбраны произвольно для иллюстрации применения разработанной целевой функции.

Представленный расчет подтверждает возможность и целесообразность детального анализа затрат времени на проектирование и прогнозирования сроков выполнения ТД СЖАТ на основе предложенной целевой функции. Учет выявленных факторов позволяет получить более реалистичную оценку, приближенную к реальным условиям.

### Заключение

Одной из ключевых задач улучшения показателей эффективности проектной деятельности является сокращение срока разработки проектной документации. В рамках

проведенного исследования осуществлен анализ существующих нормативов по проектированию ЭЦ, а также выделены и классифицированы факторы, оказывающие существенное влияние на продолжительность проектирования.

На основе проведенного анализа процессов разработки проектной документации сформулирована целевая функция времени проектирования, учитывающая совокупность выделенных факторов. Для количественной оценки влияния каждого из факторов применена методология экспертной оценки, что позволило определить диапазоны значений коэффициентов влияния.

Приведенный пример продемонстрировал возможность применения расчета целевой функции для оценки сроков проектирования СЖАТ.

Важно отметить, что значительная часть коэффициентов влияния обладает высокой степенью неопределенности на ранних стадиях проектирования, поэтому предложенная модель ориентирована не на точное прогнозирование, а на анализ диапазонов возможных сроков при различных сценариях.

Перспективными направлениями дальнейшего использования предложенной целевой функции являются:

- адаптация к другим типам проектируемых систем: микропроцессорная централизация, автоматическая блокировка, диспетчерская централизация, диспетчерский контроль;
- формализация процесса разработки рабочей документации;
- анализ факторов, определяющих качество ТД.

Применение имитационного моделирования для исследования процессов разработки ТД может стать обоснованным шагом в рамках расширения настоящего исследования. В частности, возможна разработка имитационной модели, позволяющей:

- анализировать деятельность отдела проектирования СЖАТ;
- оценивать загрузку и распределение ресурсов;
- моделировать различные сценарии распределения ресурсов и проектов;

- оценивать возможность реализации проектов в заданные сроки при определенном количестве ресурсов;
- предоставлять рекомендации для принятия обоснованных управленческих решений для сокращения времени проектирования и повышения качества технической документации. ▲

### Список источников

1. Василенко М. Н. Перспективы развития интеллектуального электронного документооборота хозяйства железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, В. П. Бубнов, Д. В. Зуев и др. // Автоматика на транспорте. — 2018. — Т. 4. — № 1. — С. 46–65.
2. Василенко М. Н. К вопросу цифровизации ведения технической документации / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, П. А. Василенко, В. П. Пронин // Железнодорожный транспорт. — 2020. — № 10. — С. 56–62.
3. Василенко М. Н. Разработка и внедрение средств автоматизированного проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, М. А. Гордон, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика на транспорте. — 2017. — Т. 3. — № 2. — С. 250–269.
4. Robinson N. Automatic Generation and Verification of Design Specifications for Railway Signalling Applications / N. Robinson, P. Kearney, D. Tombs, D. Barney et al. // INCOSE International Symposium. — 2001. — Vol. 11. — Pp. 176–182. — DOI: 10.1002/j.2334-5837.2001.tb02290.x
5. Гордон М. А. Технологии информационного моделирования при проектировании СЦБ / М. А. Гордон, Е. В. Демидов // Автоматика, связь, информатика. — 2021. — № 9. — С. 18–20. — DOI: 10.34649/AT.2021.9.9.001.
6. Гордон М. А. Синтез программ полной функциональной проверки систем управления движения поездов на железнодорожной станции / М. А. Гордон, П. А. Василенко, Д. В. Седых // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Тринадцатой Международной конференции, Томск, 7–9 сентября 2020 года / Томский государственный университет. — Томск: Национальный исследовательский

Томский государственный университет, 2020. — С. 13–15.

7. Василенко М. Н. Принципы построения и области применения языка описания путевых объектов ЖАТ / М. Н. Василенко, Т. А. Тележенко, П. А. Василенко // Автоматика, связь, информатика. — 2020. — № 5. — С. 25–31. — DOI: 10.34649/AT.2020.5.5.005.
8. Василенко М. Н. Синтез функций безопасности систем ЭЦ на базе языка путевых объектов / М. Н. Василенко, П. А. Василенко // Автоматика, связь, информатика. — 2021. — № 5. — С. 22–25. — DOI: 10.34649/AT.2021.5.5.003.
9. Luteberget B. Efficient verification of railway infrastructure designs against standard regulations / B. Luteberget, C. Johansen // Formal Methods in System Design. — 2018. — Vol. 52(3). — Pp. 1–32. — DOI: 10.1007/s10703-017-0281-z.
10. Василенко М. Н. Ошибки в технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики и их влияние на безопасность движения поездов / М. Н. Василенко, В. П. Бубнов, П. Е. Булавский, П. А. Василенко // Автоматика на транспорте. — 2019. — Т. 5. — № 1. — С. 94–112. — DOI: 10.20295/2412-9186-2019-1-94-112.
11. Булавский П. Е. Оценка качества технической документации на системы ЖАТ / П. Е. Булавский // Автоматика, связь, информатика. — 2011. — № 8. — С. 37–39.
12. Василенко М. Н. Кибербезопасность технической документации ЖАТ / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев // Автоматика, связь, информатика. — 2015. — № 7. — С. 21–23.
13. Chinosi M. BPMN: An introduction to the standard, Computer Standards & Interfaces / M. Chinosi, A. Trombetta // Computer Standards & Interfaces. — 2012. — Vol. 34. — Iss. 1 — Pp. 124–134. — DOI: 10.1016/j.csi.2011.06.002.
14. Alves F. BPMN and Petri Nets: A Case Study of Process Optimization in a Project Engineering Company / F. Alves, R. D. Merlim, L. M. Carvalho, F. H. B. de Souza // Conference: 7th International Conference on Applied Research in Management, Economics and Accounting. — Dublin, November 2023. — DOI: 10.33422/7th.iamrea.2023.07.124.
15. Business Process Re-Engineering using BPMN: A Case Study // International Journal of Business Management and Visuals. — 2024. — Vol. 7(1). — Pp. 49–55. — URL: <https://ijbmv.com/index.php/home/article/view/92>.
16. Иванова Л. Н. Экспертные оценки в принятии управленческих решений / Л. Н. Иванова, В. Д. Луговской // Современные научные исследования и инновации. — 2020. — № 10(114). — С. 7.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2025, Vol. 11, No. 2, pp. 164–177  
DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-02-164-177

#### Analysis and Modelling of Design Processes for Railway Automatic Equipment and Remote Control Systems

##### Information about authors

**Nabokov A. S.**, Postgraduate Student. E-mail: t3man8@yandex.ru  
**Bulavsky P. E.**, Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department. E-mail: bulavskiy@pgups.ru  
**Markov D. S.**, PhD in Engineering, Associate Professor. E-mail: MDS1945@yandex.ru

“Automation and Remote Control on Railways” Department, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

**Abstract:** The article researches the process of designing railway station automation and remote control. The present paper sets out the hierarchical structure of design documentation for linear facilities. In particular, it focuses on the section devoted to automation and remote control systems within the general structure of the project. The process of design documentation development for station systems was formalized using BPMN-diagrams, a methodology of business processes. This approach enabled the visualization of the sequence and logic of stages execution, as well as the participants of the design process. The analysis of the factors directly influencing the design time allows for the proposal of their classification, including four main groups. It is proposed that a mathematical model of the target function of the design time be developed, based on the existing standards of labour costs for the development of electrical interlocking projects and the analysis of the identified factors. An expert evaluation of the various factors and their influence has been conducted and the potential for further research has been determined by the application of simulation modelling methodology. In the future, this approach will make it possible to increase the efficiency of the

process of technical documentation development, reduce the time of work execution, as well as create additional opportunities for analysis and optimization of the design processes of automation and remote control systems on railways.

**Keywords:** design of automation and remote control systems on railways; technical documentation; target function of design time; BPMN business process diagram; design time.

#### References:

1. Vasilenko M. N., Bubnov V. P., Zuev D. V. et al. Perspektivy razvitiya intellektualnogo elektronnoy dokumentatsii khozaystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Prospects for the Development of Intelligent Electronic Document Management in the Railway Automation and Telemechanics Sector]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2018, vol. 4, Iss.1, pp. 46–65. (In Russian)
2. Vasilenko M. N., Trokhov V. G., Vasilenko P. A., Pronin V. P. K voprosu tsifrovizatsii vedeniya tekhnicheskoy dokumentatsii [On the Issue of Digitalization of Technical Documentation]. *Zheleznodorozhny transport* [Railway Transport]. 2020, Iss. 10, pp. 56–62. (In Russian)
3. Vasilenko M. N., Gordon M. A., Zuev D. V., Sedykh D. V. Razrabotka i vnedreniesredstvavtomatizirovannoproyektirovaniyasistemzheleznodorozhnoyavtomatiki i telemekhaniki [Development and implementation of automated design tools for railway automation and telemetry systems]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2017, Vol. 3, Iss. 2, pp. 250–269. (In Russian)
4. Robinson N., Barney D., Kearney P., Nikandros G. et al. Automatic Generation and Verification of Design Specifications. INCOSE International Symposium, 2001, vol. 11, Iss. 1, pp. 176–182. (USA)
5. Gordon M. A., Demidov E. V. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya pri projektirovani STsB [Information modeling technologies in the design of signaling, interlocking and blocking systems]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2021, Iss. 9, pp. 18–20. (In Russian)
6. Gordon M. A., Vasilenko P. A., Sedykh D. V. Sintez program polnoy funktsionalnoy proverki sistem upravleniya dvizheniyem poezdov na zheleznodorozhnoy stantsii [Synthesis of programs for complete functional testing of train control systems at a railway station]. *Materialy XIII Mezhdunarodnoy konferentsii "Novye informatsionnye tekhnologii v issledovanii slozhnykh struktur"* [New information technologies in the study of complex structures: materials of the Thirteenth International Conference]. Tomsk: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy gosudarstvennyy universitet Publ., 2020, pp. 13–15. (In Russian)
7. Vasilenko M. N., Telezhenko T. A., Vasilenko P. A. Printsipy postroeniya i oblasti primeneniya yazyka opisaniya putevykh ob'ektov ZhAT [Principles of construction and areas of application of the language for describing railway automation system track objects]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2020, Iss. 5, pp. 25–31. (In Russian)
8. Vasilenko M. N., Vasilenko P. A. Sintez funktsiy bezopasnosti sistem ETs na baze yazyka putevykh ob'ektov [Synthesis of safety functions of electronic control systems based on the language of track objects]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2021, Iss. 5, pp. 22–25. (In Russian)
9. Luteberget B., Johansen C. Efficient Verification of Railway Infrastructure Designs Against Standard Regulations. *Formal Methods in System Design*, 2017, vol. 51, pp. 1–32. (Norway)
10. Vasilenko M. N., Bubnov V. P., Bulavsky P. E., Vasilenko P. A. Oshibki v tekhnicheskoy dokumentatsii zheleznodorozhnoy avtomatiki telemekhaniki i ikh vliyaniya bezopasnost dvizheniya poezdov [Errors in technical documentation of railway automation and telemechanics and their impact on train traffic safety]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2019, vol. 5, Iss. 1, pp. 94–112. (In Russian)
11. Bulavsky P. E. Otsenkakachestvatekhnicheskoy dokumentatsii nasistemy ZhAT [Assessment of the quality of technical documentation for railway automation and control systems]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2011, Iss. 8, pp. 37–39. (In Russian)
12. Vasilenko M.N., Zuev D.V. Kiberbezopasnost tekhnicheskoy dokumentatsii ZhAT [Cybersecurity of technical documentation of railway automation and control systems]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics]. 2015, Iss. 7, pp. 21–23. (In Russian)
13. Chinosi M., Trombetta A. BPMN: An Introduction to the Standard. *Computer Standards & Interfaces*, 2012, vol. 34, Iss. 1, pp. 124–134. (Italy)
14. Alves F., Merlim R. D., Carvalho L. M., de Souza F. H. B. BPMN and Petri Nets: A Case Study of Process Optimization in a Project Engineering Company. *Proceedings of the 7th International Conference on Applied Research in Management, Economics and Accounting*, Dublin, November 2023. (Ireland)
15. Henkinson O. Business Process Re-Engineering Using BPMN: A Case Study. *International Journal of Business, Management and Visuals*, 2024, vol. 7, Iss. 1, pp. 49–54. (UK)
16. Ivanova L. N., Lugovskoy V. D. Ekspertnye otsenki v prinyatii upravlencheskikh resheniy [Expert assessments in making management decisions]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern scientific research and innovation]. 2020, Iss. 10(114), pp. 7. (In Russian)