

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра строительных конструкций и управляемых систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ С.В. Деордиев

подпись

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

«Применение технологий информационного моделирования в деятельности  
ООО «Полюс Строй»  
08.04.01 «Строительство»  
08.04.01.14 «Промышленное и гражданское строительство»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Ст. преподаватель СКиУС О.Д. Курбаковских  
подпись, дата

Научный руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н, доцент кафедры СКиУС Е.Г. Плясунов  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ И.А. Карпов  
подпись, дата

Рецензент \_\_\_\_\_ профессор, д-р техн. наук М.С. Плешко  
подпись, дата

Красноярск 2021

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

BIM – building information modeling или технологии информационного моделирования промышленных и гражданских объектов.

CAD – Computer Aided Design – конструирование с использованием компьютерных технологий и программ

CAM – Computer Aided Modeling – подготовка процессов производства с использованием систем компьютерного моделирования, которая реализована в программных пакетах, генерирующих код для станков с числовым программным управлением

PDM – Product Data Management – обеспечение единого информационного пространства между различными производственными подразделениями, призванное оптимизировать общее управление производством.

CAE – Computer Aided Engineering – выполнение инженерных расчётов с использованием компьютерных программ

АО – Акционерное Общество

АС – автоматизированная система

БД – база данных

ВЛ – высоковольтная линия

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

ГОК – горно-обогатительный комбинат

ГОСТ – государственный стандарт

ДНС – дожимная насосная станция

ЖЦ – жизненный цикл

КИП и А – контрольно-измерительные приборы и аппаратура

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ПК – персональный компьютер

ПО – программное обеспечение

РФ – Российская Федерация

ООО – Общество с ограниченной ответственностью

ОС – операционная система

САПР – система автоматизированного проектирования

ТПП – технологическая подготовка производства

ТЭО – технико-экономическое обоснование

УПН – установка подготовки нефти

УПСВ – установка предварительного сброса воды

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	<b>2</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1 АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Цифровая модель проектируемого сооружения – как основа BIM-технологий 10	
1.2 Обзор основных программных комплексов для создания цифровой модели здания .....	18
1.3 Анализ эффективности использования программных комплексов на разных стадиях проектирования .....	29
1.4 Оценка качества взаимодействия ПО между собой и с пользователем .....	34
<b>2 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ООО «ПОЛЮС СТРОЙ»....</b>	<b>40</b>
2.1 Краткие сведения о предприятии .....	40
2.2 Деятельность предприятия в области строительства зданий и сооружений. Перспективы развития цифровых технологий на предприятии.....	46
2.3 Анализ экономической эффективности применения информационного моделирования при проектировании и строительстве зданий на базе ООО «Полюс Строй».....	52
2.4 Оценка коллизий и проблемы цифровых моделей.....	63
<b>3 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ.....</b>	<b>71</b>
3.1 Исследование типовых ошибок, возникающих при создании цифровой модели ..	71
3.2 Проблемы совместной работы с моделью здания.....	87
3.3 Составление комплекса рекомендаций по повышению эффективности проектирования зданий и сооружений с использованием BIM-технологий .....	89
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>96</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>99</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа по теме «Применение технологий информационного моделирования в деятельности ООО «Полус Строй» содержит 104 страницы текстового документа, 48 использованных источников.

**Актуальностью диссертационной работы** стали изменения, внесенные в Градостроительный кодекс в июне этого года, ввели такие понятия, как информационная модель, цифровая архитектура, управление жизненным циклом объекта, формирование и ведение классификатора строительной информации. Эти новшества требуют внедрение BIM-технологий и делают необходимым переход к цифровому двойнику здания или сооружения. Что в свою очередь, требует качественного изменения организационных и технологических подходов при создании города будущего. Процесс информационного моделирования на любом этапе работы с объектом должен подчиняться общему принципу согласованного моделирования, означающему необходимость единого (согласованного) подхода к работе над всем проектом.

В связи с этим, требуется качественное изменение организационных и технических подходов при создании города будущего. Процесс информационного моделирования на любом этапе работы с объектом должен подчиняться общему принципу согласованного моделирования, означающему необходимость единого (согласованного) подхода к работе над всем проектом.

**Объект исследования:** Процессы и результаты информационного моделирования здания.

### **Цель исследования**

Исследование возможностей согласованного цикла моделирования жизненного цикла цифрового двойника, созданного в Autodesk Revit с последующим переводом модели в 4D и 5D измерение посредством Autodesk Nevisworks.

Задачи:

- Изучить существующие международные и отечественные практики использования информационного моделирования в строительной отрасли, действующую нормативно-правовую, нормативно-техническую и методическую базы;
- Исследовать текущие проблемы, сдерживающие внедрение BIM-технологий, включая вопросы стандартизации;
- Разработать методики интеграции средств автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве;
- Разработать методики оптимизации календарного плана проекта строительства на основе генетических алгоритмов с учетом информационного моделирования и визуализации рабочих пространств для анализа их конфликтов;
- Практическая апробация предложенных решений;
- Формулировка перспективных направлений исследования
- Разработать методики интеграции данных информационной модели здания с базами данных для формирования сметной стоимости проекта производства работ;
- Разработать методики интеграции данных информационной модели здания с базами данных для автоматизированного формирования параметров календарного плана производства работ.

Научная новизна работы состоит в разработке теоретических подходов, предложений и практических рекомендаций по выбору методики интеграции данных информационной модели здания с базами данных для формирования сметной стоимости проекта производства работ; методики интеграции данных информационной модели здания с базами данных для автоматизированного формирования параметров календарного плана производства работ; информационной модели строительных работ с отображением рабочих пространств и определением их конфликтов в 4D BIM.

## **Конкретные результаты, полученные соискателем, имеющие научную новизну:**

1 Уточнен понятийный аппарат в области информационного моделирования в части введения нового понятия LOD – как уровень детализации, Информационная модель – как классификатор информационной модели и наполнение информационной модели;

2. Разработаны предложения по стандартизации процессов организации работ:

- *ВМ-модель/Информационная модель объекта строительства*: цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта при помощи совокупности элементов и информации, служащее коллективным ресурсом знаний о проектировании, строительстве, эксплуатации, модернизации и сносе строительного объекта.

- *План выполнения ВМ-проекта (BIM Execution Plan, BEP)*: технический документ, разрабатываемый генпроектной организацией для собственных нужд, а также для субпроектных организаций, который описывает технологические аспекты выполнения ВМ-проекта. Объединяет в себе цели и задачи информационного моделирования, правила именования файлов, стратегию разделения модели на объемы, требуемые уровни проработки элементов модели на различных этапах проекта, роли участников процесса информационного моделирования и другие аспекты.

- *Уровень проработки (LOD)*: определяет полноту проработки элемента информационной модели. LOD задает минимальный объем геометрической, пространственной, количественной, а также любой атрибутивной информации, необходимой и достаточной для решения задач моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта строительства. Таким образом, LOD состоит из двух составляющих: геометрической – LOD (G) и атрибутивной – LOD (I).

- *Среда общих данных (Common Data Environment – CDE)*: единый источник достоверной информации для всех участников проекта. CDE основана на

процедурах и регламентах, обеспечивающих эффективное управление итеративным процессом разработки информационной модели и выпуска проектной документации для достижения полной интеграции и пространственной координации данных/информации от всех участников и от всех источников этой информации.

- *Атрибут*: блок данных, частично описывающий свойства предмета или библиотечного элемента.
- *Атрибутивные данные*: данные, содержащие информацию об объекте, которую можно передать с помощью буквенно-цифровых символов.
- *Графические данные*: данные, представленные при помощи геометрических форм и их пространственного расположения.
- *Выявление коллизий*: процесс обнаружения ошибок в проекте, возникших в результате геометрических пересечений, нарушении допустимых расстояний между элементами, логических связей между элементами, нормируемых параметров и др.
- *Информационные требования заказчика (Employer Information Requirements, EIR)*: требования заказчика BIM-проекта, определяющие информацию, представляемую заказчику в процессе реализации проекта, а также требования к информационным стандартам и регламентам, которые должны быть применены исполнителем в рамках процесса реализации проекта.

3. Разработаны методические рекомендации по оценке эффективности процессов перехода строительной и проектной компании на информационное моделирование в зависимости от стадии ее развития

4. Предложены организационно-экономические механизмы эффективного перехода на информационное моделирование в строительной и проектной компании, включающие обучение персонала, перестроить рабочие процессы, изменение организационной структуры.



**Личный вклад автора диссертации:** Разработка, исследование и верификация вышеуказанных методик и моделей были проведены лично автором на примере Котельной 10 МВт находящаяся на ГОК «Вернинский» 4км от п. Кропоткин.

**Апробация результатов исследования. - Проспект Свободный - 2021.** ISBN. 978-5-7638-4531-0.

УДК 69.003\*69.04 СЛОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ BIM В РОССИИ И.А. Карпов\* стр. 2925

**Результаты работы прошли опытное внедрение** в деятельность Компании ООО «Полюс Строй».

Практическая значимость работы состоит в применении усовершенствованных методов и средств проектирования зданий и сооружений с использованием цифровых моделей на базе специализированных программных комплексов.

Методологическая база исследования включает системный анализ опубликованных научных исследований и научно-технических разработок по теме работы, анализ работы предприятия над цифровым проектом, экспертная оценка для выбора наиболее эффективного метода управления цифровой моделью объекта.

# **1 АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

## **1.1 Цифровая модель проектируемого сооружения – как основа**

### **ВМ-технологий**

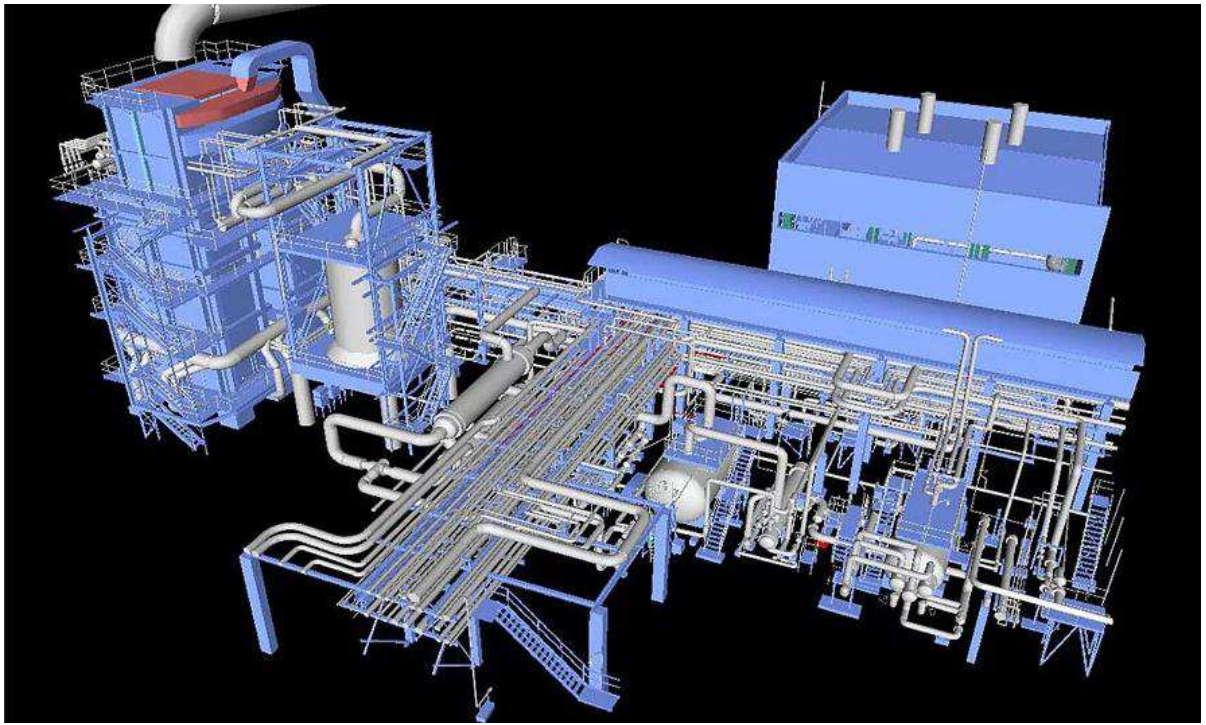
В настоящее время цифровое моделирование становится все более актуальным и востребованным. Оно экономит время проектировщиков, позволяет нескольким специалистам одновременно работать с одним и тем же объектом, наглядно отобразить все составляющие объекта вне зависимости от их размеров, расположения и конфигурации. Особенно актуально это для объектов, которые содержат большое количество коммуникаций (трубопроводов, воздуховодов, кабельной продукции). К таким объектам относятся сооружения по подготовке нефти и газа (НПЗ, ГПЗ, УПН, УПСВ, ДНС), а также сооружения химической отрасли (заводы по переработке и производству химической продукции).

Кроме того, все больше начинает строиться в нашей стране высотных зданий, в которых также расположены многочисленные коммуникации, помещения, оборудование. Удобство работы с подобными объектами может обеспечить только цифровая модель.

Здания и сооружения, которые проектируются в последнее время, характеризует:

- высокая сложность;
- большое количество отдельных объектов, входящих в их состав;
- протяженные инженерные коммуникации;
- необходимость разработки коллизий;
- необходимость оперативного внесения изменений в проект, как на этапе проектирования, так и при строительстве, а также при дальнейшей эксплуатации.

На рисунке 1.1 приведены примеры подобных объектов, которые выполнены с использованием цифровой модели.



а) цифровая модель Московского НПЗ, созданная на основе лазерного сканирования



б) цифровая модель здания

Рисунок 1.1 – Примеры цифровых моделей зданий и сооружений

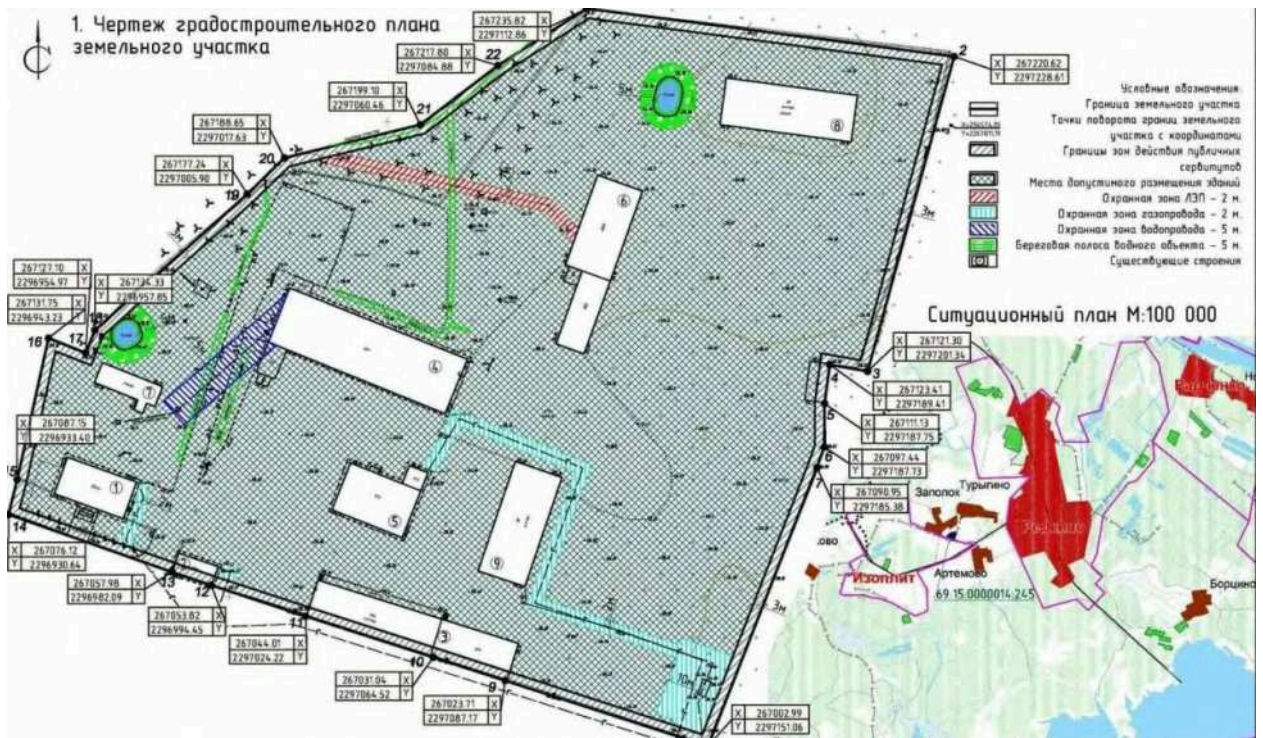
При исследовании сущности цифровой модели следует отметить, что она представляет собой новый подход в проектировании. Он заключается в возможности управления всем жизненным циклом объекта, в том числе и его экономической составляющей. Также можно привлечь управленческую составляющую, которая может меняться с течением времени, в период всего срока эксплуатации объекта.

Основой для создания цифровой модели здания или сооружения является сбор и автоматизированная обработка исходных данных, к которым относятся:

- аэрофотосъемка территории строительства;
  - космические снимки;
  - ситуационный план;
  - градостроительный план земельного участка;
  - план развития городских территорий;
  - план зонирования территорий;
  - материалы инженерных изысканий;
  - технические условия на пересечения существующих коммуникаций;
  - технические условия на подключение проектируемых коммуникаций и сдачу готовой продукции.
- Задание на проектирование объекта.

Указанная выше информация позволяет с соблюдением всех требований нормативной документации и Федеральных законов разместить на местности проектируемый объект, учитывая особенности его расположения относительно других объектов, коммуникаций, естественных и искусственных преград, а также с учетом последующего удобства его подключения к существующим коммуникациями. Исходные данные для проектирования объекта можно разделить на разрешительную документацию и материалы инженерных изысканий. На рисунке 1.2 приведены примеры исходных данных, которые относятся к разрешительной документации.





а) градостроительный план земельного участка



Рисунок 1.2 – Исходные данные для создания цифровой модели объекта. Разрешительная документация

Разрешительная документация выдается местными органами исполнительной власти, которые расположены по месту нахождения будущего участка строительства.

Документация выдается Застройщику земельного участка и входит в состав документов, которые необходимо учитывать в самом начале разработки цифровой модели объекта.

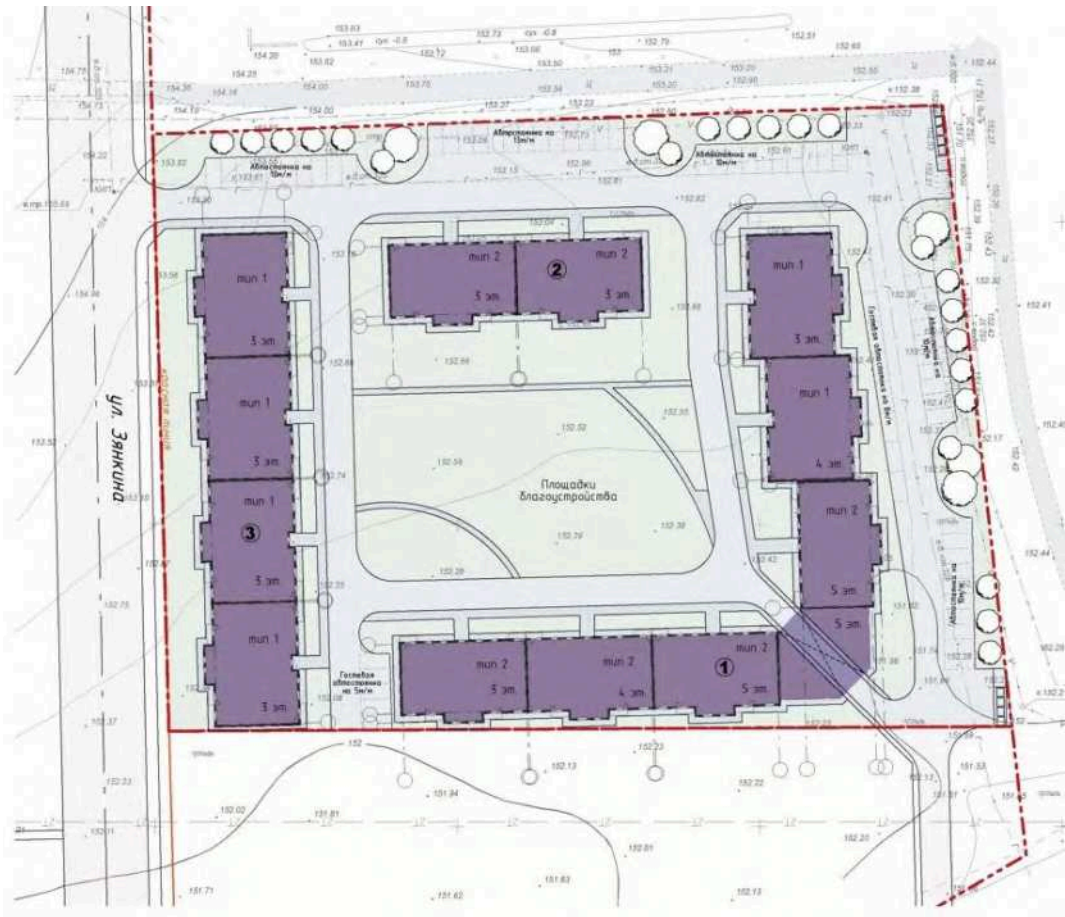
Состав разрешительной документации, необходимой для начала проектирования объекта, приведен в документах [1] и [2].

Разрешительная документация на земельный участок необходима для подтверждения правоустанавливающих документов на этот участок, а также для подтверждения возможности использования этого участка для строительства нового объекта.

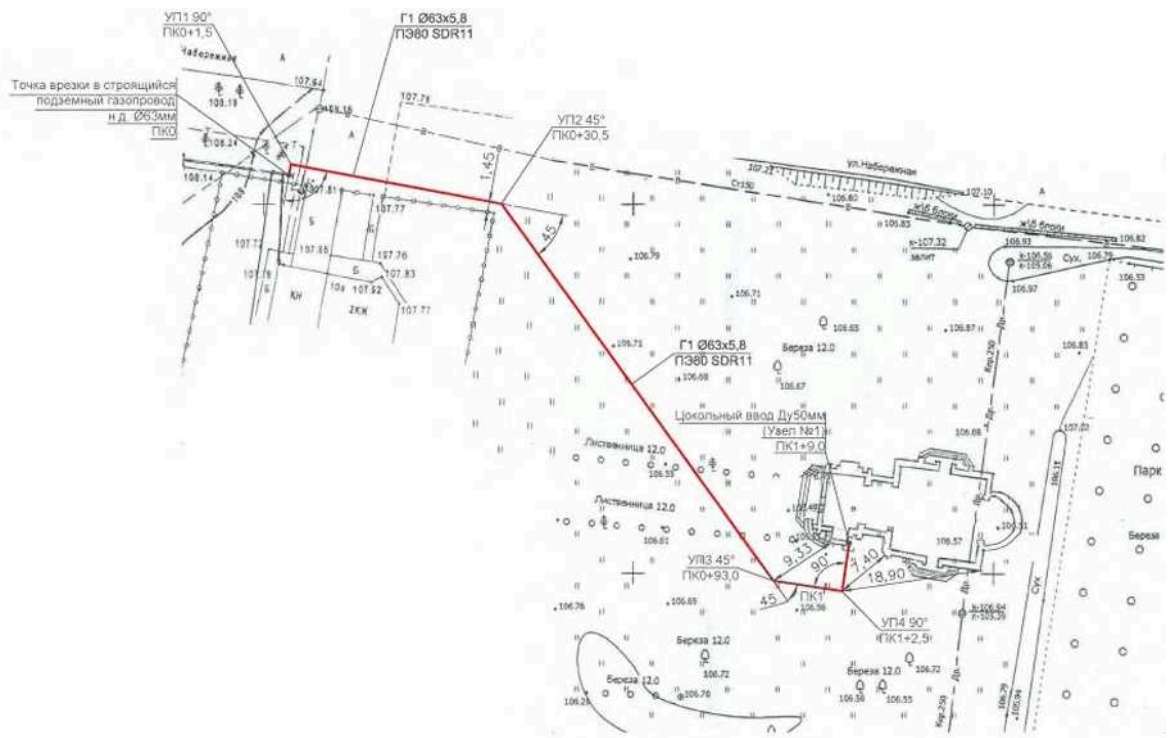
Помимо разрешительной документации, для создания цифровой модели требуется использование материалов инженерных изысканий, которые включают:

- 1) план и профиль трассы (для линейных объектов: трубопроводов, кабелей, линий ВЛ, автодорог, мостов и т.д.);
- 2) план площадки (для площадных объектов: заводов, зданий, стадионов и т.д.);
- 3) исследования свойств грунтов для проектирования основания объекта;
- 4) описание опасных геологических процессов и область их распространения;
- 5) топографические исследования местности с целью установления высотных отметок, наличия существующих коммуникаций, природных явлений;
- 6) исследование гидрогеологических и гидрологических условий на площадке строительства.

На рисунке 1.3 приведены примеры материалов инженерных изысканий, которые являются основой для создания цифровой модели объекта.



а) план площадки для строительства комплекса зданий



б) план трассы трубопровода

Рисунок 1.3 – Исходные данные для создания цифровой модели объекта. Материалы инженерных изысканий



По окончании сбора указанных выше исходных данных, проектная организация начинает разработку всех необходимых разделов проектной документации.

Каждый раздел проектной документации представляет собой набор цифровых данных в составе общей модели. При этом сама модель является цифровым двойником объекта, в котором содержится вся информация о нем. В процессе проектирования происходит постоянное изменение цифровой модели:

- внесение в нее новых данных;
- последовательная или параллельная разработка разных марок проекта;
- корректировка по требованиям или замечаниям Заказчика;
- изменения по результатам прохождения Главгосэкспертизы;
- изменения по результатам согласования проектной документации со сторонними организациями;
- уточнение технических решений.

После окончания проектирования объекта, развитие и модификация цифровой модели продолжаются. BIM технологии позволяют и в дальнейшем управлять жизненным циклом запроектированного объекта, что наглядно показано на рисунке 1.4.

Цифровая модель на этапе проектирования облегчает проведение технико-экономического обоснования строительства объекта, участвует в процессах проведения закупочных процедур.

Таким образом, по цифровой модели объекта, которая выполняется на этапе проектирования, производится последующее строительство объекта. Затем цифровая модель используется при его эксплуатации, модернизации, техническом обслуживании, а также при выводе из эксплуатации (см. рисунок 1.5).





Рисунок 1.4 – Управление жизненным циклом объекта использованием цифровой модели и BIM-технологий

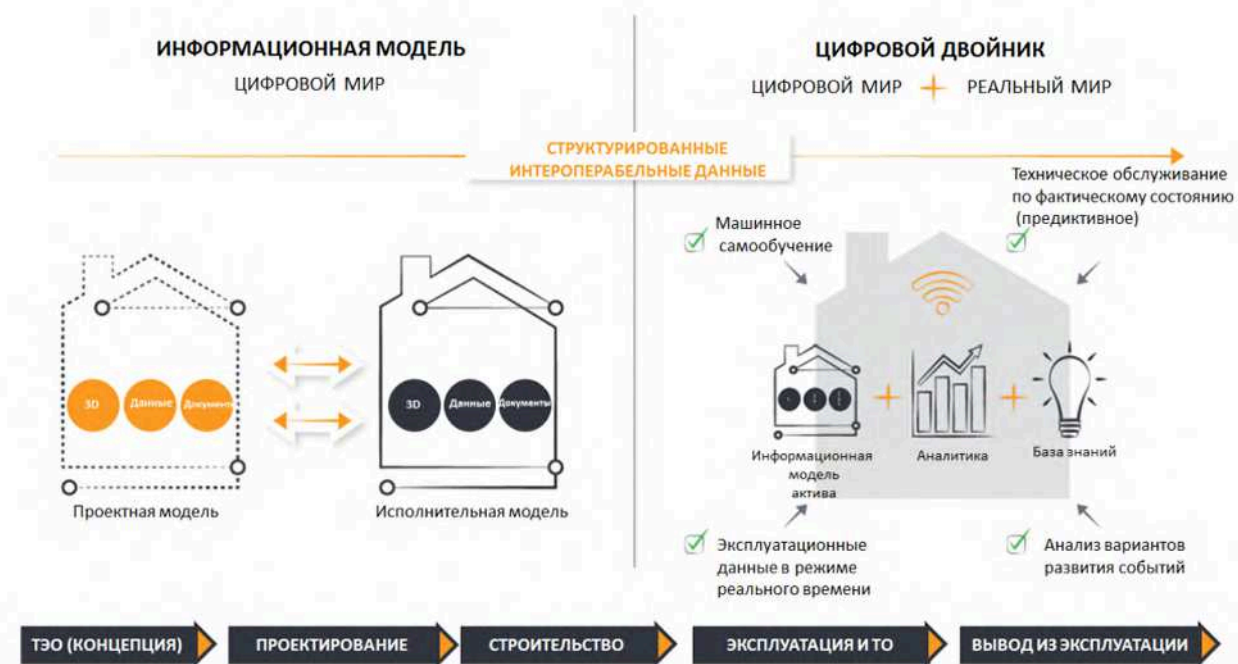


Рисунок 1.5 – Этапы жизни цифровой модели объекта

Указанные на рисунке 1.5 этапы жизни цифровой модели наглядно показывают ее значимость для владельца объекта, который может использовать ее неоднократно. Однако, еще до начала разработки цифровой модели необходимо задать все требования к ее детализации, чтобы в дальнейшем она могла

удовлетворять все потребности владельца без значимых и дорогостоящих корректировок.

## 1.2 Обзор основных программных комплексов для создания цифровой модели здания

Основным инструментом для создания цифровой модели здания является автоматизированный программный комплекс, совместимый с последними моделями ПК и ОС. Как правило, программные комплексы осуществляют свою работу с операционной системой Windows, с которой работает большинство пользователей.

Для создания цифровых моделей здания в настоящее время разработано большое количество различных программных комплексов, некоторые из которых приведены на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Программные комплексы, применяемые для создания единой информационной модели объекта

ВIM – модель здания или сооружения предполагает создание 3D модели, в которой можно работать с любой из его проекций, в аксонометрии и изометрии, а также использовать программные продукты компании Autodesk.

Autodesk появилась на российском рынке в конце 90-х годов XX века. Практически с развитием глобальной автоматизации проектирования в крупных проектных институтах нашей страны стал использоваться наиболее популярный продукт Autocad.

К ним относятся:

- ПО Autodesk Revit;
- ПО Autodesk Robot;
- ПО Autodesk Navisworks;
- ПО ArchiCAD;
- ПО Autodesk Inventor;
- ПО Autocad.

Это ПО предназначено для осуществления задач по инженерной графике. Оно является наиболее распространенной из всех зарубежных САПР.

ArchiCAD – является весьма эффективным инструментом для создания различных архитектурных форм, проектирования зданий сложной формы. Обладает широкими возможностями для создания различных элементов зданий, позволяет производить их расчет и подбор формы, материалов, армирования. Кроме того, при проектировании архитектором окон, дверей, стен здания, данное ПО параллельно создает трехмерную модель здания. Также ПО формирует спецификации на отдельные элементы, осуществляет подбор их материального исполнения.

Autodesk Inventor - используется для отрисовки цифровых моделей и расчетов в машиностроении. Из отдельных деталей и элементов этот программный комплекс позволяет выполнять полную сборку агрегата или узла. ПО имеет собственную большую библиотеку компонентов, в состав которой входят стандартные детали (болты, гайки, шпильки, скобы и т.д.). Библиотеку можно изменять и дополнять запроектированными уникальными деталями и объектами.

Autodesk Revit – представляет собой программный комплекс, который позволяет создавать проект от эскизно-концептуального наброска будущего

здания до единой информационно-строительной модели, содержащей максимальную проработку здания.

Данное ПО имеет встроенный модуль концептуального формообразования. Он позволяет оперативно изменять отдельные элементы здания или сооружения, а затем вносить информацию об изменениях во всех разделы проектной документации.

Кроме того, отличием ПО является наличие навесных стен и наклонного остекления. Расширен модуль работы с лестницами здания, а также предусмотрен модуль работы с поверхностями. В нем можно создавать разную геометрию фасадов здания, импортировать из других ПО специально созданные геометрические фигуры и поверхности, создавать отдельные компоненты строительной площадки, применять для ландшафтного дизайна.

AutoCAD – применяется для проектирования зданий, сооружений различного функционала и в различных отраслях (широко распространен в проектных организациях нефтегазовой отрасли), оцифровки инженерных изысканий, проектирования протяженных линейных объектов.

В этом ПО могут быть созданы как модели зданий и сооружений (в 2D и 3D), так и линейные объекты большой протяженности, генеральные планы зданий и промышленных предприятий, может быть рассчитан объем земляных масс, площади, занимаемые зданиями и сооружениями.

Кроме того, для расширения возможностей Autocad и работы в этой среде программистами проектных институтов могут быть разработаны различные программные продукты, которые позволяют в автоматическом режиме формировать:

- кабельные журналы;
- производить отрисовку протяженных линейных объектов (планы и профили);
- осуществлять анализ материалов инженерных изысканий на предмет свойств грунтов и распространения опасных геологических процессов;

- автоматически составлять спецификации оборудования изделий и материалов;
- производить прочностные расчеты металло- и железобетонных конструкций;
- рассчитывает ледовые и ветровые нагрузки на сооружения;
- подбирает высоту опор линий электропередач.

Примером оцифровки данных результатов инженерных изысканий и последующее их использование для производства готового цифрового продукта является, например, трасса линейного сооружения, показанная на рисунке 1.7.

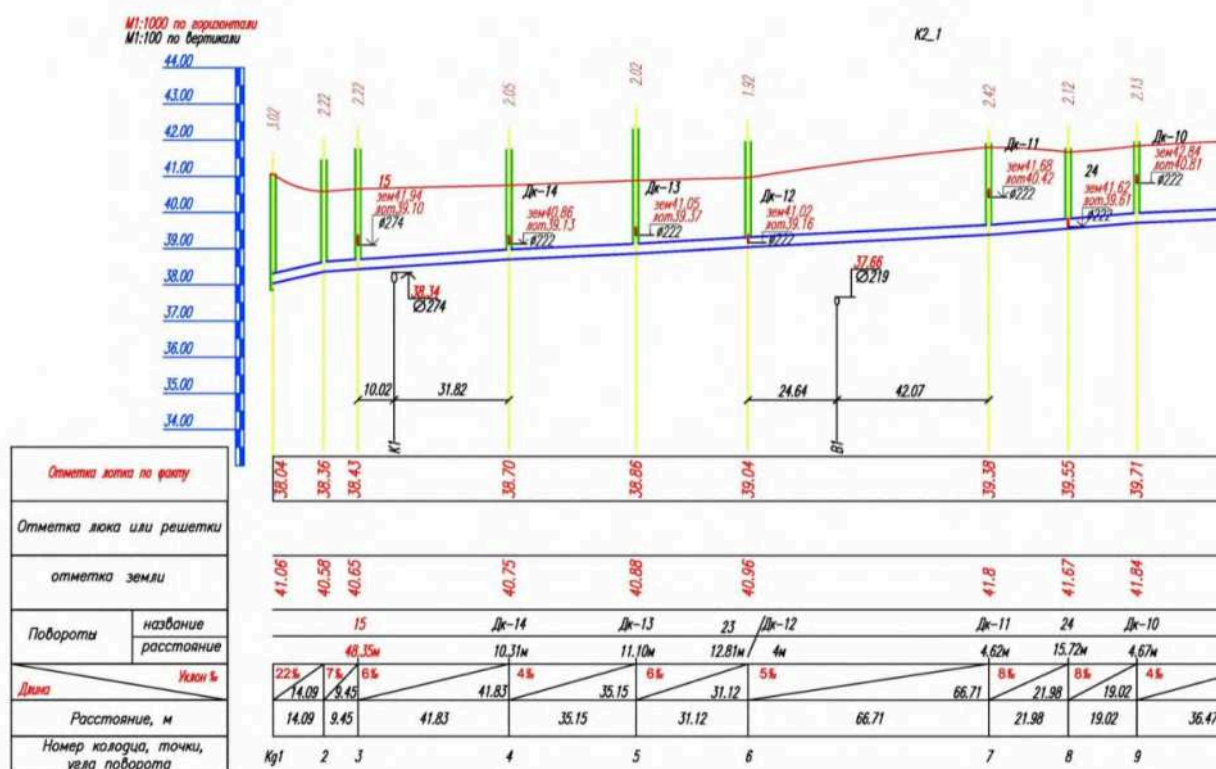


Рисунок 1.7 – Профиль подземного трубопровода, построенный в AutoCAD

На рисунке 1.8 показана уже запроектированная в Autocad трасса линии ВЛ, для которой автоматически рассчитана высота опор, выбран их тип и определен провис проводов между опорами.



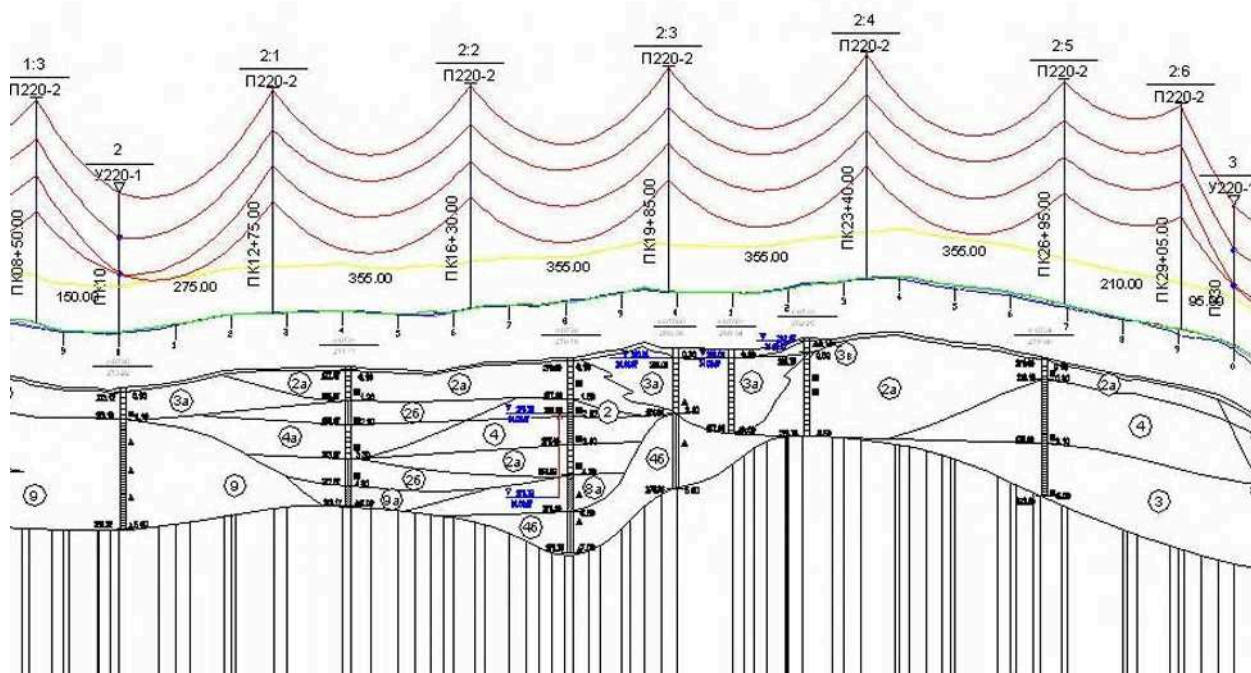


Рисунок 1.8 – Профиль линии ВЛ, построенной в AutoCAD

Описанное выше ПО используется непосредственно для проектирования конструктивных элементов зданий и сооружений, то есть для создания физических объемов по проекту.

Затем для них необходимо выполнить оценку стоимости:

- оборудования, изделий и материалов;
- доставки материалов до места работ;
- строительно-монтажных работ;
- строительства вспомогательных сооружений;
- расходов на благоустройство территорий;
- затрат на подъездные автодороги, технологические проезды;
- непредвиденных затрат;
- прочих затрат.

Для этого разработано специализированное ПО, которое позволяет производить сметные расчеты. К такому ПО относится:

- 5D Smeta;
- «Грандсмета»;

- «Смета +»;
- «АвансСмета»;
- «WinСмета».

После выполнения работ по созданию цифровой модели здания в указанные выше программные продукты вносится информация в виде объемов работ, которые также подлежат оцифровке. Под «оцифровкой» следует понимать расчет стоимости указанных выше статей расходов и создание локальной, объектной и других видов смет. Сметы являются заключительным разделом проектной документации и могут быть созданы для различных стадий проектирования.

Сравнительная диаграмма этих программных продуктов приведена на рисунке 1.9.



Возможности	 Дизайн Интерьера Скачать ↓	 ГРАНД-Смета Скачать ↓	 АвансСмета Скачать ↓	 Смета+ Скачать ↓	 WinСмета Скачать ↓
Лицензия	Условно- бесплатная	Условно- бесплатная	Условно- бесплатная	Условно- бесплатная	Условно- бесплатная
Цена	от 990 руб.	от 27 000 руб.	от 4 990 руб.	от 1 000 руб.	от 8 000 руб.
Понятный интерфейс	✓	✓	✓	✗	✓
Русскоязычный интерфейс	✓	✓	✓	✓	✓
Работа на слабом ПК	✓	✗	✓	✓	✓
Создание 3D моделей помещений	✓	✗	✓	✗	✗
Совместимость со всеми версиями Windows	✓	✓	✓	✓	✓
Рейтинг	10	9,5	9	9	8,5

Рисунок 1.9 – Сравнительная диаграмма программных продуктов для ресурсно-сметного проектирования.

Точность выполнения сметных расчетов зависит от требований Заказчика проекта. Как правило, точность является приблизительной для этапа ТЭО. С некоторой долей приближения стоимость рассчитывается для стадии

проект. В этом случае, используются аналоги или уже известная стоимость оборудования

Процесс обмена информацией между цифровой моделью и продуктами, которые применяются для ресурсно-сметного проектирования, приведен на рисунке 1.10.

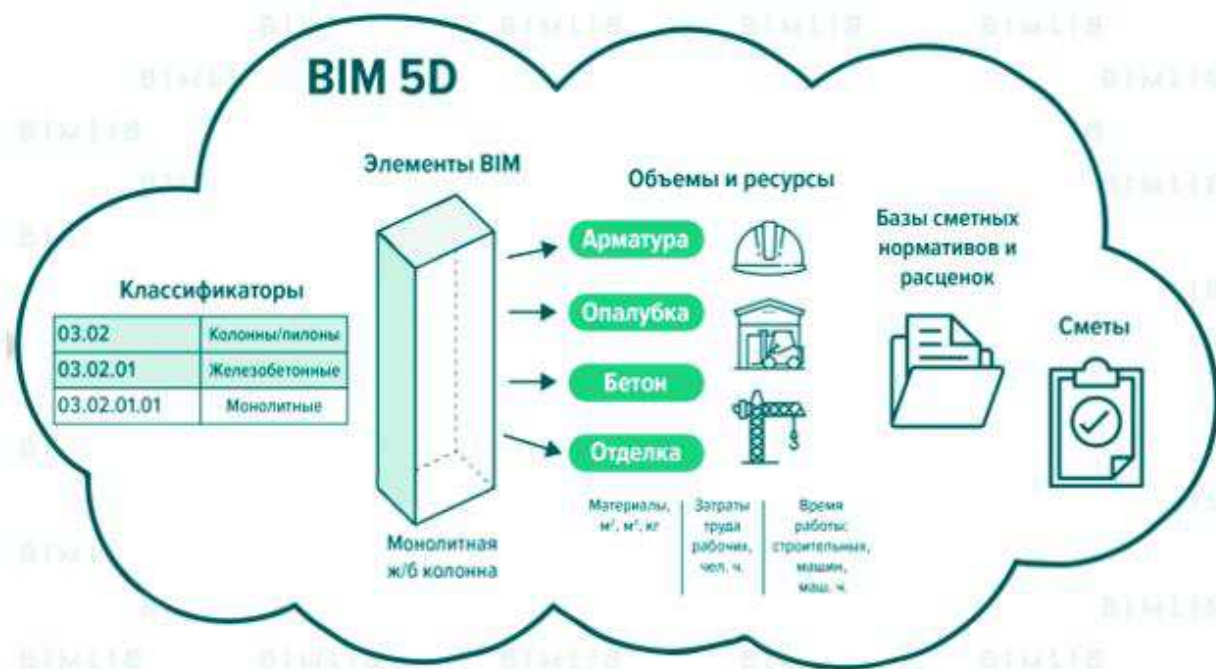


Рисунок 1.10 – Схема обмена информацией между BIM-моделью и продуктами для ресурсно-сметного проектирования

При проведении сметных расчетов, ПО ресурсно-сметного проектирования использует динамично меняющуюся базу данных сметных нормативов и расценок, что видно из рисунка 1.10. Каждое изменение элементов BIM-модели влечет за собой автоматический перерасчет смет и изменение стоимости проекта.

Наиболее оптимизированы под обмен данными с ПО ресурсно-сметного проектирования программные комплексы компании Autodesk.

На рисунке 1.11 показан процесс обмена данными проекта, выполненного в Autodesk Revit с ПО «5D смета».





Рисунок 1.11 – Схема взаимодействия ПО для ресурсно-сметного проектирования с ПО Autodesk

Для успешной работы нескольких пользователей, групп пользователей, отдельных подразделений компании, либо нескольких компаний требуется ПО для управления проектом. Одним из таких программных комплексов является Oracle Primavera. Это инструмент для автоматизированной координации работы всех проектных групп, которые осуществляют разработку, рассмотрение, использование цифровой модели здания или сооружения.

К основным функциям Oracle Primavera следует отнести планирование выполнения проекта, в основе которого лежит цифровая модель, а также контроль выполнения отдельных этапов проекта, составление дорожной карты, графическое отображение в виде план-графиков состояния модели, загруженности персонала, динамику его движения.

Данное ПО позволяет проводить учет и управление большими массивами данных, управлять финансовыми возможностями компании, которая заказывает проект строительства здания или сооружения.

Ядром системы, выполняющим основные функции служат клиент-серверные приложения Primavera Enterprise и Primavera Expedition. Эти приложения работают с СУБД Oracle, MS SQL Server, Sybase.

Основным продуктом в составе Primavera Enterprise является Primavera Project Management (Primavera Project Planner Professional, P4) — средство календарно-сетевое планирования работ, составления бюджета.

Особенно полезной является это ПО для руководителей проекта, так как дает возможность в любой момент времени отслеживать готовность модели, прогресс работ, а также замечания Заказчика проекта.

Информационная система на базе Oracle Primavera позволяет осуществлять следующие функции:

- управление проектами предприятия различной сложности;
- взаимодействия с информационными продуктами, применяемыми фирмой (например, система автоматизированного планирования SAP);
- поддержка структуры фирмы (адаптируется для любой компании);

- оценка существующих рисков, прогнозирование и анализ рыночных трендов;
- сопровождение различных методов проектного менеджмента;
- многоцелевое использование;
- расчет влияния текущего процесса на степень загрузки ресурсов компании;
- анализ групп проектов и распределение бюджета между ними;
- создание среды для взаимодействия всех лиц, участвующих в проектах;
- распределенное решение задач (от ведения таблиц рабочего времени до расчета бюджетов различной сложности);
- накопление, хранение, распространение и анализ информации.

Помимо указанных выше функций, ПО «Primavera» позволяет осуществлять работу с БД неограниченного количества и большого объема. Как правило, в такие БД входят все элементы, составляющие объект. То есть оборудование, изделия и материалы. Кроме того, в состав БД входит список строительно-монтажных работ, осуществление которых необходимо для создания объекта.

Большую роль при создании цифровой модели объекта играет и персонал, который задействован, как при его проектировании, так и при будущем строительстве.

ПО «Primavera» позволяет отследить график движения персонала, квалификацию специалистов, их загрузку и количество на разных этапах (подготовка исходных данных, проектирование, строительство, эксплуатации, техническое обслуживание, ремонт, ликвидация объекта и т.д.).

На рисунке 1.12 приведена структурная схема ПО «Primavera P6».

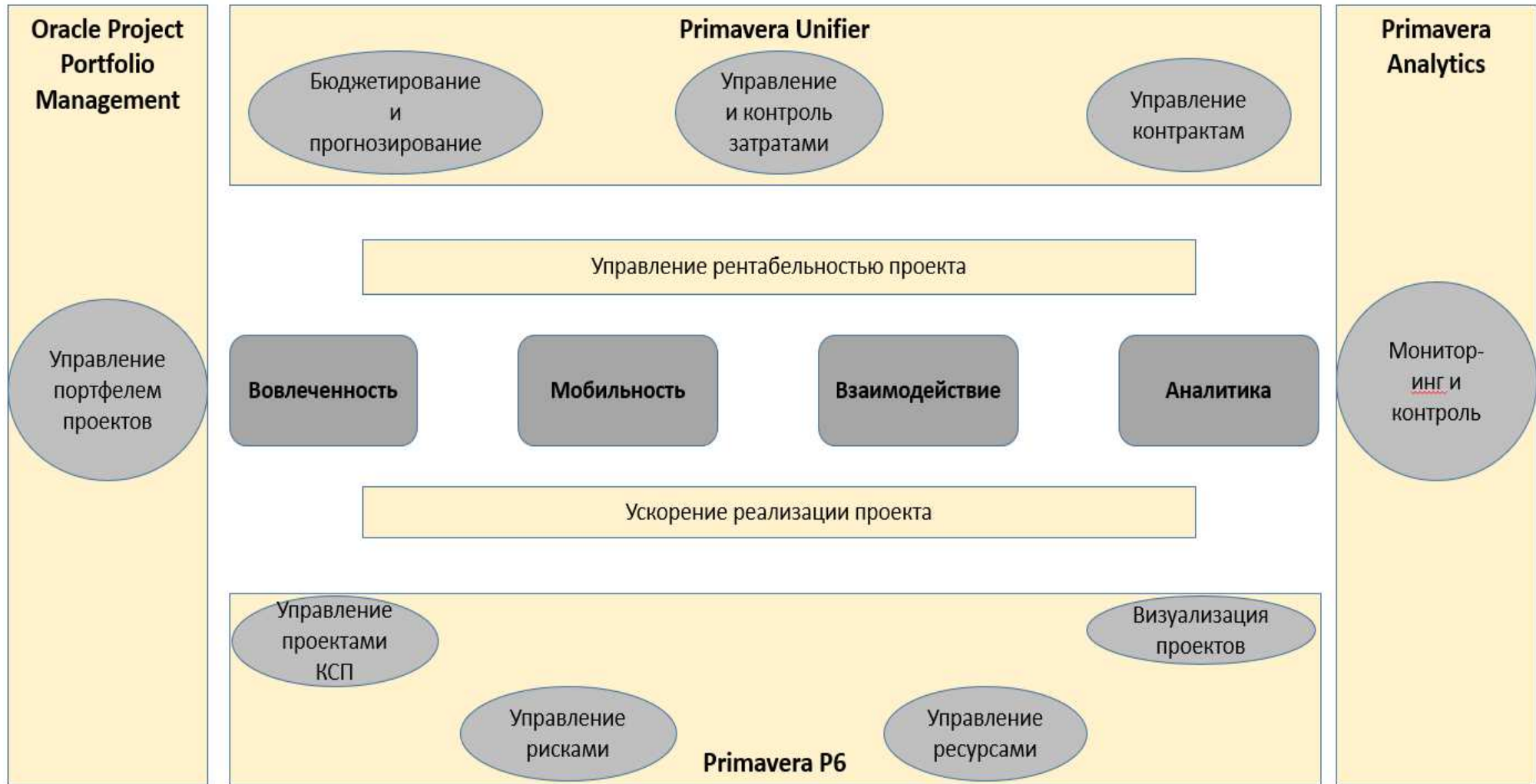


Рисунок 1.12 – Структура ПО «Primavera P6»

Таким образом, описанное выше ПО позволяет создавать цифровую модель здания или сооружения, а затем осуществлять постоянную работу с ней, внося необходимые корректировки и осуществляя расчет стоимости проекта, а также управляя проектом.

### 1.3 Анализ эффективности использования программных комплексов на разных стадиях проектирования

Описанное выше ПО имеет высокую эффективность, но лишь в том случае, когда используется на определенной стадии проектирования.

Сложность формирования единой цифровой модели объекта в том, что зачастую к созданию отдельных частей большого проекта привлекаются разные субподрядные компании, использующие различные САПР-платформы. При этом очень важно предоставление удобного инструмента для работы всем участникам согласования проекта, дальнейшего строительства и эксплуатации объекта, так как от этого в конечном счете зависит прибыль организации. [5].

На рисунке 1.3 показан жизненный цикл цифровой модели объекта, который начинается с Технического задания Заказчика проекта и может быть закончен на этапе реконструкции, либо ликвидации объекта.



Рисунок 1.13 - Жизненный цикл цифровой модели объекта

Жизненный цикл (ЖЦ) включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до его утилизации по окончании срока использования.

К ним относятся этапы маркетинговых исследований, проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, послепродажного обслуживания и эксплуатации продукции, утилизации. На всех этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение требований, предъявляемых к производимому продукту. Понятие эффективности охватывает не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС (автоматизированных систем). [5]

Рассмотрим 3D модель, построенную в ПО AUTODESK REVIT (см. рисунок 1.14).

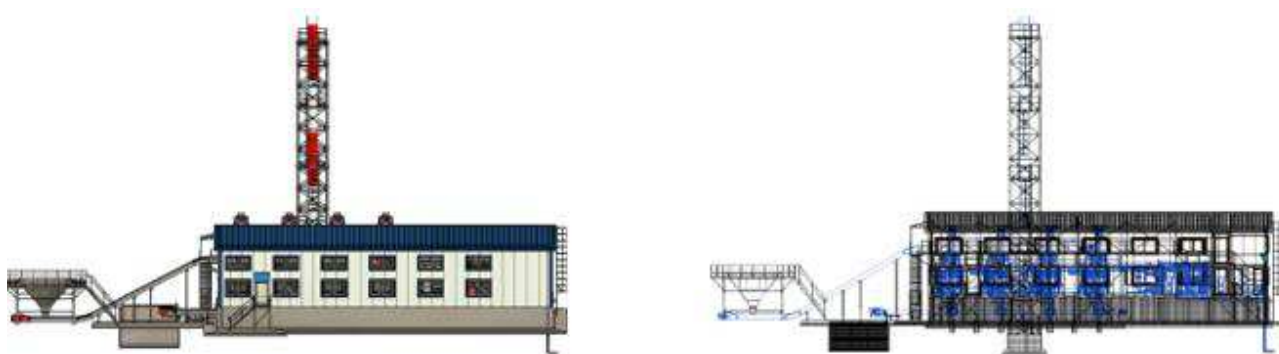


Рисунок 1.14 – 3D модель и отображение в виде каркаса

На основе 3D модели объекта создаются:

- рабочие чертежи объекта (для стадий проектная или рабочая документация);
- спецификации;
- ведомости объемов работ;
- ведомость трубопроводов, в которой указываются рабочие давления, температуры, производительности, наличие теплоизоляции и электрообогрева;

- ведомости теплоизоляции;
- расчет систем электрообогрева коммуникаций.

На рисунке 1.15 приведен план объекта в 3D на отметке 0,000, который позволяет визуализировать все его конструкции в нескольких проекциях.

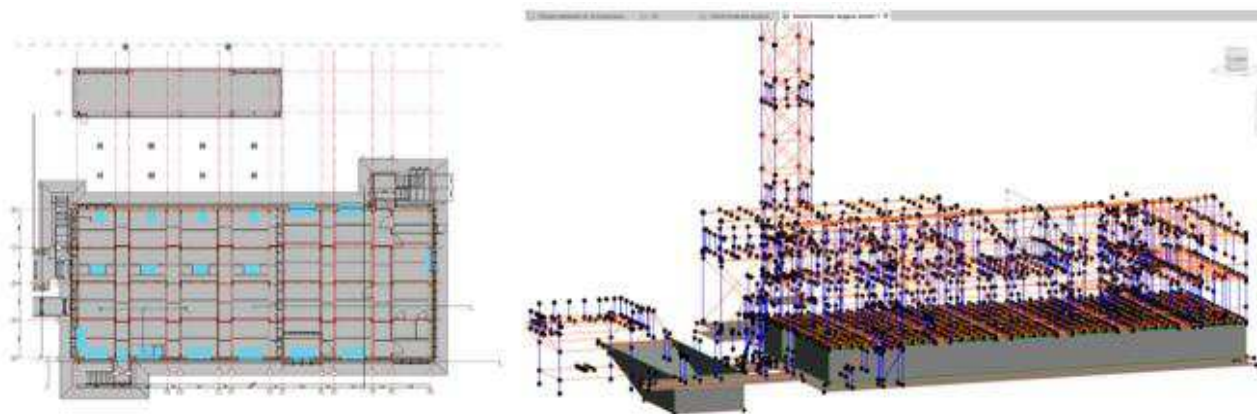


Рисунок 1.15 – План на отм. 0.000 и аналитическая модель

При создании 3D модели в процессе моделирования элементов категорий: каркас несущий, несущие стены, перекрытия, несущие колонны, фундамент, фермы автоматически создается аналитическая модель, готовая для импорта в расчетные программы.

Уже реализована прямая двусторонняя связь с программой Autodesk Revit Structure. Из Autodesk Revit Structure в Autodesk Robot Structural Analysis передаются элементы конструкции, нагрузки и граничные условия, что позволяет практически сразу переходить к расчетам.

На рисунке 1.6 приведена расчетная модель в Robot Structural Analysis. Визуально расчетная модель представляет собой упрощенный вид здания, в котором показаны отдельные элементы, подлежащие расчету.

Данное ПО позволяет выполнить все необходимые расчеты по предельным состояниям для каждого элемента и подобрать их марку и типоразмеры.



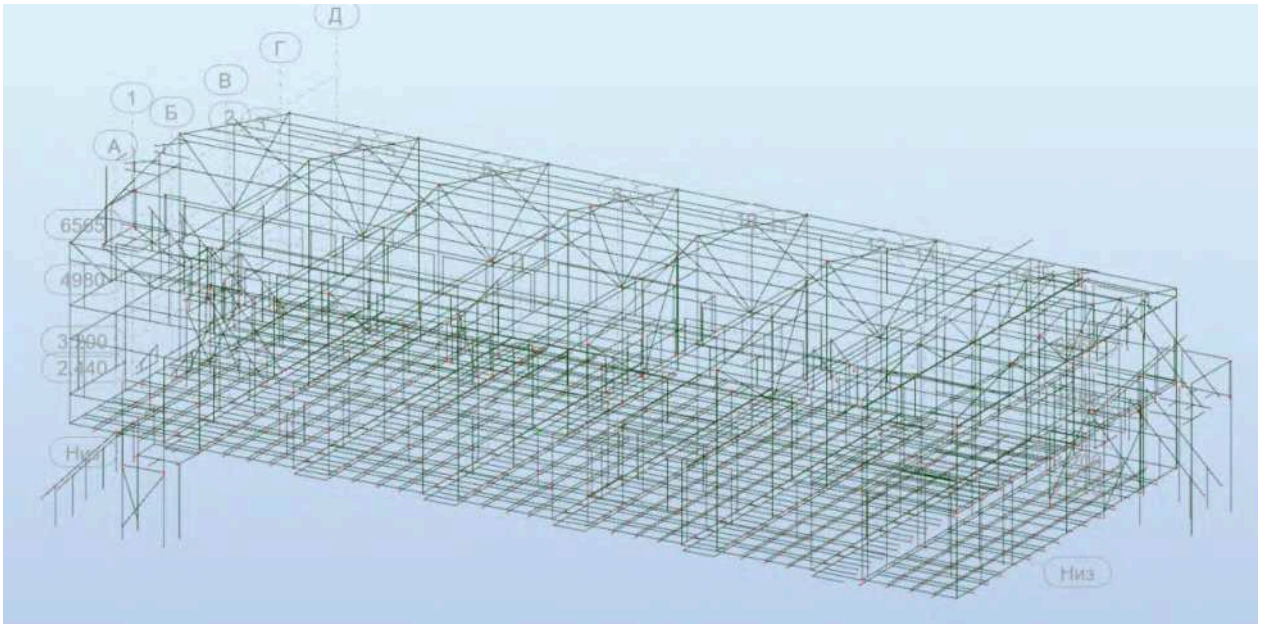


Рисунок 1.16 – Расчетная модель в Robot Structural Analysis

Использование четырехмерного моделирования на разных этапах строительства существенно выросло за последние годы. 4D модели являют собой симбиоз 3D модели с временными параметрами объекта. 4D моделирование требует привязки плана строительства к 3D модели, что дает возможность путем моделирования процессов строительства визуализировать то, как здание и строительная площадка будут выглядеть в любой момент. 4D модели можно рассматривать как виртуальную симуляцию процесса строительства от начала и до конца с указанием информации о местоположениях, ресурсах и ходе работ.

На рисунке 1.17 приведена 4D модель с диаграммой Ганта и ресурсами.

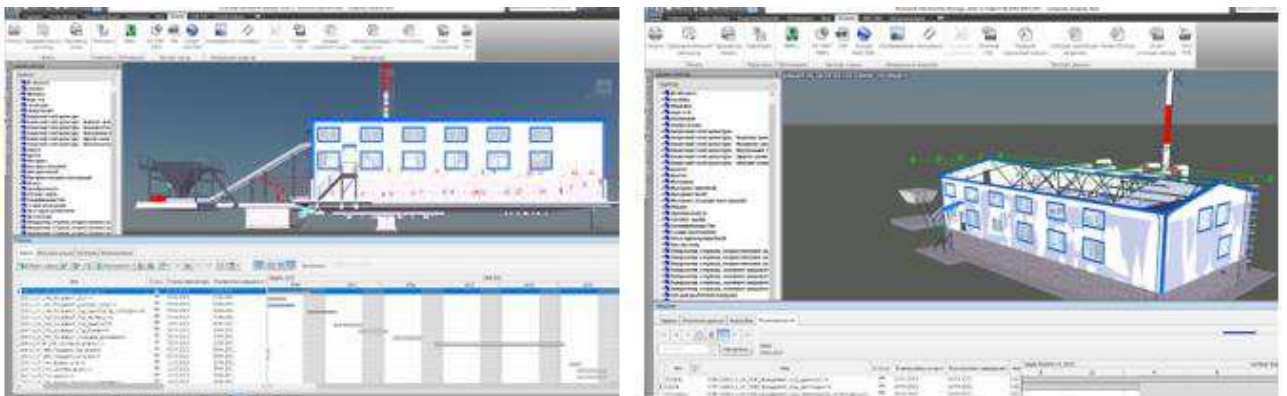


Рисунок 1.17 – 4D модель с диаграммой Ганта и ресурсами



Модели 4D тесно связывают временные и пространственные аспекты проекта, позволяя пользователям просматривать процесс строительства, лучше понимать график и обнаруживать ошибки перед выполнением. Модели 4D могут быть использованы для лучшего понимания взаимосвязей между различными этапами и процессами строительных работ [2], выявления и устранения коллизий в проекте до их появления на строительной площадке, координации работ и улучшения управления работой команд и субподрядчиков.

4D моделирование имеет следующие преимущества:

- контроль графиков и отслеживание хода строительства [3];
- улучшение коммуникаций. Планировщики могут визуально сообщить о планируемом процессе строительства всем заинтересованным сторонам проекта [3];
- поиск возможных коллизий: используя 4D модель, можно анализировать всю последовательность строительных работ, а также искать возможные пространственно-временные коллизии в проектных решениях;
- виртуальное воспроизведение: способность выявлять проблемы в симуляции, имея возможность репетировать проектные действия и демонстрировать, как план будет осуществляться в «реальном мире» [4];
- рассмотренными программными продуктами можно выполнить этапы жизненного цикла объекта капитального строительства от эскизного проекта до 4D строительства, что скорее всего станет нормой в ближайшие несколько лет.

Из описанных выше этапов работы с цифровой моделью можно заключить, что применяемое ПО дает возможность проектировщикам создать не только наглядные виды объекта, но также для каждого этапа проектирования производить необходимые расчеты для выбора отдельных конструктивных элементов, для которых ранее эти расчеты проводились вручную.

## 1.4 Оценка качества взаимодействия ПО между собой и с пользователем

В настоящее время при работе с цифровой моделью, интересным и, в то же время проблематичным, является процесс взаимодействия между ПО и отдельным пользователем, либо группой пользователей, которые постоянно работают, либо обращаются к модели.

На рисунке 1.18 приведена типичная схема взаимодействия цифровой модели объекта и нескольких пользователей.

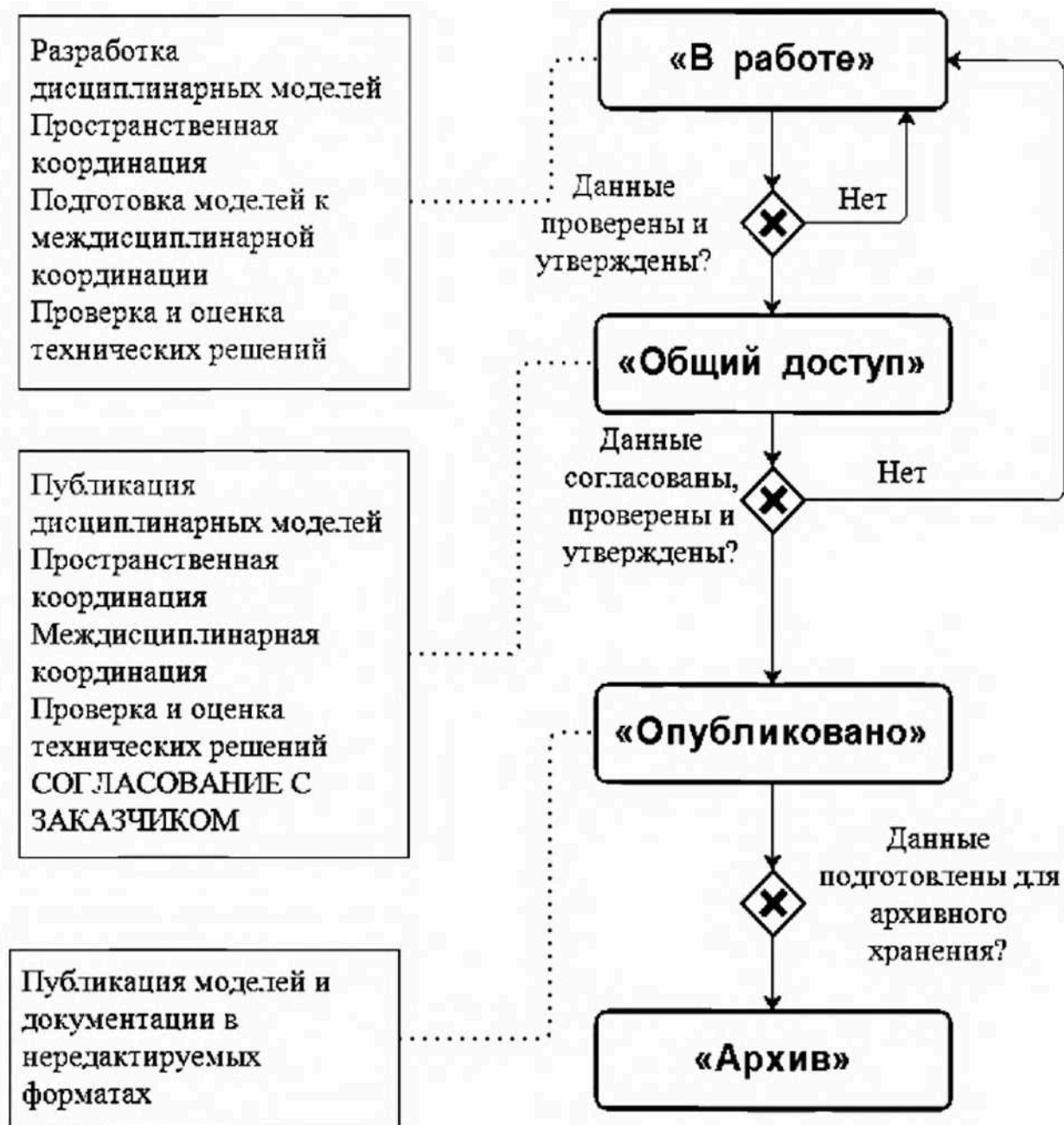


Рисунок 1.18 – Схема взаимодействия ПО цифровой модели объекта и пользователей

Для упорядочения процесса работы с цифровой моделью объекта создается организационная схема реализации BIM-проекта (см. рисунок 1.18). При этом схема предусматривает строгую процедуру работы с цифровой моделью разных компаний, которые представляют:

- инвестора;
- технического заказчика;
- генерального проектировщика;
- службу эксплуатации;
- генерального подрядчика по строительству;
- генерального проектировщика;
- субподрядных организаций по проектированию;
- субподрядных организаций по строительству.



Рисунок 1.19 – Организационная схема работы компаний-участников проекта с цифровой моделью объекта

Таким образом, схема взаимодействия организуется с последовательностью, которая свойственна стадиям проекта, начиная от доступа Инвестору и, заканчивая доступом Субподрядчикам.

Для каждого проекта разрабатывается процедура обмена информацией, выполнение которой обязательно всеми участниками проекта. Основным условием для успешного обмена информацией является реализация графика планирования BIM-проекта. Предлагаемая к реализации схема планирования приведена на рисунке 1.20.

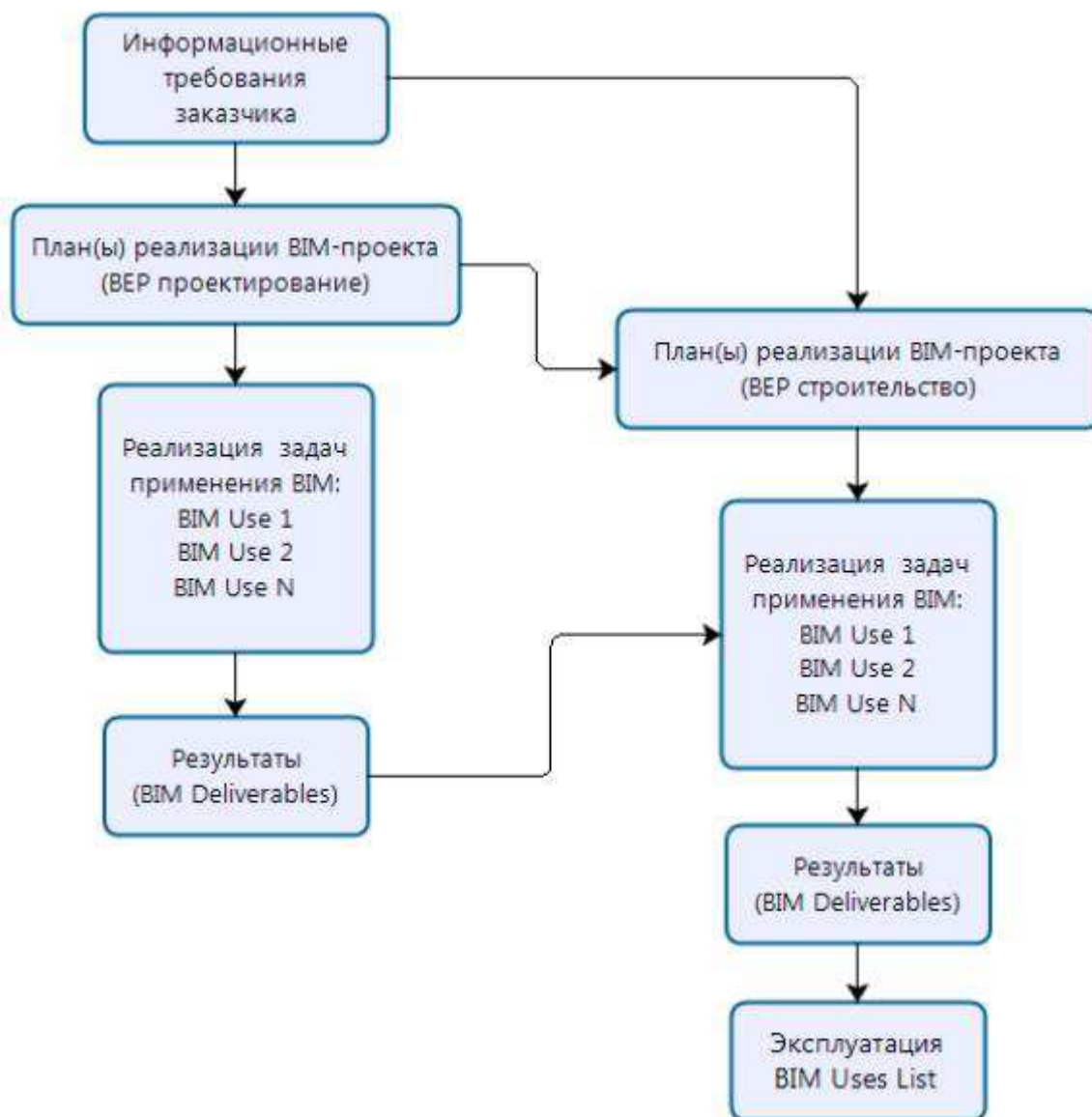


Рисунок 1.20 - Схема планирования BIM-проекта

Для решения предложенной схемы планирования используется концепция LOD. Она позволяет разделить весь процесс работы с цифровой моделью на несколько основных уровней ее проработки: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500 (см. рисунок 1.21).

Каждый из этих уровней имеет свои условия проработки цифровой модели. Чем выше уровень, тем выше и детальность разработки модели. Самый верхний уровень является завершающим этапом проекта и называется целевым. На верхнем уровне сосредоточен максимальный объем информации по объекту (см. рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 – График развития элементов BIM-модели, согласно концепции LOD

На уровне LOD100 происходит сбор исходных данных для создания модели и ее эскизная проработка. На данном этапе количество информации по модели минимально.

Уровень LOD500 соответствует этапу, на котором проектируемой и уже построенный объект выходит на этап эксплуатации.

На каждом из этих двух, а также на промежуточных уровнях LOD в модель вносятся определенные изменения, которые предопределяет специальная процедура.

С целью недопущения одновременного изменения модели несколькими группами специалистов, которые затем могут наложиться друг на друга, либо

будут противоречить друг другу, предусматривают отличия уровней LOD в зависимости от того, какая группа специалистов будет работать с моделью.

Так, например, работа с цифровой моделью на уровнях менее LOD400 запрещается и недоступна Подрядчику по строительству. На уровнях LOD100...LOD300 производится работа с моделью только Генеральным проектировщиком, либо субподрядными проектными организациями, которым Генеральный проектировщик организует специальный доступ.

Для предотвращения ошибок, которые могут произойти на каждом уровне LOD100...LOD300, проектировщики каждой марки проекта имеют доступ только к тем объектам, которые входят в их объем проектирования.

Например, доступ имеют:

- к строительным конструкциям – специалисты марки АС;
- к трубопроводам системы водоснабжения и канализации – специалисты марки ВК;
- к воздуховодам – специалисты марки ОВКВ;
- к внутренним газопроводам – специалисты марки ТХ;
- к охраняемым системам и датчикам пожарной сигнализации и системам пожаротушения – специалисты марки АК;
- к системам внутреннего электроснабжения – специалисты марки ЭО.

Ограниченный доступ ко всем элементам модели и полный доступ к элементам модели, которые проектируются в данной марке, позволяет ограничить количество ошибок, которые могут возникнуть при совместном доступе нескольких специалистов. Так, например, специалисты марки АК могут видеть все конструктивные элементы здания, могут прокладывать по ним свои коммуникации. Однако, изменить, например, высоту стен или размер дверей у них не получится. Так как эти элементы цифровой модели доступны только в режиме просмотра.

Таким образом, подобный механизм позволяет безошибочно взаимодействовать между собой отдельным специалистам и разным компаниям при работе с цифровой моделью.

Указанные выше особенности цифровой модели зданий и сооружений только начинают развиваться в проектных организациях. Они требуют серьезных доработок и развития процесса автоматизированного проектирования.

При этом в качестве основных методов исследования процесса работы с BIM-моделями рекомендуется использование одного из экспертных методов. Так как он позволяет учесть непосредственно мнение персонала компании, который поэтапно участвует в создании цифровой модели.

## **2 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ООО «ПОЛЮС СТРОЙ»**

### **2.1 Краткие сведения о предприятии**

Полное фирменное наименование на русском языке: Общество с ограниченной ответственностью «Полюс Строй» (далее – «Общество»). Сокращенное фирменное наименование на русском языке: ООО «Полюс Строй».

Место нахождения: Российская Федерация, Красноярский край, г. Красноярск.

Адрес в соответствии с ЕГРЮЛ: 660135, Российская Федерация, Красноярский край, город Красноярск, улица Взлетная, дом 9.

Общество зарегистрировано 30.12.2008 года за основным государственным регистрационным номером (ОГРН) 1082468061620.

ИНН/КПП: 2463210633 / 246501001.

Для создания знаковых объектов в местах добычи золота 30 июня 2009 года из состава золотодобывающей компании Полюс было выделено предприятие Полюс Строй.

С 2009 года начаты работы на строительной площадке «Еруда» в Красноярском крае. За это время сданы в эксплуатацию электрическая подстанция «Тайга», Горнообогатительный комплекс на базе месторождения «Благодатное» с перерабатывающей мощностью 8 млн тонн в год, Склад серной кислоты на Олимпиадинском ГОК, ЗИФ-4, Общежитие на 987 мест, Дробильный комплекс №1, корпус БИО 1-2-3-4, Корпус фильтрации флотоконцентрата, а также ряд других стратегических для группы Компаний Полюс проектов.

В 2010 году открыто строительство на площадке Бодайбо в Иркутской области. Построены: золотоизвлекательная фабрика «Вернинская», дизельная электростанция, более 30 промышленных и бытовых зданий.



В 2011 году стартуют работы на строительной площадке Магадан. Запущены – руднодробильный комплекс, склады химических реагентов, сильнодействующих и ядовитых веществ, очистные сооружения, столовая, объекты основного хвостохранилища.

С 2015 года начаты работы на строительной площадке «Алдан» в республике Саха (Якутия). Введены в эксплуатацию обогатительный комплекс «Надежный» и площадка кучного выщелачивания производительностью до 1,5 тыс. в год.

Основной вид деятельности: 41.20 Строительство жилых и нежилых зданий.

ООО «Полюс Строй» было учреждено в целях строительства, ремонта, реконструкции и выполнения иных видов работ по обслуживанию строительства объектов инфраструктуры предприятий, реализующих проекты по освоению и развитию золоторудных месторождений горнодобывающих и перерабатывающих предприятий и входящих в группу компаний – Акционерного общества «Полюс Красноярск».

Основным видом деятельности является строительство жилых и нежилых зданий.

В 2020 году Общество заключило новые договоры строительного подряда и продолжило работу по заключенным с АО "Полюс Красноярск", АО "Полюс Вернинское", АО "Полюс Магадан" соглашениям об общих условиях выполнения работ по капитальному строительству на объектах по проектам:

- «Горнодобывающее и перерабатывающее предприятие на базе месторождения «Благодатное»;
- «Расширение Олимпиадинского ГОКа по переработке первичных руд до 8 млн. тонн в год».
- «Горно-обогатительный комплекс на базе золоторудного месторождения «Вернинское». Увеличение мощности ЗИФ «Вернинская» до 3500 тыс. тонн в год»;

- «Строительство горнодобывающего и перерабатывающего предприятия на базе Наталкинского золоторудного месторождения»;

- «Линия электропередачи 220 кВ «Усть-Омчуг - Омчак Новая» с распределительным пунктом 220 кВ и подстанцией 220 кВ «Омчак Новая»

Общее собрание участников Общества.

Высшим органом управления Общества является Общее собрание участников Общества.

Единственным участником Общества является Акционерное общество «Полюс Красноярск». Доля в уставном капитале 100%.

Совет директоров Общества.

В соответствии с положениями действующей редакции Устава Общества создание Совета директоров не предусмотрено.

Единоличный исполнительный орган.

С 01 мая 2016 года и на протяжении всего отчетного периода, а также по настоящий момент, полномочия единоличного исполнительного органа Общества исполняет Общество с ограниченной ответственностью «Управляющая компания Полюс» (ОГРН 1167746068236, ИНН 7703405099, место нахождения: Российская Федерация, г. Москва) в соответствии с Решением единственного участника ООО «Полюс Строй» №1 от 29.04.2016).

Ревизионная комиссия.

В соответствии с положениями действующей редакции Устава Общества избрание Ревизионной комиссии/Ревизора Общества не предусмотрено.

Основные технико-экономические показатели компании приведены на рисунке 2.1 – 2.3.

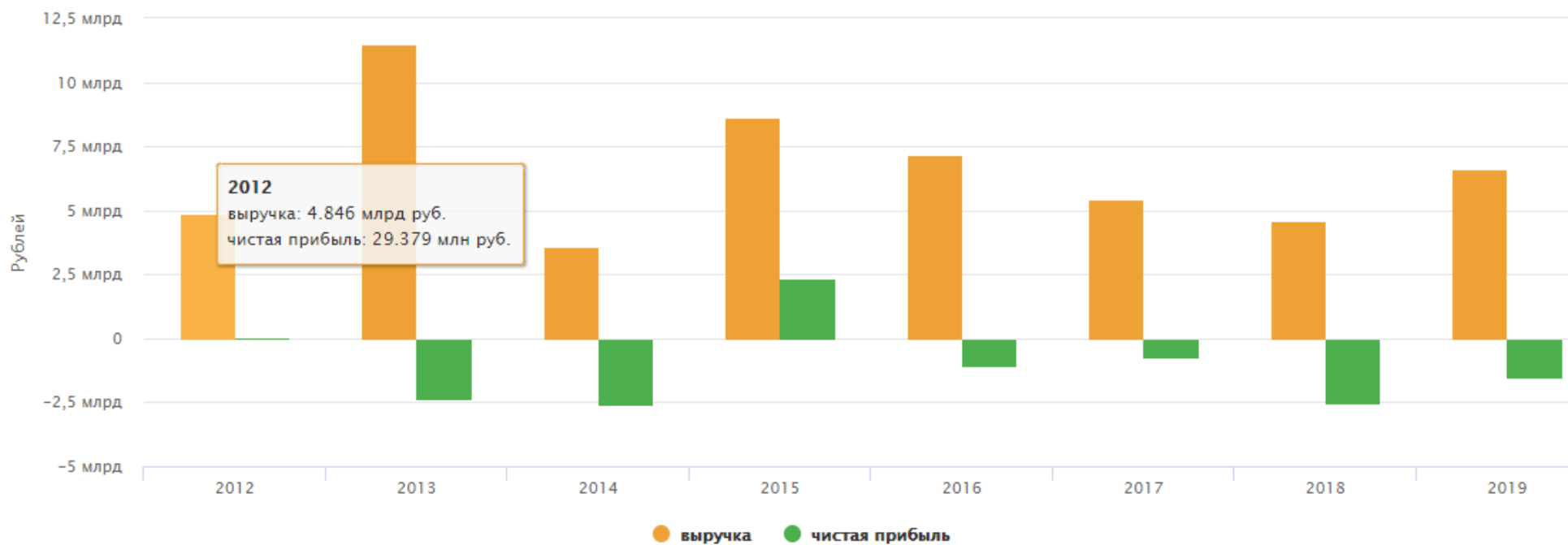


Рисунок 2.1 – Изменение выручки и чистой прибыли компании ООО «Полюс Строй»

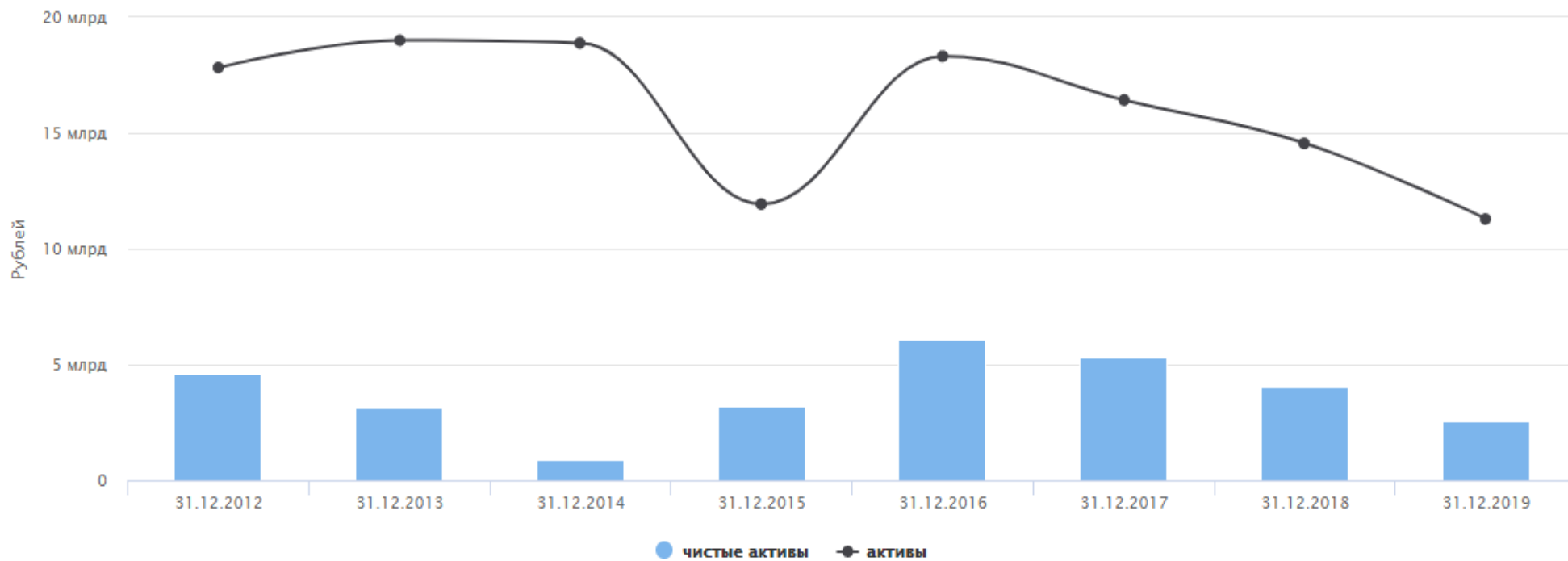


Рисунок 2.2 – Динамика изменения чистых активов и активов компании ООО «Полюс Строй»

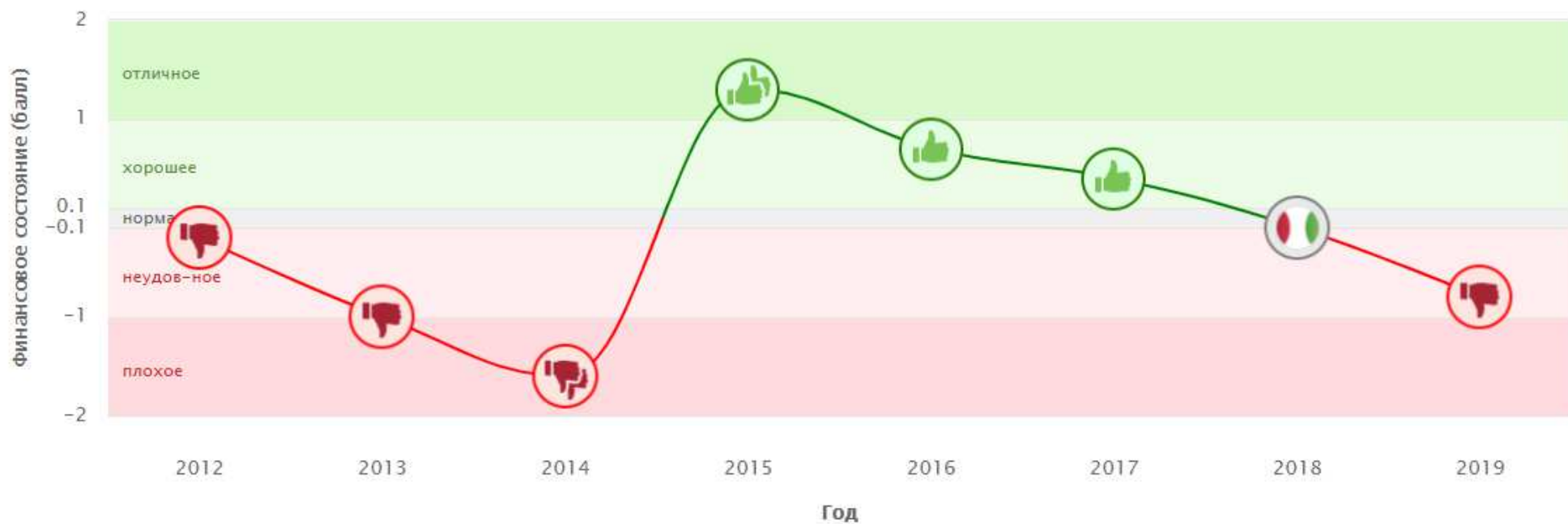


Рисунок 2.3 – История изменения финансового состояния компании ООО «Полус Строй»

## **2.2 Деятельность предприятия в области строительства зданий и сооружений. Перспективы развития цифровых технологий на предприятии**

Всего на четырех строительных площадках за время деятельности Полюс Строй возведено семьсот объектов общей стоимостью более пятидесяти миллиардов рублей. В среднем это шесть реализованных проектов в месяц в течение десяти лет.

Сегодня строительство ведется ежедневно на территории от Енисея до Тихого океана.

Такое количество масштабных объектов строительства, их географическая удаленность, и работа в сложных природных условиях требуют постоянной модернизации производства и совершенствования технологий.

Но успех компании – это личный успех ее сотрудников. Сегодня в Полюс Строй работают тысяча триста человек: монтажники, бетонщики, сварщики, водители и многие другие.

«Полюс Строй» сегодня – это устойчивая динамично развивающаяся компания, которая стабильно увеличивает годовые объемы производства. Рост выполненных объемов (без учета реализации энергетических проектов) с начала 2018 по 2021 год составил 2,7 раза. На 2022 год планируется увеличить производственную программу еще на 40%.

Основной вектор.

Устойчивый тренд на развитие компании был заложен в 2019 году в результате начала реализации программы развития, направленной на повышение эффективности «Полюс Строй». Основной вектор этой программы был направлен на развитие проектного управления, снижение доли ручного труда за счёт механизации и автоматизации процессов строительства и совершенствование механизмов опережающего старта работ (создания функции предварительной подготовки производства).

В ходе реализации программы развития и повышения эффективности «Полюс Строй» удалось за один только 2019 год реализовать ряд значимых

для компании проектов. Запущена в эксплуатацию новая технология термощелочного обогащения пульпы (на этом объекте был впервые апробирован подход недельно-суточного планирования – ноу-хау «Полюс Строй» в рамках развития проектного управления), впервые в России на золотодобывающем предприятии «Полюса» были запущены 2 установки напорной флотации Джеймсон селл, силами «Полюс Строй» введен в эксплуатацию опытный участок получения металлической сурьмы (который позволит в перспективе компании «Полюс» стать крупнейшим производителем полиметаллов).

2020 год выдался для компании непростым, но принципы и подходы, заложенные в 2019 году, позволили не только сохранить выбранный темп, но и приспособиться к новым реалиям выполнения работ в условиях жестких ограничений по Covid-19.

ООО «Полюс Строй» внес существенный вклад в борьбу с мировой пандемией, освоил технологию возведения мобильных обсерваторов в минимальные сроки (2 обсерватора на 2 двух площадках общей численностью на 1000 койко-мест были возведены всего за 23 дня).

Не сбавляя темпов, Полюс Строй с опережением сроков на 1,5 мес. в 2020 году завершил крупную модернизацию 7 чанов отделения биоокисления №3 (в новой для себя роли генерального подрядчика), завершил строительство нового сгустителя ЗИФ-3 (где в рамках развития инжиниринговых компетенций организовал перепроектирование монолитных фундаментов на сборный железобетон, что позволило раньше на 1 месяц завершить строительство), на 2 недели ранее срока смонтировал новую мельницу в рамках проекта расширения ЗИФ Вернинская (что позволило увеличить объем переработки фабрики до 3,2 млн. тонн в год).

Проекты – масштабные...

Также в 2020 году с участием «Полюс Строй» завершился крупнейший энергетический проект государственно-частного партнерства стоимостью бо-



лее 10 млрд., который позволил вывести Наталкинский ГОК на проектные показатели и дал новый старт развитию золотодобычи во всем Магаданском регионе.

Этот проект стал еще одной опорной точкой развития специализации «Полюс Строй», т.к. за его плечами уже были аналогичные крупные энергетические проекты компании (строительство РП «Полюс» в Бодайбинском районе, строительство подстанции Тайга с линией электропередач 220 кВ).

Успехи, достигнутые в 2019-2020 году не остались незамеченными. «Полюс Строй» привлечен к реализации мега-проекта ЗИФ-5 в качестве генерального подрядчика по подготовительным работам. В настоящее время уже возведен, подключен к сетям и введен в эксплуатацию соответствующий самым современным стандартам вахтовый городок на 500 мест, приобретен и смонтирован современный бетонный завод производительностью 50 м<sup>3</sup>/ч., до конца года планируется ввести в эксплуатацию дробильно-сортировочный комплекс.

Также в 2020 году апробирован новый подход управления комплексной механизацией, который позволил в 2 раза увеличить производительность техники при выполнении земляных работ. Вследствие применения новых подходов управления комплексной механизацией «Полюс Строй» на 2022 год рассматривается компанией в качестве генерального подрядчика по управлению земляными комплексами с потенциальным объемом переработки земли до 10 млн. м<sup>3</sup> в год.

Тем не менее, стратегические планы компании ООО «Полюс Строй» требуют реализации масштабных проектов модернизации и ввода новых мощностей уже в ближайшие годы. Объем инвестиций оценивается ежегодно 30-50 млрд. руб.

Для безусловного выполнения стратегических планов компании «Полюс» в условиях макроэкономической нестабильности требуется наращивать долю портфеля проектов внутреннего подрядчика (внутреннего сервиса) - дочерней компании «Полюс Строй», а «Полюс Строю» в ближайшие 3 года необходимо еще в 2-3 раза нарастить темпы строительного производства.

Для выполнения этой амбициозной задачи в ноябре 2020 года завершилась разработка бизнес-стратегии «Полюс Строй», в которой было определено 15 направлений развития и разработано порядка 80 мероприятий, реализация которых позволит «Полюс Строй» выступить в статусе универсального генерального подрядчика, способного эффективно руководить строительством.

Среди ключевых направлений и мероприятий стратегии Полюс Строй можно выделить: создание Центра операционного управления строительством (на базе успешно опробованного в 2019 году управления на основе недельно-суточного планирования), стандартизация подходов к управлению мобилизацией персонала, развитие функции управления субподрядом, разделение функции ремонтов и управления техникой, создание системы управления техникой на основе комплексного планирования и управления механизмами, внедрение управленческого учета и усиление специализации ООО «Полюс Строй» на приоритетных видах деятельности.

Кадры решают все.

Внедрение комплексной программы трансформации «Полюс Строй» в рамках стратегии требует ускоренного наращивания квалификации рабочего и линейного персонала. Для этого уже разработаны и реализуются новые и старые программы развития (школа бригадира, ОПОРА ПСП и другие). В основу всех программ заложены базовые ценности компании – это безопасность и эффективность. Также программа развития рабочего и линейного персонала предусматривает большое количество мероприятий по улучшению социально-бытовых условий и условий труда.

Изменения должны коснуться также пересмотра и развития управленческих навыков руководителей. К концу 2021 года планируется разработать Стандарт работы руководителя, который потребует масштабного развития навыков из категории soft-skills, таких как эффективная коммуникация (активное слушание, обратная связь, управление конфликтами), структурирование проблем (определение первопричин), навыки эффективной постановки задач

и проектного управления, обязательное знание инструментов бережливого (lean) производства и т.д.

Все учетные программы реализуются в соответствии с лучшими образовательными стандартами, во тесном взаимодействии с лучшим ВУЗом Красноярского края – Сибирским Федеральным Университетом.

Рост профессионализма и компетенций коллектива обеспечит в будущем не только выполнение стратегических задач компании «Полюс», но и повысит конкурентоспособность компании «Полюс Строй» на рынке профессиональных генеральных подрядчиков.

Первые ростки на заданном курсе «Полюс Строй» начинает получать уже сейчас (выработка «Полюс Строй» увеличилась на четверть в 2020г. по сравнению с 2019г. и почти вдвое в 2019г. в сравнении с 2018г.). Следующий стратегический рубеж – это полная безубыточность деятельности компании. Формула успеха «Полюс Строй», как будущего генерального подрядчика группы «Полюс», достаточно проста – это профессионализм, помноженный на инженерную мысль и современные строительные технологии.

Ключевым фактором в этой формуле являются наши люди (строители), которые день и ночь в суровых условиях, не жалея сил, создают наше будущее, будущее компании «Полюс» и будущее страны.

За 12 лет работы реализован ряд крупных проектов, существенно повлиявших на технологические процессы в зоне присутствия золотодобывающих предприятий публичного акционерного общества «Полюс». Построено более 1000 объектов, освоено более 50 млрд рублей, возведены 4 вахтовых поселка с необходимой социальной и производственной инфраструктурой в разных регионах России – от Красноярского края до Магадана. На 4-х площадках активное строительство идёт и сейчас. Специалисты предприятия занимаются не только строительством зданий, сооружений и всей сопутствующей инфраструктуры, но их реконструкцией и модернизацией.

Предприятие динамично развивается, в ООО «Полюс Строй» активно решают оперативные задачи, строят перспективные планы, достигают поставленных целей. В числе приоритетных задач – возведение стратегически важных объектов для всех бизнес-единиц публичного акционерного общества «Полюс».

За 12 лет существования компании было образовано 4 строительных площадки, территориально расположенных в 4-х точках России:

- Еруда;
- Бодайбо;
- Магадан;
- Алдан.

В настоящее время сотрудники «Полюс Строй» работают в трех регионах РФ, в разных часовых поясах. Над проектными задачами трудятся более 2000 сотрудников.

Обособленные структурные подразделения ООО «Полюс Строй» – строительные площадки. В составе каждой строительной площадки функционируют участки: механизации, строительного-монтажного, сантехмонтажного, электромонтажного, участок по эксплуатации и ремонту техники.

На строительных площадках, в суровых природно-климатических условиях, трудятся бетонщики, электрогазосварщики, каменщики, монтажники, сантехники, водители, машинисты тяжелой техники и грузоподъемных машин, электромонтажники и работники других специальностей.

Сотрудники «Полюс Строй» в соответствии с проектной документацией, строительными нормами и правилами, техническими условиями выполняют полный комплекс строительного-монтажных работ, в том числе: бетонные работы, монтаж технологического оборудования, изготовление, сборка сантехнических и вентиляционных систем, возведение каркасов зданий и сооружений из металлоконструкций, отделочные работы, огнезащиту строительных конструкций, а также комплекс электромонтажных работ: прокладка электрических сетей (как внутренних, так и внешних), возведение высоковольтных

линий электропередач, подключение технологического оборудования, пусконаладочные работы.

### **2.3 Анализ экономической эффективности применения информационного моделирования при проектировании и строительстве зданий на базе ООО «Полюс Строй»**

В настоящее время на базе предприятия ООО «Полюс Строй» начинает активно развиваться проектирование зданий и сооружений для различных заказчиков с использованием цифрового моделирования. Такой подход позволяет значительно сократить время на создание рабочих чертежей по каждой марке проекта. Кроме того, все расчеты, которые необходимы при проектировании (расчет строительных конструкций, тепловые расчеты, прочностные расчеты трубопроводов) также выполняются с использованием специализированного ПО.

Одним из первых таких проектов является проект твердотопливной автоматизированной котельной, установленной мощностью - 10,0 МВт, оборудованной четырьмя котлами КВм-2,5ШП.

На рисунке 2.4 приведены фасады запроектированной котельной, которые автоматически отображаются в ПО Autodesk Revit из разработанной 3D модели.

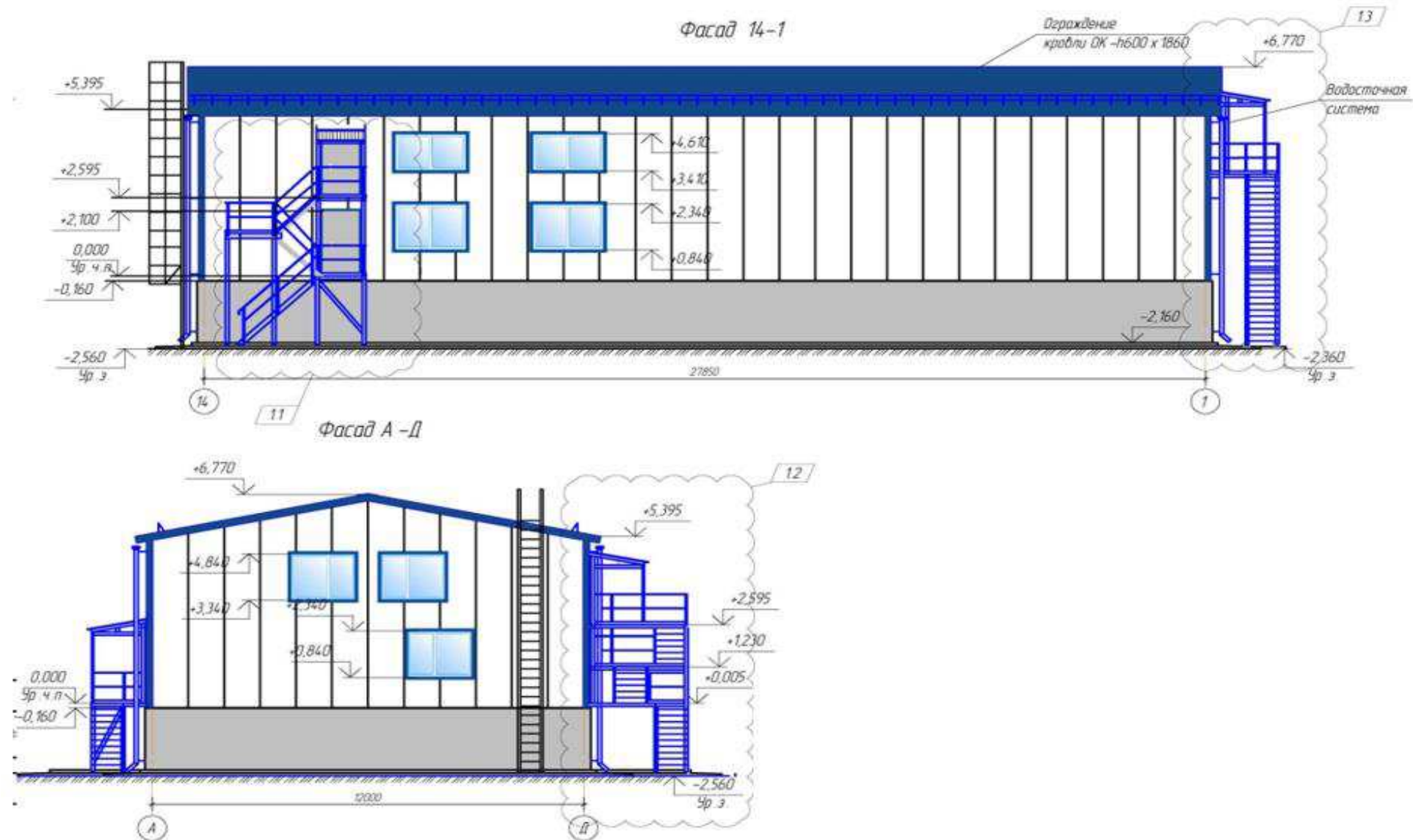


Рисунок 2.4 – Фасады здания котельной

Котельная предназначена для теплоснабжения технологических объектов горно-обогатительного комплекса на базе золоторудного месторождения «Вернинское», расположенных по адресу: Иркутская область, Бодайбинский район.

Проектируемое здание котельной представляет собой каркасное блочно-модульное здание с размерами в осях 27,85x12,0 м и высотой в коньке 6,77м. Внутри здания имеется 2х этажная встройка на отметках 0,000 и +2,540 и площадка обслуживания котлов на отметке +3,410.

В осях 1-13 расположены котельный зал и помещение операторской, в осях 13-14 расположены электрощитовая, слесарная мастерская и административно-бытовые помещения. На рисунке 2.5 приведены фасады здания котельной.

Назначение и расположение помещений внутри здания обусловлено функциональными требованиями к зданию, санитарно-гигиеническими и противопожарными нормами, а также соображениями удобства эксплуатации.

Наружные стены выполнены из стеновых панелей типа «Сэндвич» заводской готовности с минераловатным утеплителем толщиной 150 мм ГОСТ 32603-2012.

Кровля двускатная с неорганизованным водостоком с уклоном 12°, выполненная из кровельных панелей типа «Сэндвич» заводской готовности с минераловатным утеплителем толщиной 200 мм по ГОСТ 32603-2012.

Котельная угольная установленной мощностью 10,0 МВт представляет собой двухэтажное каркасное блочно-модульное здание с размерами в осях 27,85x12,0 м и высотой в коньке 6,77м. В здании два этажа на отметках 0,000 и +2,540 (в осях 12-14) и площадка обслуживания котлов на отметке +3,410 в осях 1-11.

Каркас здания котельной представляет собой комплекс несущих конструкций, соединенных в блок-модули заводской готовности, воспринимающих и передающих на фундамент нагрузки от веса ограждающих конструкций, снеговые и ветровые нагрузки, а также нагрузки от собственного веса



конструкций. Размеры блок-модуля в плане составляют 3,05x12,0 м. Между блок-модулями используются межмодульные проставки шириной 1,0 м и 1,5 м.

Конструкции наружных стен здания котельной - трехслойные сэндвич-панели с минераловатным утеплителем толщиной 150 мм, кровельные сэндвич-панели толщиной 200 мм. Сэндвич-панели приняты заводской готовности.

Стеновые панели должны иметь сертификаты пожарной безопасности на соответствие требованиям по огнестойкости. Монтаж стеновых панелей необходимо вести с соблюдением технологии и типовых монтажных узлов завода изготовителя панелей.

Компоновка здания определяется расположением технологического (котельного) оборудования и обеспечивает минимально-возможные теплопотери через ограждающие конструкции.

Расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды блочно-модульной котельной:

- расход воды на нужды внутреннего пожаротушения, в соответствии с п. 4.1.1 таблица 2 СП 10.13130.2009, для производственных зданий IV степени огнестойкости, категории пожарной опасности «В» и строительным объемом менее 5 тыс. м<sup>3</sup> - 2x2,5 л/сек;
- расход воды на хозяйственно-бытовые помещения, с учетом расхода на подготовку ГВС составляет - 0,091 м<sup>3</sup>/ч (2,2 м<sup>3</sup>/сут).

В соответствии с табл.3 СП 8.13130.2009 требуемый расход воды на наружное пожаротушение составляет 15 л/с.

Наружное пожаротушение осуществляется пожарной техникой от гидрантов, расположенных на территории площадки ЗИФ

На рисунке 2.5 приведен аксонометрический вид технологического оборудования, расположенного в котельной. На рисунке 2.6 приведены узлы технологической обвязки котлов, а на рисунке 2.7 приведен план котельной.

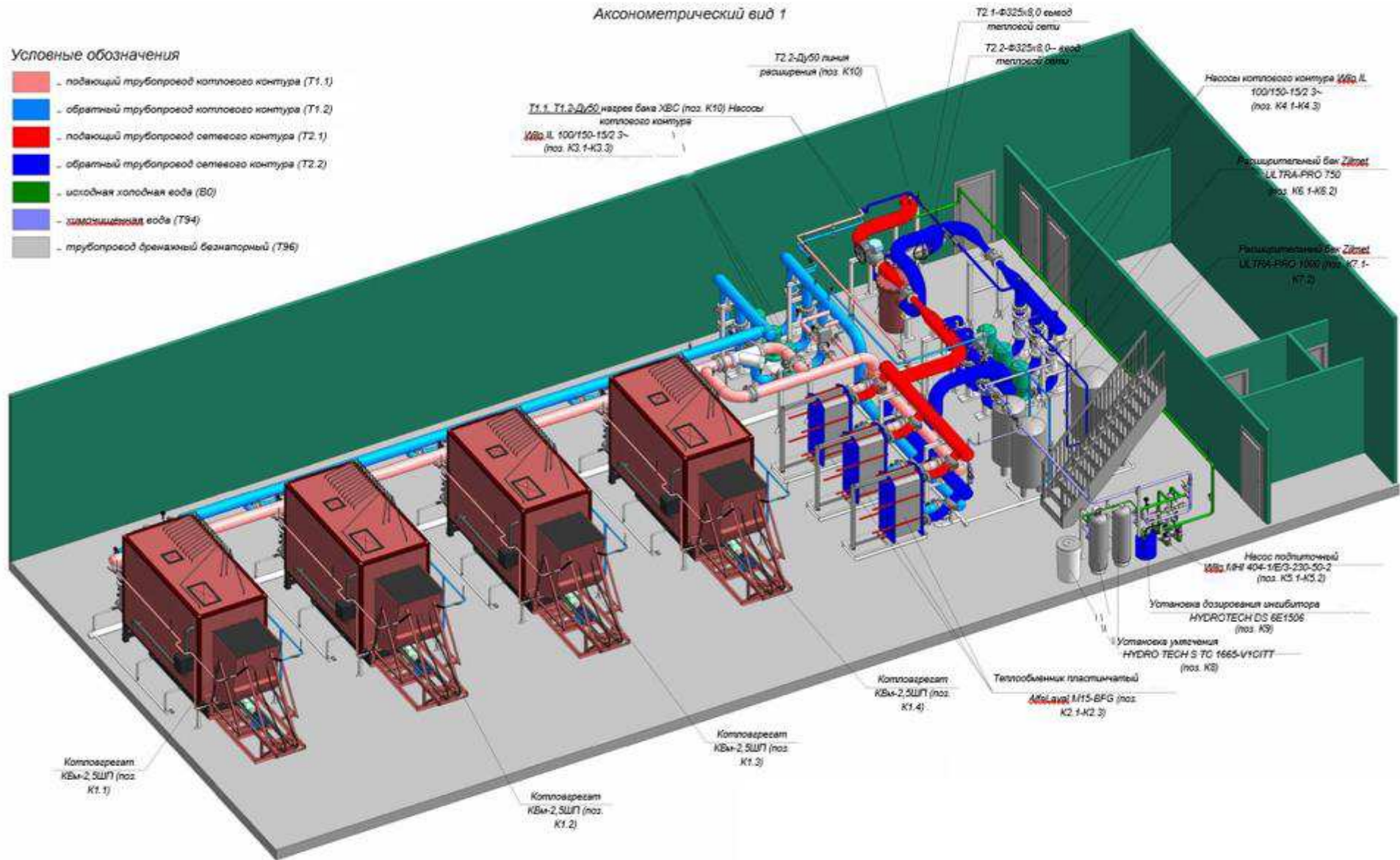


Рисунок 2.5 – Аксонометрический вид котельной с технологическим оборудованием

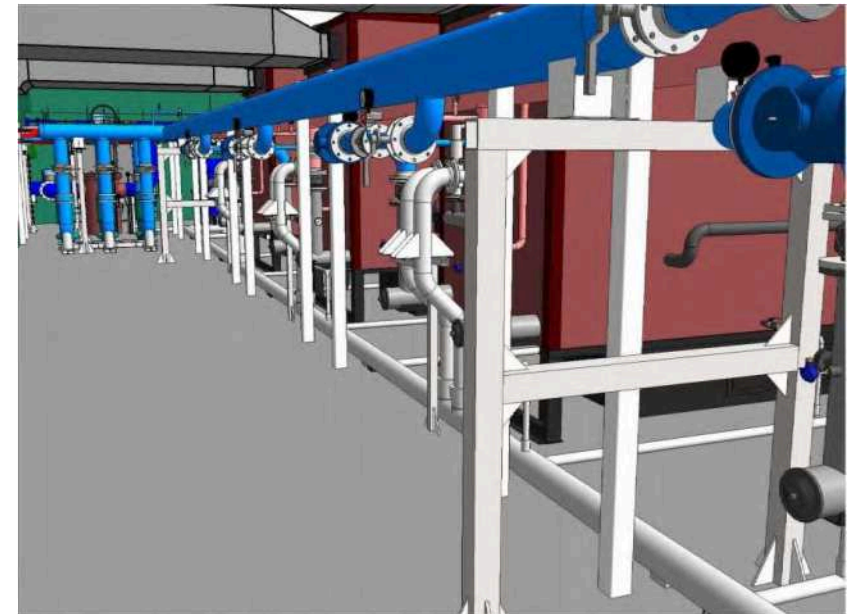
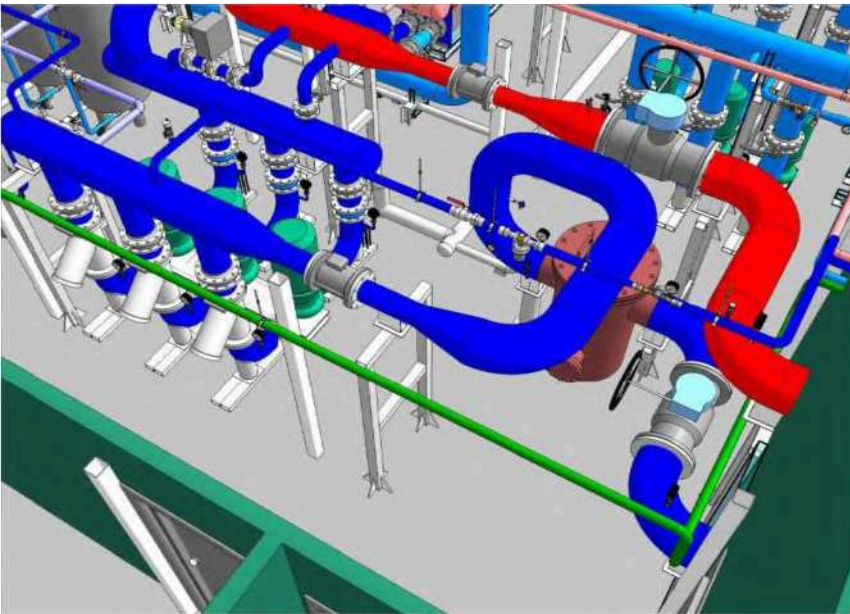
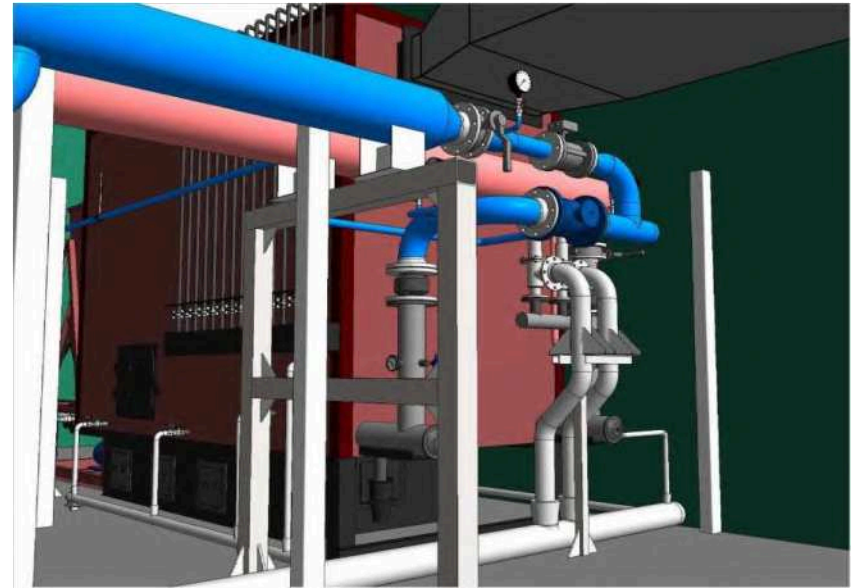
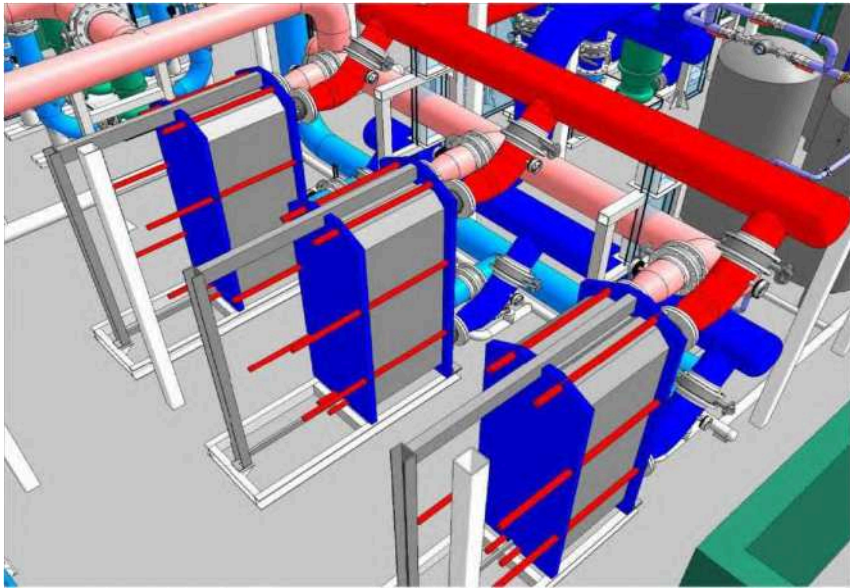


Рисунок 2.6 – Узлы технологической обвязки котловых агрегатов.



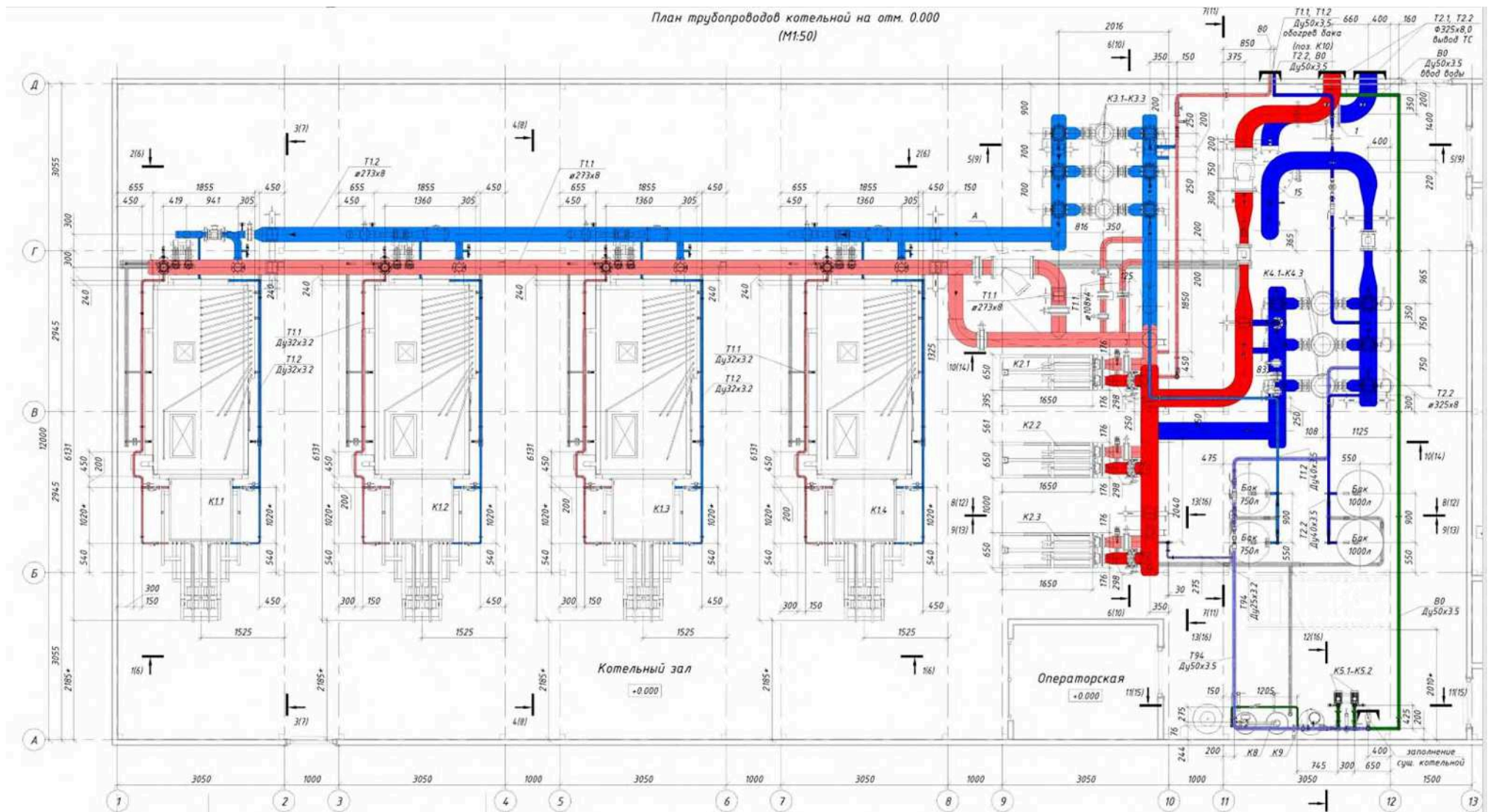


Рисунок 2.7 – План технологического оборудования котельной с привязочными размерами.

Из рисунков 2.4 – 2.6 видно расположение внутри котельной на стальных опорных конструкциях трубопроводов горячей (красные линии) и трубопроводов холодной воды (синие линии). Они имеют достаточно сложную конфигурацию, вследствие стеснённых условий прокладки внутри здания котельной.

Цифровая 3D модель позволяет получить наглядное расположение технологических трубопроводов, увидеть их пересечение с другими коммуникациями и строительными конструкциями, а также отследить ненормативное сближение трубопроводов друг с другом.

По результатам анализа деятельности предприятия при проектировании здания котельной с использованием цифровой модели было отмечено повышение следующих технико-экономических показателей по сравнению с аналогичными проектами, выполненными без применения цифровой модели (см. рисунки 2.8 – 2.9).

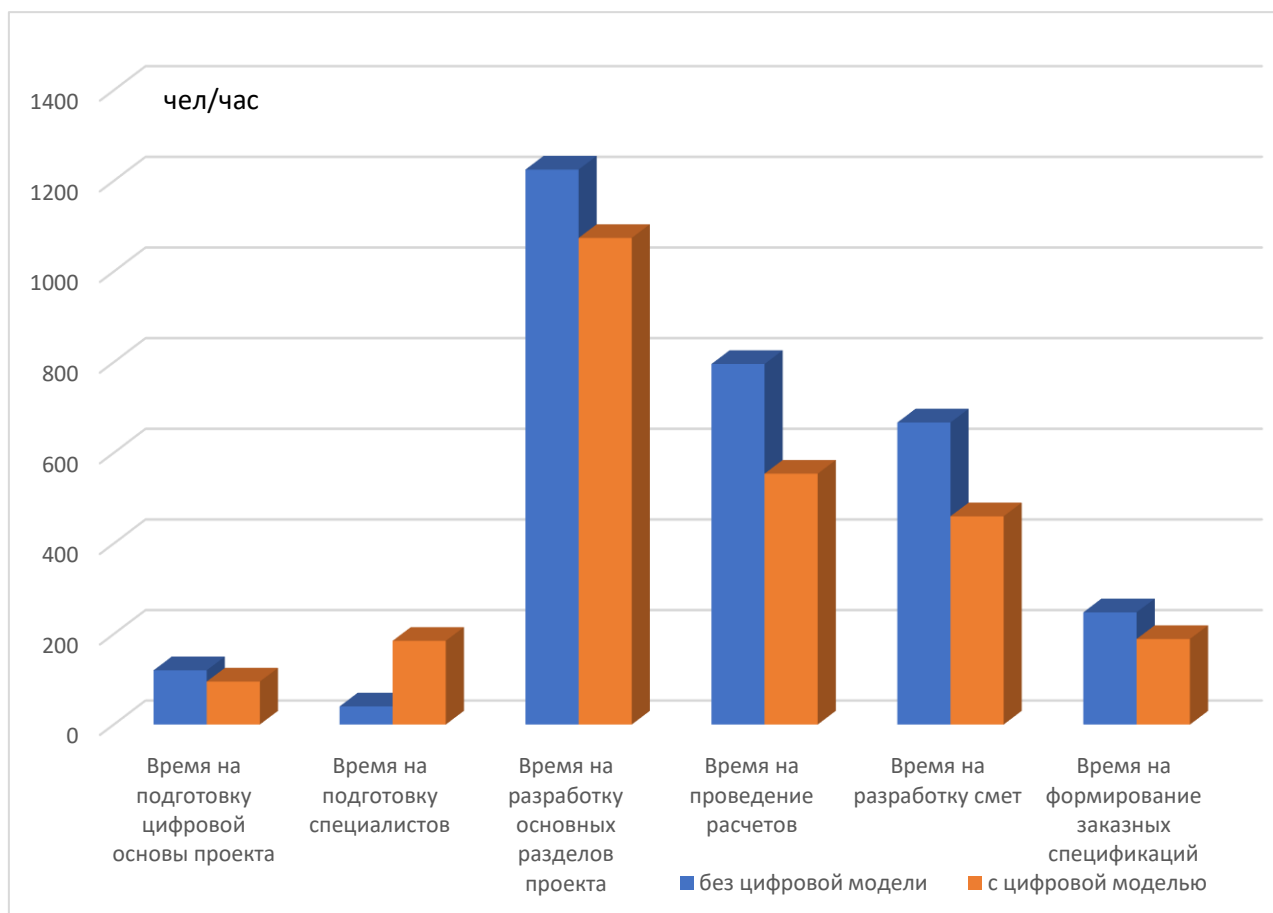


Рисунок 2.8 – Экономия времени специалистов предприятия на виды работ при проектировании объекта

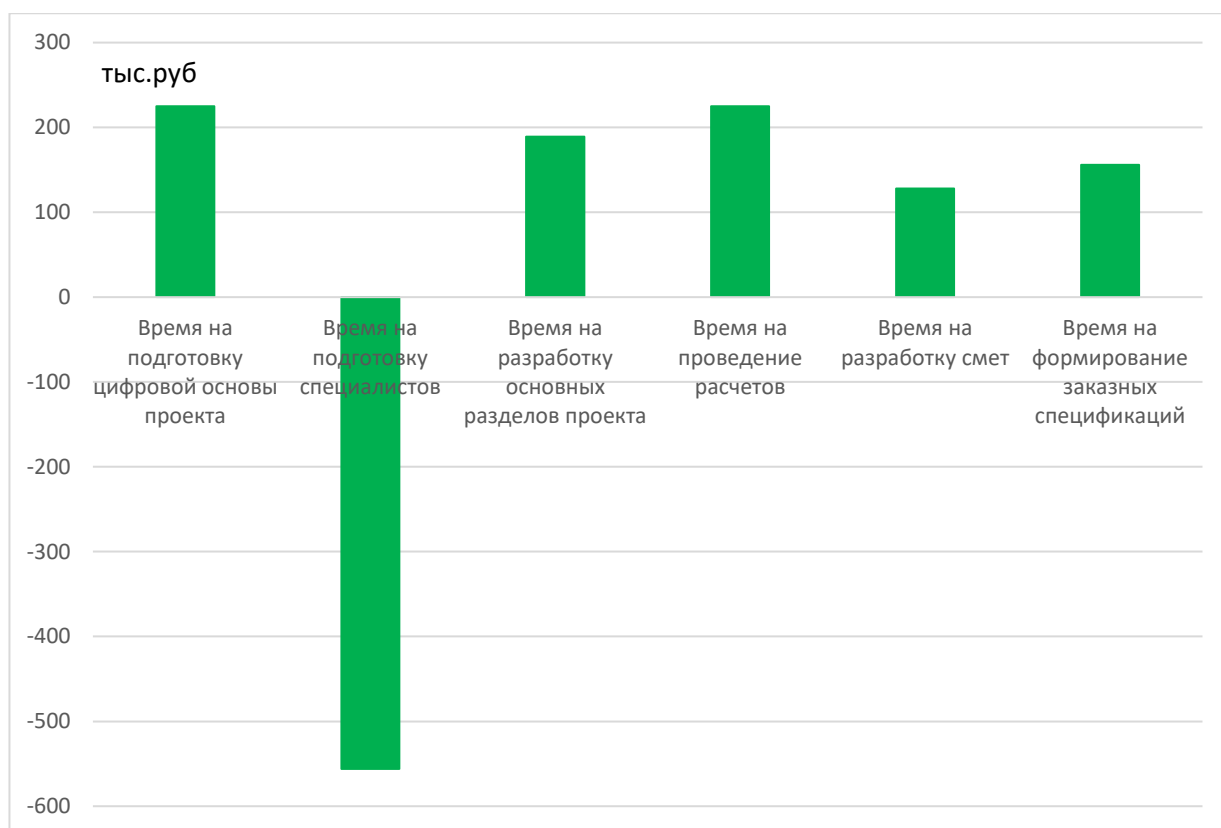


Рисунок 2.9 – Экономия средств предприятия по видам работ за счет снижения трудозатрат

Как показывают приведенные выше диаграммы, предприятие имеет экономию во времени, затрачиваемом на проведение основных видов работ по проектированию объекта. Экономия времени составляет в сумме по всем работам 539 чел/час.

Экономия средств предприятия за счет снижения затрат времени на проектирование (даже с учетом повышения затрат на обучение персонала новым видам программного обеспечения и работу в нем) составляет 367 тыс.руб.

Небольшая экономия объясняется тем, что данный проект является одним из первых, и технология работы с цифровой моделью еще недостаточно отлажена в рамках данного предприятия. Однако, прослеживается положительная тенденция к снижению расходов. Одним из путей повышения эффективности цифрового проектирования является наличие квалифицированного персонала.

По окончании разработки проекта вся документация передается Заказчику для проверки. После получения замечаний к проекту, производится его корректировка. Заказчик передает весь комплект проектной документации подрядчику по строительству. На ее базе подрядчик формирует проекты производства работ (на разные виды работ), а также составляет комплект разрешительной документации.

На рисунке 2.10 приведен стройгенплан строительной площадки с расположением на ней техники для строительства здания.

Автоматически из цифровой модели забирается информация о генеральном плане здания, планировочной организации рельефа, подъездных путях.

На основании разработанной разрешительной документации Подрядчик по строительству осуществляет:

1. Подготовку территории строительства;
2. Создание внутриплощадочной базы хранения материалов;
3. Обеспечение объекта строительства необходимой техникой и материалами;
4. Возведение нулевого цикла и фундаментов под здание котельной, площадку циклонов, склад ЗШУ, дымовую трубу, бункер углеподачи, площадки для установки резервуара холодной воды, пандусы №1 и №2;
5. Монтаж металлических конструкций и оборудования;
6. Монтаж конструкций инженерных сетей;
7. Монтаж технологического оборудования;
8. Благоустройство и озеленение.

По габаритным размерам площадки работ выбирается строительная техника, исходя из радиусов перемещения ее рабочих органов, а также с учетом габаритов строящегося здания (см. рисунок 2.10).





Таким образом, использование цифровой модели здания позволяет экономить средства ООО «Полюс Строй» и своевременно переключать специалистов, которые уже выполнили работу над проектом, на другие задачи. Это приводит к росту суммарной прибыли предприятия и возможности выполнения нескольких проектов за то же самое время, за которое ранее был выполнен всего один проект.

## **2.4 Оценка коллизий и проблемы цифровых моделей**

Значительной проблемой при создании цифровых моделей и их отладке является появление коллизий. Коллизия представляет собой пересечения отдельных геометрических элементов, которые входят в состав цифровых моделей. Кроме того, к коллизиям относятся нарушения нормируемых расстояний между разными элементами цифровой модели здания или сооружения.

После завершения проектирования отдельных узлов цифровой модели, либо ее отдельного этапа, производится проверка на коллизии.

На рисунке 2.11 приведен предлагаемый к применению в компании ООО «Полюс Строй» алгоритм проверки цифровой 3D модели на коллизии. Проверка на коллизии включает следующие этапы:

- 1) подготовка цифровой модели по всем разделам и маркам проекта;
- 2) создание наборов элементов модели, для которых будет проведена проверка на коллизии;
- 3) автоматизированная проверка на коллизии в специализированном ПО;
- 4) формирование отчета по коллизиям;
- 5) при идентификации коллизий, специализированное ПО предлагает пути их устранения.

В итоге проверки формируется финальный журнал проверки на коллизии в формате HTML или XLSX.

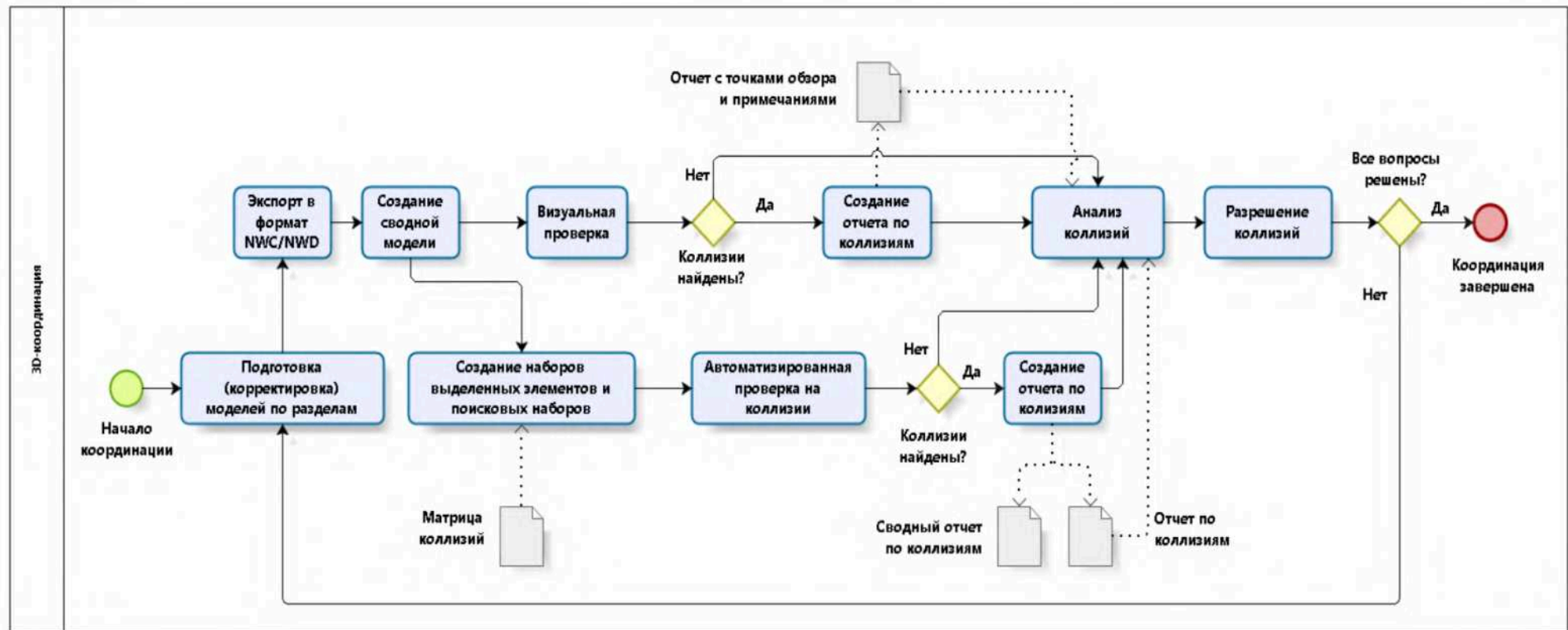


Рисунок 2.11 – Алгоритм проверки 3D модели на коллизии

Специализированная система CADLib Модель и Архив обнаруживает коллизии и выделяет их сигнальным треугольником, а затем сохраняет их в БД, как специализированный объект, который называется «Коллизия».

В качестве отдельных видов коллизий проекта могут быть выявлены следующие:

- пересечения объектов;
- нарушение требований нормативной документации в части расстояний между коммуникациями;
- ошибки в трубопроводной обвязке (например, изменение диаметра трубопровода с одного на другой без установки перехода, использование трубопроводной обвязки, усложняющей проект);
- обнаружение в проекте «пустышек» и «подложек», которые как вспомогательные объекты используются проектировщиками в процессе создания модели;
- оценка на эргономику (проверка запроектированных подходов к оборудованию, высоты проходов под трубопроводами, отсутствие доступа к трубопроводной арматуре, приборам замера количества продукции).

При проверке цифровой модели на эргономику, система CADLib Модель и Архив запускает специализированную функцию «гравитации и проверки столкновений», которая подразумевает перемещение внутри здания или сооружения виртуального человека. Если человек свободно проходит под коммуникациями, то они расположены верно (см. рисунок 2.12). Однако, если для управления задвижкой ему приходится использовать дополнительные подручные средства, то необходимо доработать проект и предусмотреть стационарную площадку обслуживания с лестницей, либо переносную лестницу.

Таким образом, проверка на эргономичность позволила добавить в цифровую модель здания не запроектированные строительные конструкции для обслуживания высокого расположенной задвижки.



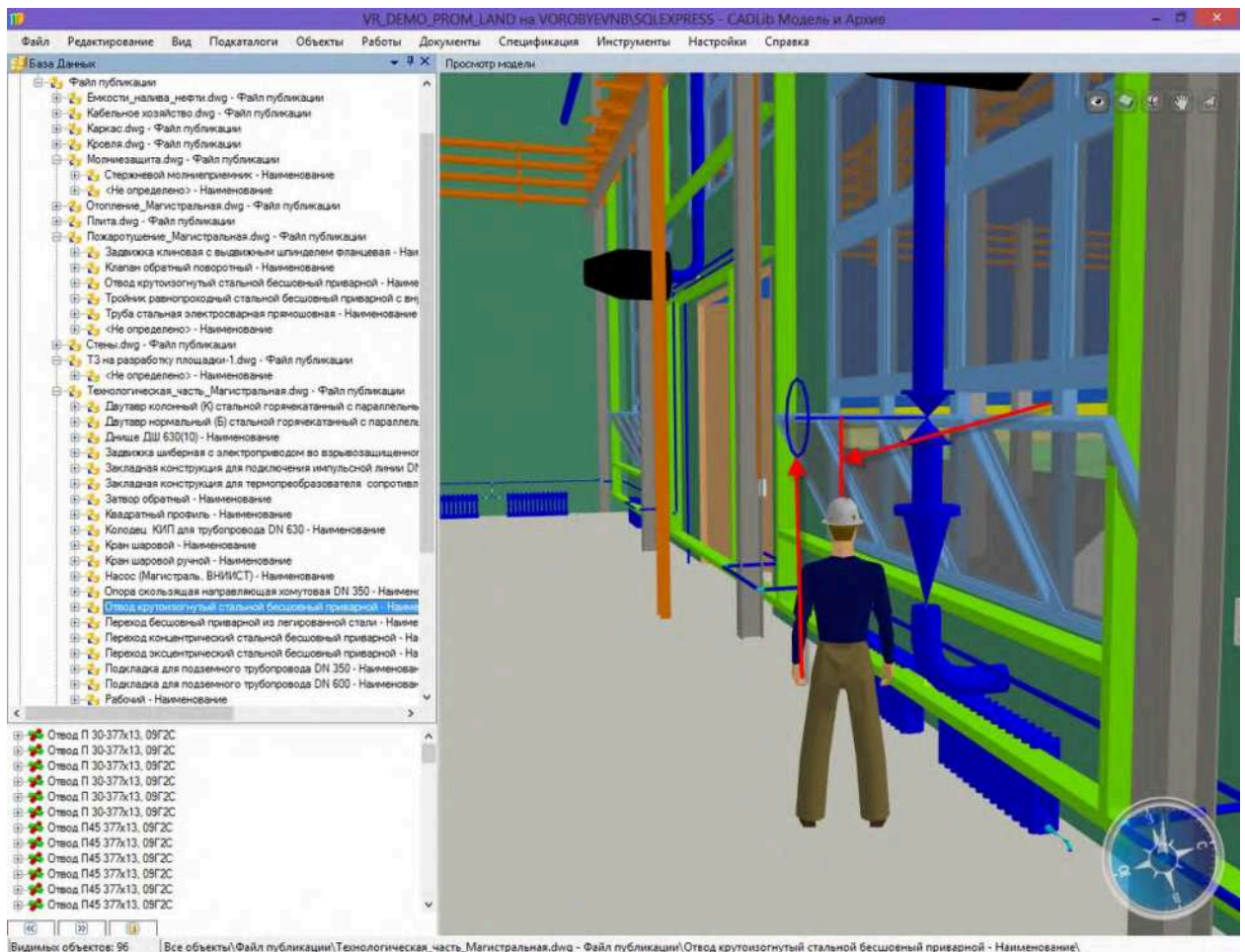


Рисунок 2.12 – Проверка цифровой модели на эргономичность

Помимо указанных выше проверок, также возможно проведение анализа цифровой модели на безопасность. Эта проверка предусматривает автоматический замер зон и расстояний безопасности, проверка наличия эвакуационных путей, проведение анализа модели с целью принятия решений о способах устранения возможных аварий. То есть при разгерметизации трубопровода с ЛВЖ или ГЖ возможно моделирование радиусов зоны поражения и оценка охвата этой зоной эвакуационных путей (см. рисунок 2.13).

Моделирование коллизий, связанных с аварийной ситуацией на производстве, позволяет выявить правильность принятых технических решений, способных обеспечить безопасность персонала и его беспрепятственное передвижение внутри здания.

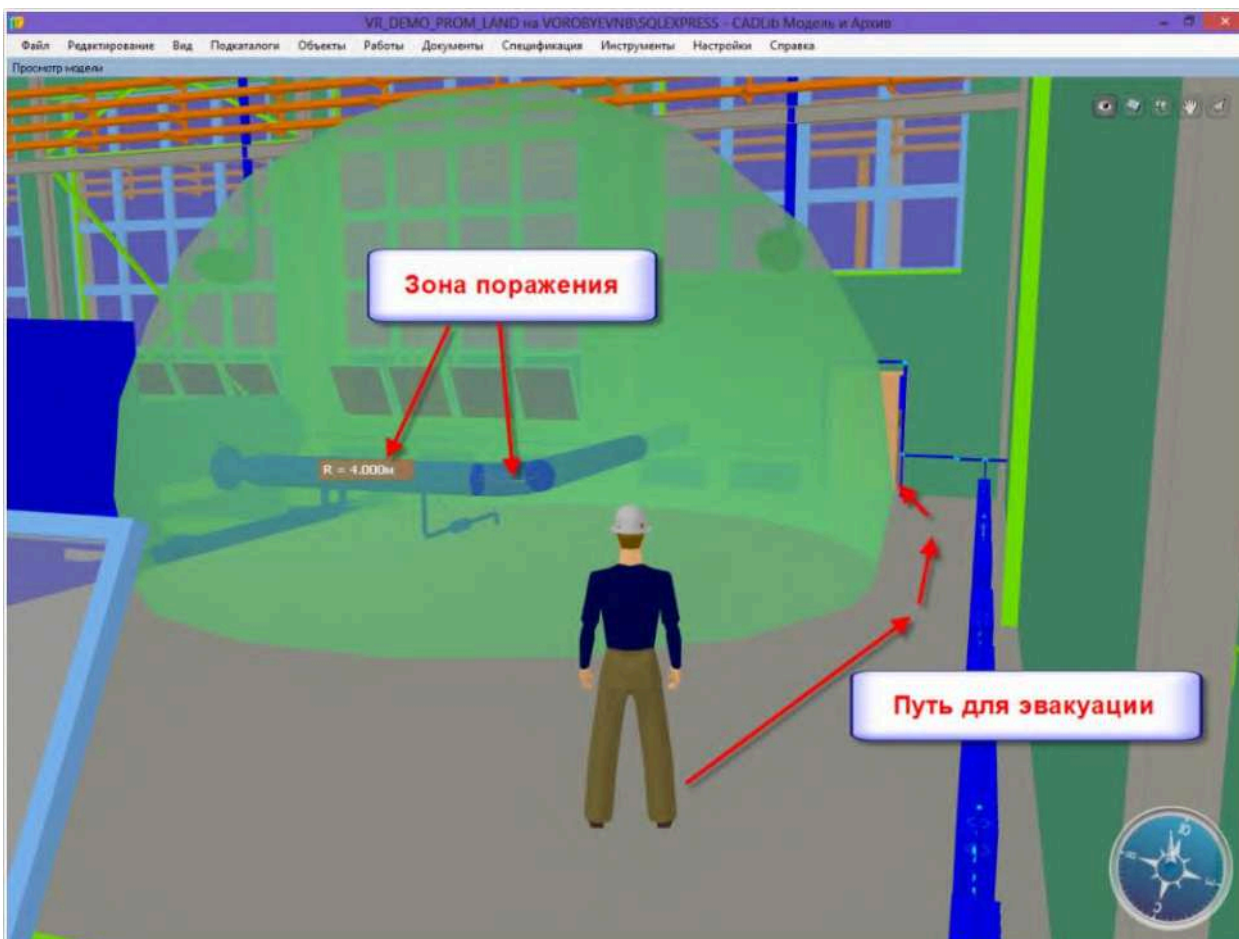


Рисунок 2.13 – Имитация размеров зоны поражения персонала при проверке коллизии, связанной с аварийной ситуацией на производстве

Проведение проверки на безопасность при аварийных ситуациях дает возможность спрогнозировать развитие аварии внутри здания и определить уровень безопасности персонала.

На рисунке 2.14 представлен процесс проверки коллизий в здании котельной на предмет расположения конструктивных элементов, запроектированных в марке АС, а также трубопроводных коммуникаций марки ТХ и кабельной продукции марок АК и ЭО.

На рисунке 2.15 приведено обнаружение коллизии по неверному расположению колонны, которая смещена от ее нормативного положения. Из рисунка 2.15 видно, что колонна проходит через плиту перекрытия в ненормативном месте.

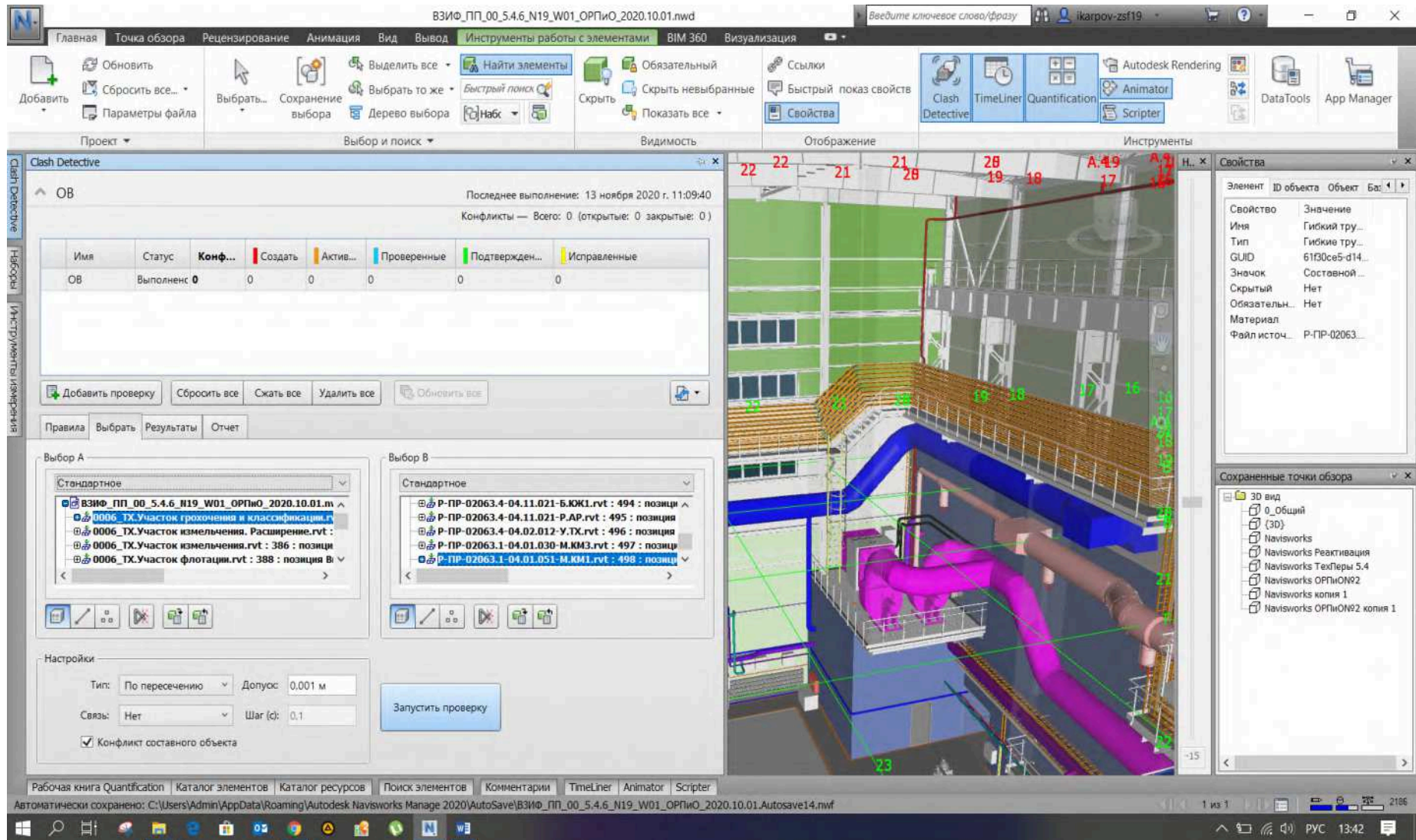


Рисунок 2.14 – Экранная форма технологической обвязки котлов, подготовленная к проверке коллизий на конкретном участке



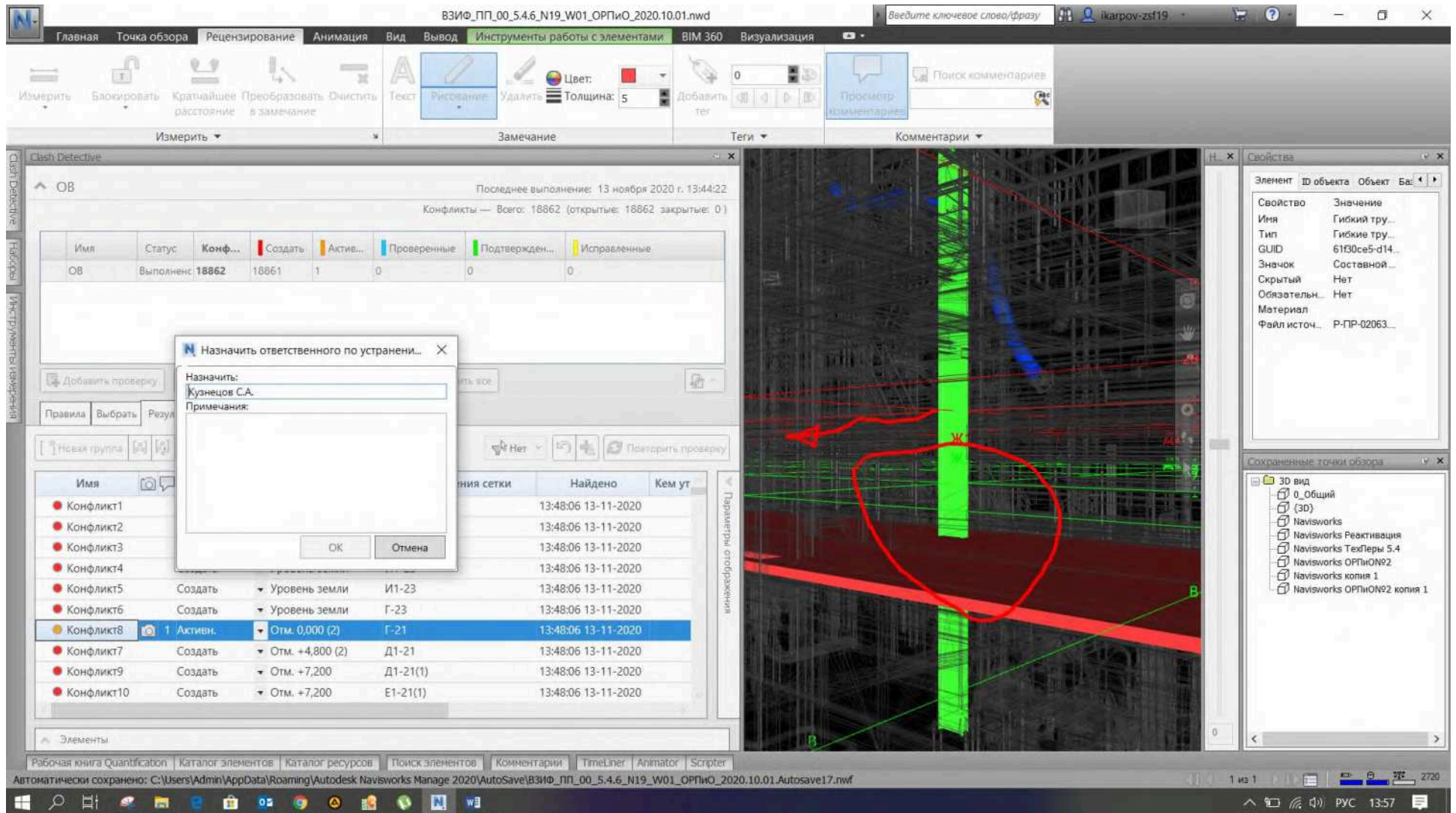


Рисунок 2.15 – Обнаружение коллизий при пересечении колонной плиты перекрытия в ненормативном месте

Таким образом, по результатам проведенного анализа деятельности ООО «Полнос Строй» можно заключить, что на предприятии происходит интенсивное развитие новых информационных технологий, которые применяются, как в строительстве, так и в проектировании промышленных и гражданских объектов.

Новым направлением деятельности предприятия является проектирование зданий и сооружений. При этом активно развивается цифровое моделирование и создание BIM-моделей зданий. Одним из первых проектов было здание котельной для ГОК золоторудного месторождения «Вернинское», на базе которого проводились описанные ниже исследования проблем цифрового проектирования.

### **3 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ**

#### **3.1 Исследование типовых ошибок, возникающих при создании цифровой модели**

При исследовании работы с цифровой моделью, которая проводилась в компании ООО «Полус Строй», были проанализированы причины, влияющие на ее качество и время, затрачиваемое на разработку.

Выделим наиболее опасные факторы, которые необходимо учитывать при работе с цифровой моделью, с целью повышения качества выпускаемой по ней документации.

В таблице 3.1 приведены виды ошибок, которые были обнаружены при работе с цифровой моделью котельной и их количество, которое было установлено по результатам проверки коллизий и составлении графика работ.

Таблица 3.1 – Причины ошибок при работе с моделью

Виды ошибок	Количество ошибок, шт
Не полная идентификация ошибок, в модели	21
Не соответствие технических решений выданным заданиям	47
Не высокий уровень владения ПО	35
Не соответствие графика работ фактической ситуации по проекту	3
Пересечения коммуникаций, запроектированных в разных марках проекта	123
<b>ВСЕГО</b>	<b>229</b>

На рисунке 3.1 дана диаграмма распределения выявленных ошибок по проекту котельной.

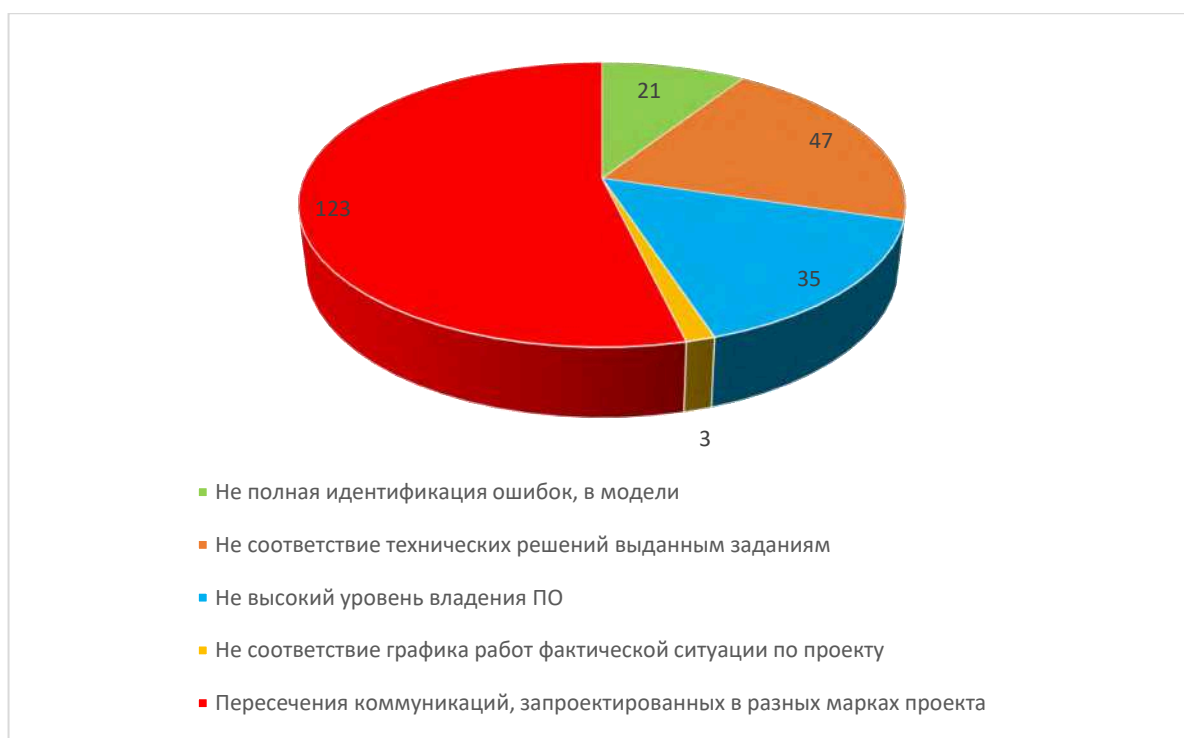


Рисунок 3.1 - Диаграмма распределения выявленных ошибок по проекту котельной

Для оценки и выбора наиболее популярных ошибок, которые встречаются при работе с цифровой моделью зданий и сооружений был использован экспертный метод оценки.

Для дальнейшего исследования в качестве основных ошибок были выбраны те, которые представлены в таблице 3.1. Кроме того, были выделены причины этих ошибок или факторы, влияющие на качество цифровой модели. Им присвоены индивидуальные коды:

К таким факторам относятся:

- отсутствие необходимого ПО – С1;
- не отработанный режим труда и отдыха – С2;
- низкий уровень руководства проектом – С3;
- не своевременное внесение в модель изменений – С4;
- низкая квалификация специалистов – С5;
- внесение изменений в модель после выдачи заданий – С6;
- одновременная работа нескольких специалистов с моделью – С7.

Для формирования необходимого объема данных для формирования списка рекомендованных мероприятий и факторов, требующих дополнительного контроля, необходимо было провести оценку значимости каждого из этих факторов с применением экспертного метода оценки [17].

В качестве экспертов рекомендуется привлекать специалистов, которые имеют необходимые профессиональные компетенции по рассматриваемым вопросам, навыки критериального анализа и предоставления экспертных оценок.

Список рекомендуемых профессий для выбора экспертов:

1. Главный инженер проекта (Э1).
2. Доцент кафедры информационных технологий (Э2).
3. Ведущий инженер-технолог проектной организации (Э3).
4. Специалист авторского надзора проектной организации (Э4).
5. Администратор сети проектной организации (Э5).

В рамках магистерского исследования, опрос экспертов проводился в формате двухэтапного интервью. В ходе первого этапа экспертам предлагалось в свободной форме охарактеризовать процесс создания цифровой модели здания, а также провести предварительное ранжирование факторов, выявленных в процессе данной работы и представленных выше, с кратким комментарием выставленной оценки.

Данные, полученные в ходе опроса каждого эксперта, реферировались и сводились в таблицу, отражающую позицию эксперта по проведенному ранжированию. Конечный вариант таблицы согласовывался с каждым экспертом в отдельности.

Перед началом второго этапа, каждому эксперту были представлены для ознакомления таблицы других участников опроса, а также матрица предварительных экспертных оценок, с целью выделения крайних (отклоняющихся от медианы). Если оценка эксперта по какому-либо фактору сильно отклонялась от среднего, он мог предоставить дополнительный объем аргументации или изменить свою оценку с объяснением причин корректировки.

Оценку степени влияния эксперты производили путем присвоения соответствующему фактору рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признал несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер.

На основе данных опроса была составлена окончательная сводная матрица рангов. Она позволяет в лучшей степени охарактеризовать мнение экспертов о том или ином факторе вредности/опасности трудового процесса, причем чем больше уровней имеет показатель метода, тем точнее будет происходить его оценка.

Однако рекомендации, изложенные в [18], предписывают при выборе числа рангов исходить из необходимой степени детализации и количества оцениваемых факторов. В случае, когда данные поддаются однозначной ранжировке, рекомендуется использовать количество рангов, равное числу объектов оценки. В нашем случае, такая рекомендация применена.

Используя выбранную степень детализации для экспертных оценок, сведем полученные данные в следующую таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Сводная матрица рангов (оценок экспертов)

	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5
С1	2	1	3	1	2
С2	3	4	4	5	4
С3	5	5	6	4	7
С4	7	6	7	7	6
С5	4	3	2	2	3
С6	1	2	1	3	1
С7	1	3	1	1	2

При наличии связанных рангов (одинаковых оценок, выставленных одним экспертом), необходимо выполнить переформирование ранговой стоимости. Оно должно производиться с сохранением соотношений между оценками.

Так мнение эксперта останется без искажений при обработке результатов.

Пример такого переформирования приведен в таблице 3.3:

Таблица 3.3 – Таблица переформирования оценок эксперта №1

Номер фактора	Номер места в упорядоченном ряду	Расположение рангов факторов	Новый ранг
C1	C7	1	1,5
C2	C6	1	1,5
C3	C1	2	3
C4	C2	3	4
C5	C5	4	5
C6	C3	5	6
C7	C4	7	7

Аналогично проводим переформирование для оценок остальных экспертов. Новые данные сводим в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Сводная матрица переформированных рангов

	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Сумма рангов
C1	3	1	4	1,5	2,5	12
C2	4	5	5	6	5	25
C3	6	6	6	5	7	30
C4	7	7	7	7	6	34
C5	5	3,5	3	3	4	18,5
C6	1,5	2	1,5	4	1	10
C7	1,5	3,5	1,5	1,5	2,5	10,5
Σ	28	28	28	28	28	140

Проверку правильности составления матрицы проводим по методу контрольной суммы:

$$\sum r_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} \quad (3.1)$$

где n- число объектов оценки.

Число оцениваемых факторов =7, следовательно:

$$\sum r_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+7) \cdot 7}{2} = 28$$

Суммы по столбцам матрицы и контрольной суммой равны между собой, значит переформатирование рангов и составление матрицы проведено верно.

По текущему распределению оценок можно сделать промежуточный вывод, что основное влияние на качество цифровой модели здания, оказывают следующие виды воздействия: С6, С7, С1, С5. Факторы С2, С3, С4 оказывают менее существенное влияние. Проверка данной гипотезы приводится ниже.

Далее необходимо оценить степень согласованности экспертных оценок. Для этого применим коэффициент множественной ранговой корреляции (коэффициент Кендалла) [17].

Для оценки тесноты связи полученных данных с реальной картиной, необходимо знать распределение математического ожидания для данного размера группы экспертов и количества рассматриваемых факторов опасности.

Оценка математического ожидания определяется по формуле:

$$\bar{r} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^n r_{is} \quad (3.2)$$

Подставляя численные значения из таблицы в формулу (3.2), получаем:

$$\bar{r} = \frac{1}{7} \cdot (12 + 25 + 30 + 34 + 18,5 + 10 + 10,5) = 20$$

Находим сумму квадратов отклонения  $(r_i - \bar{r})$ :

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^d (r_{is} - \bar{r})^2 \quad (3.3)$$

$$S = (12 - 20)^2 + (25 - 20)^2 + (30 - 20)^2 + (34 - 20)^2 + (18,5 - 20)^2 +$$



$$+(10 - 20)^2 + (10,5 - 20)^2 = 577,5$$

В случае наличия повторяющихся оценок (одинаковых значений для двух и более разных факторов), формула коэффициента корреляции принимает вид:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum T_j} \quad (3.4)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^n (t_j^3 - t_j) \quad (3.5)$$

где  $n$  – число повторений в оценках  $k$ -го эксперта;

$t_j$  – количество повторяющихся элементов в оценке.

Определяем степень связанности оценок каждого эксперта. Так как количество повторяющихся оценок у всех экспертов идентично, общая формула будет выглядеть следующим образом:

$$T_{1..5} = \frac{1}{12} \cdot (2^3 - 2) = 0,5$$

Применяя формулу (3.5), получаем общее значение связанности оценок:

$$T_j = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 2,5$$

По формуле (3.4) находим коэффициент корреляции:

$$W = \frac{577,5}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 \cdot (7^3 - 7) - 5 \cdot 2,5} = 0,84 \approx 1$$

Для качественной оценки степени согласованности используется гибридный метод, основанный на применении числовой шкалы Харрингтона (см. таблицу 3.5).

Таблица 3.5 - Оценка степени согласованности мнений экспертов по Харрингтону [18]

№	Числовое значение коэффициента Кендалла	Оценка степени согласованности мнений экспертов
1	$W \in [0; 0,2]$	Согласованность очень низкая
2	$W \in (0,2; 0,37]$	Согласованность низкая
3	$W \in (0,37; 0,64]$	Согласованность средняя
4	$W \in (0,64; 0,8]$	Согласованность высокая
5	$W \in (0,8; 1]$	Согласованность очень высокая

Таким образом, оценки экспертов имеют очень высокую степень согласованности. Следовательно, проведенное ранжирование причин ошибок, возникающих при работе с цифровой моделью, с высокой долей вероятности соответствует действительности. Предварительное распределение факторов по степени влияния выглядит следующим образом:

- r1 (фактор «не своевременное внесение в модель изменений») – очень низкое влияние;
- r2 (фактор «низкий уровень руководства проектом») – низкое влияние;
- r3 (фактор «не отработанный режим труда и отдыха») – уровень влияния ниже среднего;
- r4 (фактор «низкая квалификация специалистов») – среднее влияние;
- r5 (фактор «отсутствие необходимого ПО») – уровень влияния выше среднего;
- r6 (фактор «одновременная работа нескольких специалистов с моделью») – высокое влияние;
- r7 (фактор «внесение изменений в модель после выдачи заданий») – наибольшее влияние.

Далее необходимо оценить степень значимости полученных выводов, чтобы исключить вероятность случайного распределения экспертных оценок. Для проверки этой гипотезы, в математической статистике используется критерий согласия Пирсона (критерий  $\chi^2$ ).

Для определения достоверности оценки коэффициента необходимо знать распределение частот для различных значений числа экспертов и количества объектов оценки.

При наличии связанных рангов  $\chi^2$ -распределение с числом степеней свободы  $K=n-1=6$  имеет вид:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} m \cdot n \cdot (n + 1) + \frac{1}{n - 1} \cdot \sum_{j=1}^m T_i} \quad (3.6)$$

По формуле (3.6) находим:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 577.5}{5 \cdot 7 \cdot (7 + 1) + \frac{1}{7 - 1} \cdot 2.5} = 25,2$$

Для оценки уровня значимости случайной величины, принятого равным  $\alpha=0,005$  (то есть критическое значение уровня значимости составляет 0,5%), по таблице «Критических значений коэффициента корреляции рангов Пирсона» находим для числа степеней свободы  $K=6$  значение числа  $\chi^2 = 18,548$

Поскольку  $18,548 < 25,2$ , то гипотеза о согласии экспертов принимается для уровня значимости 0,5, полученное значение коэффициента не является случайной величиной и отражает реальную степень согласованности оценок.

Заключительным этапом является формирование матрицы весомости рассмотренных параметров. Преобразование матрицы первичных оценок в весовую производится по формуле:

$$S_{ij} = X_{max} - x_{ij} \quad (3.6)$$

где  $X_{max}=7$

Так, матрица преобразованных рангов принимает вид, который приведен на рисунке 3.2 и в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Матрица преобразованных рангов

	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Сумма рангов	Весовой коэффициент, $\lambda$
С1	4	6	3	5,5	4,5	23	0,219
С2	3	2	2	1	2	10	0,095

C3	1	1	1	2	0	5	0,048
C4	0	0	0	0	1	1	0,0095
C5	2	3,5	4	4	3	16,5	0,157
C6	5,5	5	5,5	3	6	25	0,238
C7	5,5	3,5	5,5	5,5	4,5	24,5	0,233
Σ						105	1

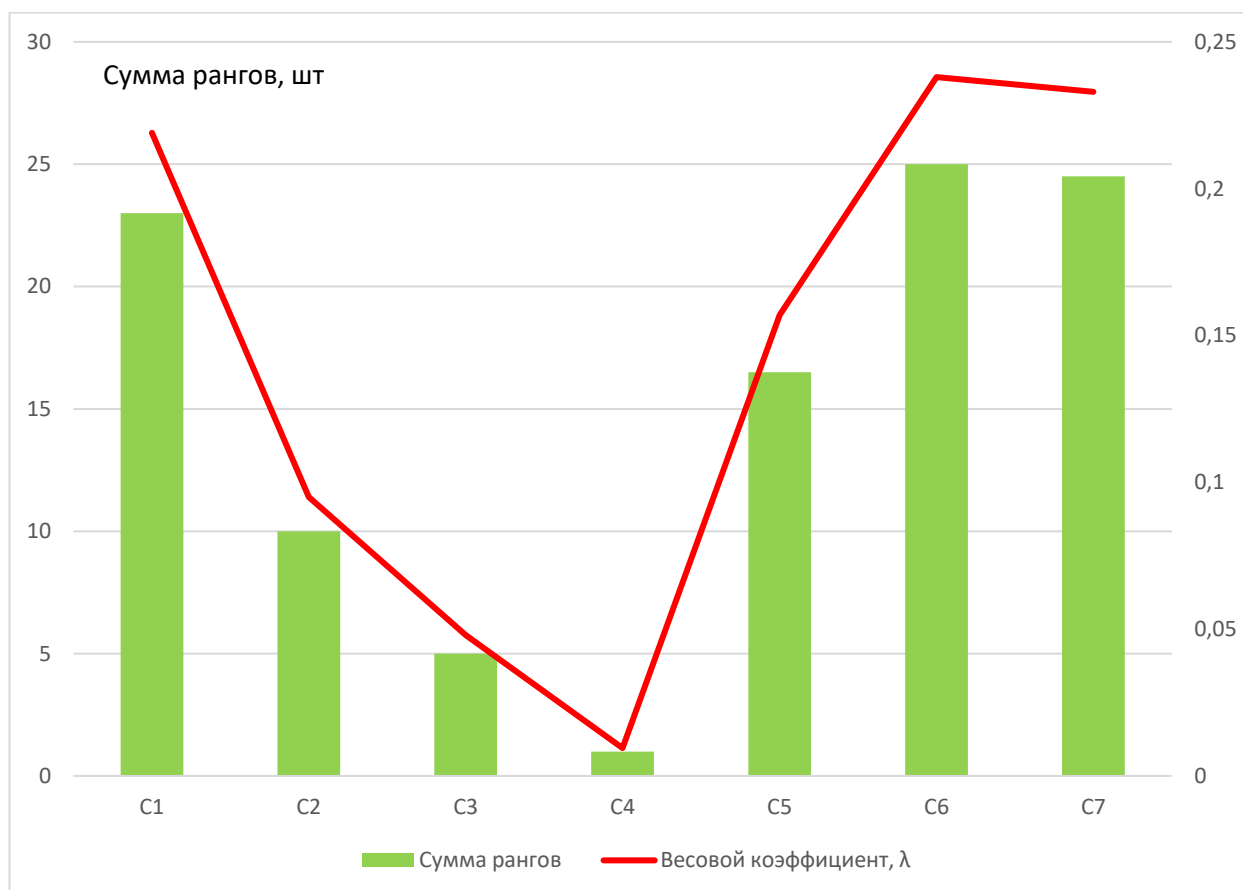


Рисунок 3.2 - Матрица преобразованных рангов

Рассмотрим возможность применения ранжированных критериев для оценки значимости каждого из факторов.

Для оценки введем  $R$  –интегральный показатель качества цифровой модели, который определяется по формуле:

$$R = \lambda_1 \cdot B_1 + \lambda_2 \cdot B_2 + \lambda_3 \cdot B_3 + \lambda_4 \cdot B_4 + \lambda_5 \cdot B_5 \quad (3.7)$$

где  $\lambda_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го критерия, указанный в таблице 3.6;

Б – балльная оценка фактора, в зависимости от интервала, в который попадают оценочные критерии.

Балльная оценка назначается по результатам проведенного опроса экспертов, в котором они устанавливают интервальные критерии по указанным выше показателям. Представленные в работе критерии были согласованы и утверждены участниками опроса.

Ниже приведены таблицы 3.7 – 3.13, в которых дана балльная оценка выявленных негативных факторов, влияющих на качество цифровой модели котельной.

Таблица 3.7 – Балльная оценка критерия С<sub>1</sub> «отсутствие необходимого ПО»

Уровень развития ПО	Балл
Устаревшее ПО для сметных расчетов	1
Устаревшее ПО для разработки 3D моделей	2
Отсутствие ПО для проверки коллизий	3
Отсутствие ПО для руководства проектом	4
Отсутствие ПО для проверки коллизий и руководства проектом	5

Таблица 3.8 – Балльная оценка критерия С<sub>2</sub> «не отработанный режим труда и отдыха»

Время работы, ч	Режим рабочей смены	Балл
5	Работа в рамках индивидуального расписания в выходной	1

5-7	Работа в рамках расписания в выходной с возможным увеличением длительности выполняемой операции	2
10	Работа в рамках расписания в будний день	3
10-12	Работа в рамках расписания в будний день с возможным увеличением длительности выполняемой операции	4
*	Работа, требующая нарушения режима труда и отдыха, установленного в расписании	5

Таблица 3.9 – Бальная оценка критерия С<sub>3</sub> «низкий уровень руководства проектом»

Условия руководства проектом	Балл
Отсутствие ведущего инженера по маркам	1
Отсутствие главных специалистов по маркам	2
Отсутствие ГИПа	3
Отсутствие системного администратора	4
Отсутствие Администратора проекта	5

Таблица 3.10 – Бальная оценка критерия С<sub>4</sub> «не своевременное внесение в модель изменений»

Условия внесения изменений	Балл
Внесение изменений после выдачи задания по конкретной марке проекта	1
Внесение изменений после выдачи всех заданий	2

Внесение изменений после окончания работы всеми марками проекта	3
Внесение изменений после проверки всех коллизий	4
Внесение изменений после отправки модели Заказчику	5

Таблица 3.11 – Бальная оценка критерия С<sub>5</sub> «низкая квалификация специалистов»

Должность специалистов	Баллы
Руководитель группы	1
Ведущий инженер	2
Инженер 1 категории	3
Инженер 2 категории	4
Инженер 3 категории	5

Таблица 3.12 – Бальная оценка критерия С<sub>6</sub> «внесение изменений в модель после выдачи заданий»

Количество внесенных изменений	Балл
Внесение изменений по 1 марке проекта	1
Внесение изменений по 2 маркам проекта	2
Внесение изменений по 3 маркам проекта	3
Внесение изменений по 4 маркам проекта	4
Внесение изменений более чем по 5 маркам проекта	5

Таблица 3.13 – Бальная оценка критерия С<sub>7</sub> «одновременная работа нескольких специалистов с моделью»

Количество специалистов	Балл
Работа 2 специалистов	1
Работа 3 специалистов	2
Работа 4 специалистов	3

Работа 5 специалистов одновременно	4
Работа более 5 специалистов одновременно	5

Таким образом, бальная оценка дается не только в зависимости от относительной опасности фактора, но и от других параметров, от которых зависит интенсивность его действия.

Для этого по формуле (3.7) рассчитаем интегральный показатель воздействия вредных факторов на цифровую модель здания, исходя из снижения ее качества и увеличения количества коллизий. Для этого рассмотрим 2 основных случая, которые имеют место для данной модели.

1) Низкое количество специалистов, одновременно работающих с моделью и большое количество изменений, вносимых в модель уже после выдачи задания.

2) Высокое количество специалистов, одновременно работающих с моделью и большое количество изменений, и отсутствие необходимого ПО для проверки всех необходимых коллизий.

Для первого варианта получаем значение интегрального показателя:

$$R_1 = 0,219 \cdot 1 + 0,095 \cdot 4 + 0,048 \cdot 3 + 0,0095 \cdot 3 + 0,157 \cdot 4 + 0,238 \cdot 3 + 0,233 \cdot 2 = 2,58$$

Для второго варианта получаем значение интегрального показателя:

$$R_2 = 0,219 \cdot 5 + 0,095 \cdot 4 + 0,048 \cdot 3 + 0,0095 \cdot 3 + 0,157 \cdot 1 + 0,238 \cdot 2 + 0,233 \cdot 5 = 3,45$$

Как видно из приведенных выше расчетов, интегральный показатель выше для второго варианта, при котором происходит работа с моделью одновременно более 5 специалистов. В этом случае, они не видят все изменения, оперативно вносимые по другим маркам. Это приводит к наложению технических решений друг на друга.

Для снижения выделенных негативных факторов на цифровую модель предлагается следующий график обучения персонала (см. таблицу 3.14).



Таблица 3.14 - График проведения обучения персонала работе с новым ПО

Контролируемый параметр	Вид работ	Место контроля	Периодичность
Уровень квалификации персонала	Обучение обновленному ПО	Рабочее место инженера 3 категории	Перед началом работы с проектом за 1 месяц и во время работы с моделью ежемесячно
		Рабочее место инженера 2 категории	
		Рабочее место инженера 1 категории	
		Рабочее место ведущего инженера	Один раз в полгода при смене или введении нового ПО
		Рабочее место главного специалиста	Один раз в полгода
		Рабочее место Администратора сети	Один раз в год
		Рабочее место ГИПа	Один раз в полгода
		Рабочее место Администратора проекта	Ежемесячно в течение работы с моделью

Таблица 3.15 - График проведения мероприятий для повышения качества цифровой модели

Событие	Вид работ	Периодичность
Начало работы с моделью	Разработка процедур работы моделью	За неделю до начала работы
	Составление списка слоев для каждого объекта	
	Составление списка специалистов, имеющих доступ к модели	
Выдача заданий смежным маркам	Разработка формы выдачи заданий	За неделю до начала работы
	Разработка графика выдачи заданий	
	Разработка процедуры контроля выполнения заданий	Через 5 дней после выдачи задания
Окончание работы с моделью	Сдача документации в архив	Сразу по окончании разработки
	Сообщение Администратору проекта	Через 1 день после сдачи документации в архив
	Проверка на коллизии	
Корректировка ошибок	Корректировка после проверки коллизий	Сразу после получения замечаний
	Корректировка после получения замечаний Заказчика	Через 1 неделю после получения замечаний
	Корректировка после получения замечаний экспертизы	Через 2 недели после получения замечаний

### 3.2 Проблемы совместной работы с моделью здания

По результатам проведенных исследований было установлено, что наиболее значимыми проблемами при совместной работе с моделью здания являются:

1) одновременное внесение изменений специалистами нескольких марок и, как следствие, появление ошибок при пересечении нескольких коммуникаций;

2) несвоевременное отображение внесенных изменений в модели, которая доступна для просмотра Заказчику и Подрядчику по строительству;

3) недостаточная квалификация для создания 3D модели здания у сотрудников Генерального проектировщика или субподрядных организаций по проектированию;

4) быстрое изменение функций и интерфейса ПО, применяемого для создания цифровых моделей и, как следствие, отсутствие своевременного обучения персонала;

5) работа и изменение цифровой модели здания по отдельной марке уже после выдачи задания смежным маркам и расхождение в выданных решениях и решениях, которые после выдачи задания были внесены в цифровую модель.

Эти проблемы были выявлены при наблюдении за развитием 3D моделирования зданий в компании ООО «Полюс Строй».

Выявление проблем производилось по результатам описанного выше экспертного метода оценки, а также по анализу информации о цифровой модели на выходе проекта из работы и направлении его на площадку строительства Подрядчику.

Таким образом, работа с цифровой моделью нескольких групп специалистов, а затем и нескольких разных компаний является основной проблемой, которая оказывает влияние на качество при BIM-моделировании.

Кроме того, руководство проектной компании зачастую уделяет очень мало внимания квалификационному развитию специалистов в условиях быстрого развития программных продуктов для цифрового проектирования. В проектных компаниях долгое время используются уже устаревшие версии ПО, либо программные продукты для расчета смет, которые учитывают не все актуальные изменения в законодательстве. В результате процесс проектирования замедляется, некоторые операции, которое может выполнять обновленное ПО, выполняются специалистами «вручную».

После сдачи здания котельной в эксплуатацию, было проведено полное исследование ее на количество ошибок за весь процесс работы с моделью, а также анализ причин, которые привели к ошибкам.

На рисунке 3.2 представлено распределение количества обнаруженных ошибок при разработке рассматриваемой цифровой модели здания.

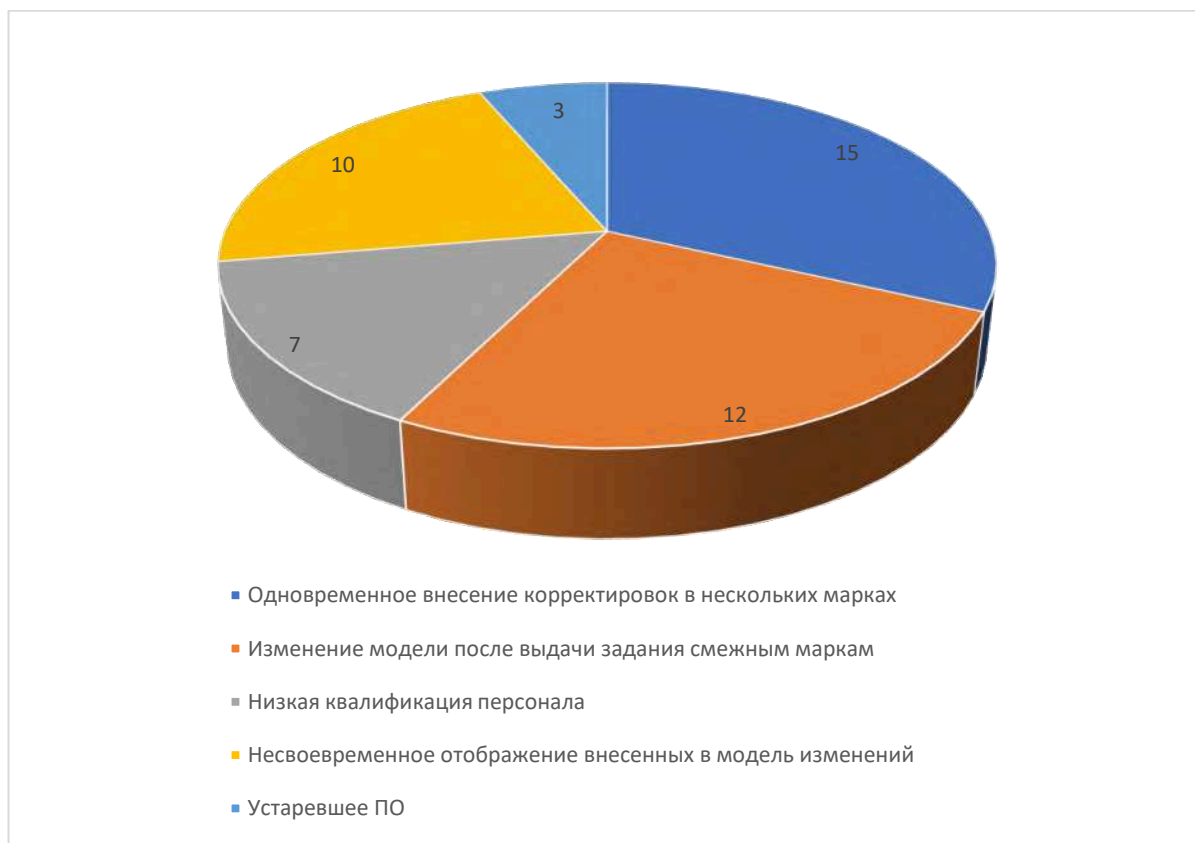


Рисунок 3.2 – Распределение количества обнаруженных ошибок при разработке цифровой модели здания котельной

На рисунке 3.3 приведены затраты предприятия, которые оно понесло при исправлении этих ошибок и корректировке модели. Затраты приведены в тыс.руб и времени, затраченном на их ликвидацию.

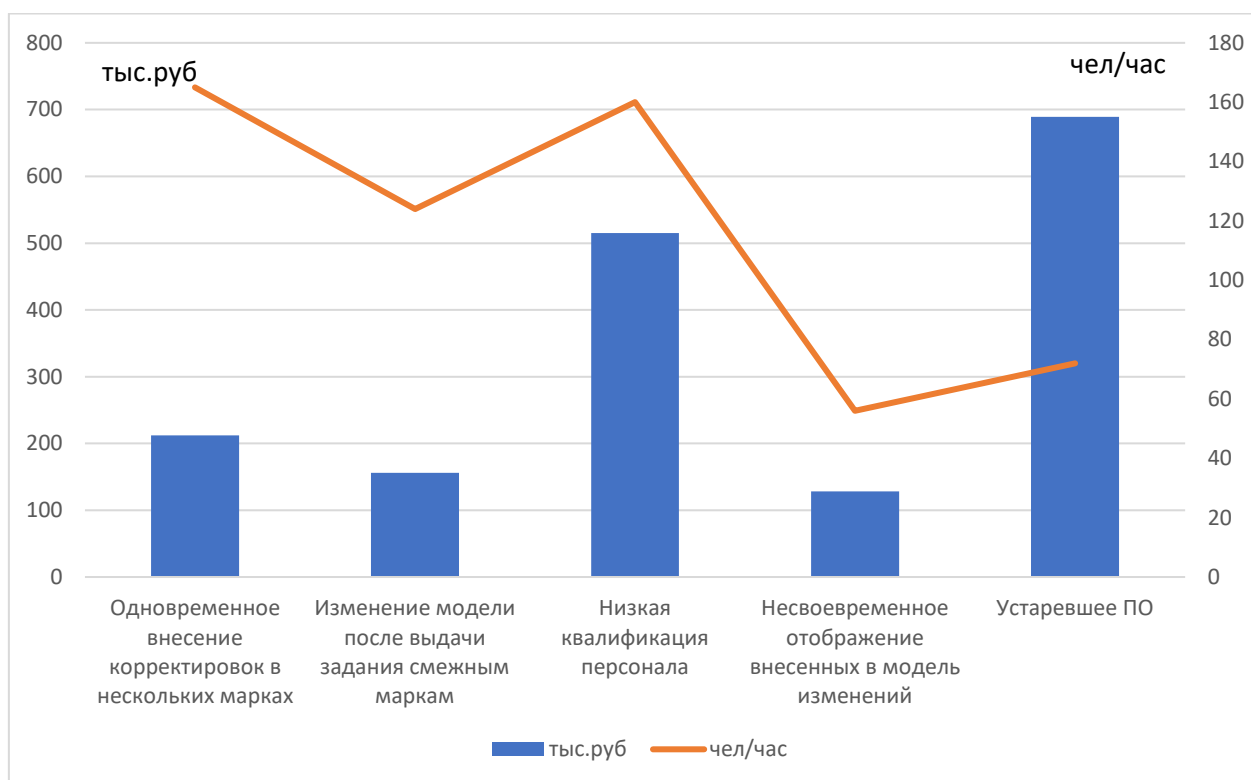


Рисунок 3.3 – Материальные и трудовые затраты предприятия на ликвидацию ошибок при работе с цифровой моделью здания котельной

Из рисунка 3.3 видно, что даже небольшое количество ошибок привело к необходимости высокого уровня затрат на обновление ПО и на обучение персонала. Эти мероприятия оказали влияние на снижение прибыли предприятия и на выбытии персонала, который был направлен на повышение квалификации.

### 3.3 Составление комплекса рекомендаций по повышению эффективности проектирования зданий и сооружений с использованием BIM-технологий

Для предотвращения возникновения ошибок, которые были идентифицированы в процессе исследования процесса разработки цифровой модели на базе ООО «Полюс Строй» предлагается следующий комплекс мероприятий и алгоритмов.

На рисунке 3.4 представлен разработанный алгоритм работы с цифровой моделью объекта, который предназначен для ликвидации ошибок по одновременному внесению изменений в цифровую модель сразу в нескольких марках. Так, например, возможна корректировка трасс трубопроводов системы теплоснабжения котлов и изменение высоты расположения кабельных трасс, предназначенных для энергоснабжения электроприводной запорной арматуры.



### Рисунок 3.4 – Алгоритм защиты от влияния ошибок при внесении изменений

Из представленного на рисунке 3.4 алгоритма видно, что при внесении изменений в цифровую модель Пользователем №1, надстройка, которая может быть специально разработана для используемого ПО, производит анализ изменений. Если изменения не влияют на другие марки, то изменения принимаются. В случае влияния изменений на смежные марки проекта, выдается Отказ на внесение изменений, и программа предлагает альтернативные пути решения проблемы. Например, выдаются следующие сообщения:

- «Измените трассу трубопровода» и на экране производится отрисовка новой трассы, которую предлагает программа;
- «Отрисовка невозможна, отсутствует место для внесения элемента» и программа сообщает о невозможности применения таких изменений;
- «Отрисовка возможна с учетом изменения других объектов» и программа показывает, какие объекты нужно изменить, чтобы выполнить прокладку нового трубопровода.

При этом основным условием для внесения изменений, например, по марке ТХ является запрет на изменение других марок проекта (АС, ВК, АК, ЭО и т.д.). Таким образом, обеспечивается неизменность модели и предотвращение влияния вносимых изменений на другие марки.

Если изменения настолько важны и критичны, что допускаются изменения других марок проекта, то Пользователь №1 должен сделать специальный запрос Администратору проекта, который позволит принудительно изменить другие марки с направлением соответствующих сообщений, например, Пользователю №2 (марка АС) и Пользователю №3 (марка АК).

В этом случае, после получения сообщений, например, о необходимости внесения изменений в марки АС и АК, цифровую модель невозможно будет направить Заказчику, пока не будут произведены изменения в этих марках и не будет произведена проверка на коллизии.



С целью устранения ошибок, связанных с изменением модели уже после выдачи задания смежным маркам в период основной работы над цифровой моделью, предлагается использование концепции LOD (см. рисунок 3.5).

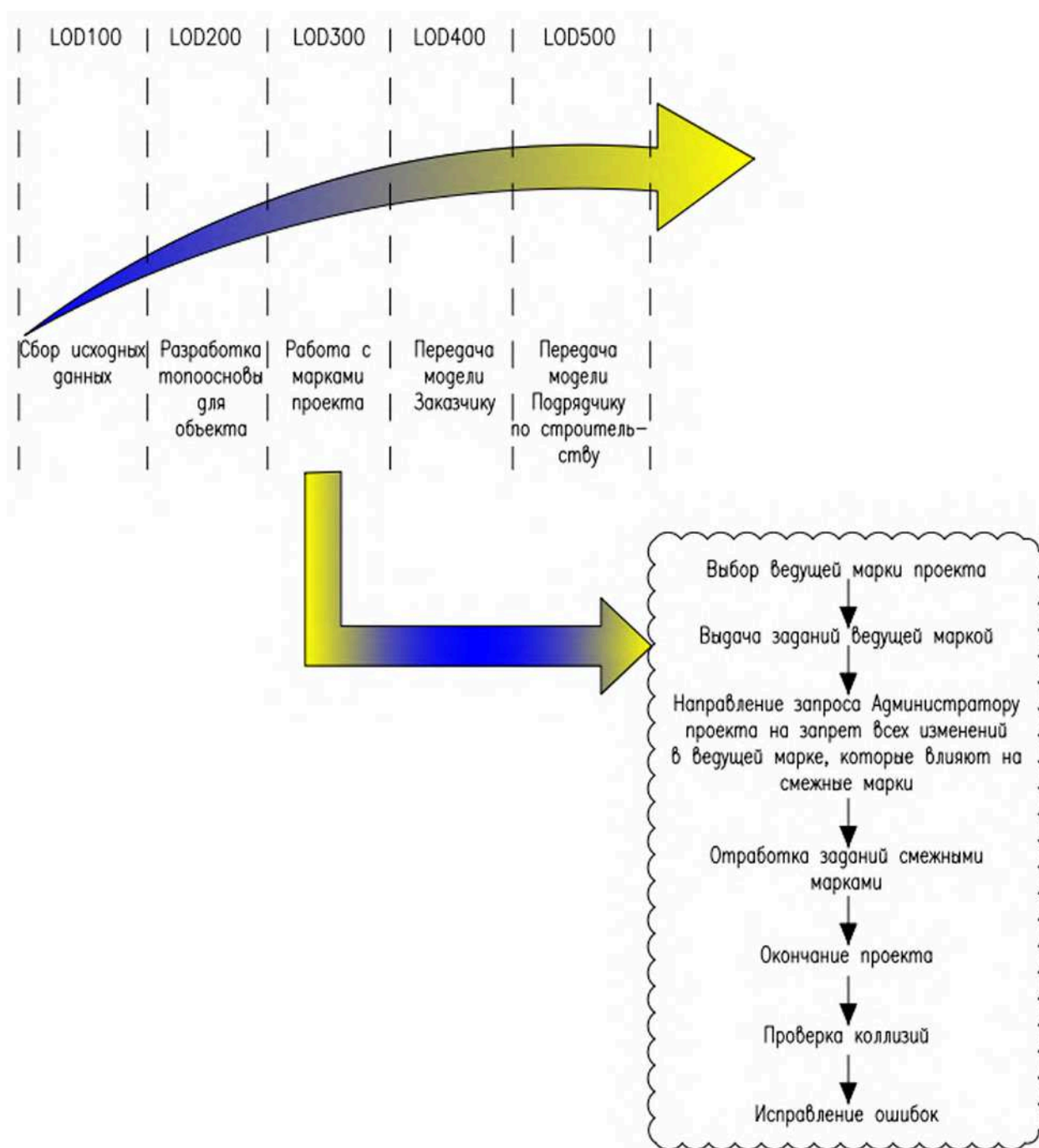


Рисунок 3.5 – Использование концепции LOD для предотвращения ошибок при работе смежных марок

Предлагаемый метод использования концепции LOD заключается в том, что основной этап работы с цифровой моделью относится к этапу LOD300. На

этом этапе происходит обращение к модели всех марок и разработка всех разделов проекта. Расширенное представление данного этапа и показано на рисунке 3.5. Для снижения количества ошибок, свойственных LOD300, после выдачи заданий смежным маркам от ведущей марки, Администратор проекта вносит запрет на все изменения в марке ТХ, которые могут повлечь за собой изменения в смежных марках, не отраженные в уже выданных заданиях.

По окончании работы над проектом, ведущий специалист по каждой марке проекта направляет Администратору проекта соответствующее сообщение.

Когда все специалисты завершат работу над проектом, Администратор закрывает доступ к модели всем специалистам и начинает проверку модели на коллизии.

Предлагаемая к использованию матрица проверки цифровой модели на коллизии приведена на рисунке 3.6.

МАТРИЦА КОЛЛИЗИЙ	АР				КР		ОВ (Вентиляция)			ОВ (Отопление)			ВК		ЭО, ЭС, ЭМ						
	Подвесные потолки	Фасадная система	Двери	Перекрытия	Перегородки	КЖ (балки, перекрытия, колонны, стены, ...)	КМ	Перегородки	Воздуховоды (приточная система)	Воздуховоды (вытяжная система)	Оборудование	Приточная жидкость	Обратная жидкость	Оборудование	Канализация бытовая (с прибор)	Канализация дождевая	Система ГВС	Система ХВС	Кабельные лотки	Осветительные приборы	Электрооборудование
<b>АР</b>																					
Окна	+	+			+																
Перегородки		+						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Подвесные потолки	+		+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фасадная система		+				+			+	+						+					+
Двери			+		+	+		+													
Перекрытия				+		+															
Полы								+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Стены	+		+		+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>КР</b>																					
Железобетон (балки, перекрытия, колонны, стены, фундаменты, лестницы))						+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
КМ							+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Перегородки								+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>ОВ (Вентиляция)</b>																					
Воздуховоды (приточная система)									+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Воздуховоды (вытяжная система)										+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Оборудование											+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Всего тестов: 231

Легенда:

- Приоритет 1
- Приоритет 2
- Приоритет 3

Рисунок 3.6 – Матрица проверки коллизий

Составленная матрица проверки коллизий показывает приоритеты, которые необходимо выделить при проведении проверки. Если оценка коллизий занимает слишком много времени, а модель требуется срочно передать Заказчику, то в качестве приоритетов выбираются те марки, строительство по которым будем производиться в первую очередь.

Например, если строительство здания начинается с забивки свайного поля, то вначале производится проверка марки АС на коллизии, а затем передача рабочей документации Заказчику.

Затем возможно деление модели на отдельные этапы и поэтапная проверка ее коллизии.

По окончании работ с моделью на этапе LOD500 все изменения в модель может вносить только Подрядчик по строительству, либо представители авторского надзора проектной организации, по согласованию с ним. При этом незамедлительно все эти изменения должны отображаться в цифровой модели Генерального проектировщика. Выполнение данного требования необходимо, чтобы своевременно была выполнена проверка на корректность вносимых изменений и соответствие их требованиям нормативной документации.

Таким образом, разработанный алгоритм работы с моделью дает возможность снизить время на исправление ошибок и обеспечить снижение их количества.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенной работе рассмотрены основные свойства и этапы создания цифровой модели зданий и сооружений, которые в настоящее время начинают широко применяться в процессе проектирования. К основным преимуществам этих моделей относится их высокая информативность, возможность быстрой модификации и изменения отдельных элементов, совместный доступ нескольких пользователей, прогнозирование работы как всего объекта, так и отдельных его элементов на всех этапах жизненного цикла.

В нашей стране и за рубежом разработано большое количество программного обеспечения, которое предназначено для создания 4D моделей объектов, проведения прочностных расчетов с ними, подбора по результатам расчетов конструктивных элементов, создания спецификаций элементов и составления объемов работ.

Основным ПО, которое применяют проектные компании являются программные продукты компании Autodesk. В основном, они используются для отрисовки конструкций здания, а также для операций, указанных выше.

Для расчета стоимости строительства и проведения сметных расчетов с учетом периодически изменяющего законодательства и нормативных документов, в нашей стране разработано большое количество уникального ПО, которое адаптировано для работы с продуктами компании Autodesk.

На примере компании ООО «Полюс Строй» выполнено рассмотрение экономических показателей, которые изменились при использовании цифровых моделей проектируемого здания. По результатам исследований было установлено, что затраты времени в компании на отрисовку отдельных элементов здания снизились на 20%, а затраты времени на прочностные расчеты отдельных элементов - на 50%.

Таким образом, компания получила экономию в денежном эквиваленте и сокращение затрат времени на разработку проекта.

Для предотвращения ошибок при проектировании, необходимо осуществлять проверку цифровой модели на коллизии. С этой целью разработано

специализированное ПО, способное обнаружить, провести анализ, а также свести в единую базу данных все идентифицированные коллизии. К такому ПО относится CADLib Модель и Архив. Оно позволяет обеспечить безопасность проекта, его эргономичность, а также избежать пересечения отдельных объектов между собой.

Таким образом, на базе предприятия ООО «Полюс Строй» рекомендовано использование CADLib Модель и Архив для повышения качества выпускаемой цифровой продукции.

Проведенное анкетирование специалистов, осуществляющих работу с цифровой моделью здания, позволило установить основные проблемы, возникающие в процессе автоматизированного проектирования. Использованный для исследования метод экспертной оценки выявил наиболее значимые проблемы и дал возможность сформировать план мероприятий, снижающих степень воздействия этих проблем на эффективность технологического процесса работы с BIM-моделью объекта.

К предлагаемым мероприятиям, предназначенным для снижения количества ошибок при проектировании, относятся: автоматизированная выдача заданий смежным маркам на определенных этапах разработки модели, автоматизированная проверка коллизий после выполнения каждого задания, использование контрольных точек для проверки модели Заказчиком проекта.

Также в работе предложено использование разделения графика работ с использованием концепции LOD и проверка на коллизии в рамках каждого отдельного этапа LOD. В рамках разработанных рекомендаций запрещается корректировка цифровой модели специалистами одной марки, которые уже выполнили сдачу своих рабочих чертежей, либо выдали задание смежным маркам.

Кроме того, на этапе строительства здания предложено использование обязательного ввода в модель фактических несоответствий проекту, которые производит Подрядчик по строительству в процессе проведения строительно-монтажных работ. При этом ПО, в котором выполнена цифровая модель,

должно оценить соответствие проведенных изменений требованиям нормативной документации, а также их влияние на прочностные и деформативные характеристики элементов здания.

Таким образом, предлагаемые к реализации мероприятия позволят повысить качество проектирования и снизить вероятность ошибок, возникающих при работе с цифровой моделью.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон № 315-ФЗ от 01.12.2007 г. «О саморегулируемых организациях».
2. Градостроительный Кодекс РФ от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 02.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2021)
3. СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.
4. Jupp, J. (2017). 4D BIM for Environmental Planning and Managemet. In *Procedia Engineering* 180, Ultimo, Australia: Elsevier Ltd.
5. Butkovic, B. & Heesom, D. (2017). Towards A Framework for multi-LOD 4D BIM Simulation. In *Proc. Int. Research conf. 2017: Shaping Tomor-row's Built Environment*.
6. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors? And Facility Managers*. John Wiley & Sonc, inc.: Hoboken, New Jersey.
7. Своллоу М. и Зулу С. (2019). Преимущества и препятствия на пути внедрения 4D-моделирования для управления безопасностью и охраной труда.
8. Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла. – Гудков Д. [Электронный ресурс]. 2009. URL: <http://www.emb.ustu.ru/kurs/ispu/download/1/gud.htm>.
9. Правительство РФ. Постановление от 15 сентября 2020 г. № 1431 МОСКВА «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства»

10. Быкова Е.Н. создание 3D-модели памятников архитектуры для целей Кадастра//Известия вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». - 2010,-№3, С.22-25.
11. Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений. Москва 1984 [www.opengost.ru](http://www.opengost.ru) – Портал нормативных документов.
12. Золотова Е.В; Скогорева Р.Н. Геодезия с основами кадастра: Учебник для вузов. М.: Академический Проект; фонд «Мир», 2012.-413 с.
13. Краснопевцев Б.В. «Основные события истории фотограмметрии и воздушной фотосъемки до 1918 года». Геодезия и картография, 1998г. №№8,11,12.
14. Краснопевцев Б.В. «Основные события истории фотограмметрии, аэро- и космической съемки в нашей стране после 1917 года». Геодезия и картография, 2000. №№ 5,6,7.
15. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. М.: УПП “Репрография” МИИГАиК, 2008. - 160 с.
16. Краснопевцев Б.В. Методические указания по фотограмметрической обработке снимков на цифровой фотограмметрической системе Photomod 4.4 Demo и Photomod 4.4 Lite. М.: МИИГАиК, 2012. - 44 с.
17. Сазанов Е. Эффективность использования программ трехмерного моделирования при разработке эскизных проектов. CADmaster журнал для профессионалов в области САПР № 5’2003.
18. Быкова Е.Н. Чернецкая Ю.В. Сканирование объекта недвижимости с целью моделирования городской территории.
19. Михайлов А.П., Перес Вальдез Мануэль де Хесус. Создание цифровых моделей памятников истории и архитектуры по материалам перспективной и плановой аэрофотосъемки, Известия вузов Геодезия и аэрофотосъемка, М., №5, 2013г.
20. Руководство пользователя. Программа «AUTOCAD». Версия 2010.

21. Кочнева, А.А. Методические аспекты проектирования протяженных объектов / А.А. Кочнева // Естественные и технические науки. – 2015 - №6 (84). - С. 240 – 243.

22. Кочнева, А.А. Создание цифровых моделей рельефа для проектирования автодорог на основе технологии воздушного сканирования / А.А.Кочнева, М.Г.Мустафин// Естественные и технические науки. – 2015 - №12 (90). С. 91– 95

23. Гнедых В.С., Демшина Д.А. Интеграция программных комплексов информационного моделирования зданий в области отопления и вентиляции // BIMмоделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 257–261. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.047.

24. Суханова И.И., Гнедых В.С., Демшина Д.А. Анализ гидравлического и аэродинамического расчетов систем отопления и вентиляции на основе BIM - моделирования // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6220> (дата обращения: 17.02.2020).

25. Богословский В.Н., Сканави А.Н. Отопление: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1991. - 735 с.

26. Справка Autodesk Revit 2018. URL: <http://help.autodesk.com/view/RVT/2018/RUS/?guid=GUID-6708486B-6D46-49DF-8438-14EAAA6F0818> (дата обращения: 28.03.2019).

27. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. - 672 с.

28. Покотиллов В.В. Системы водяного отопления. Фирма «HERZ Armaturen». Вена, 2008. - 159 с.

29. Про гидравлический расчет в Revit стандартными средствами. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20497](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20497) (дата обращения: 04.12.2019).

30. Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения [Электронный ресурс]: Интернет-портал: Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. – Режим доступа: [https://stroi.mos.ru/builder\\_science/tekhnologiiabim-iedinaiamodiel-i-sviazannye-s-etimzabluzhdeniia](https://stroi.mos.ru/builder_science/tekhnologiiabim-iedinaiamodiel-i-sviazannye-s-etimzabluzhdeniia)

31. Зарипова А.В., Хабибуллин А. Э. Применение BIM технологий в строительстве: Россия и зарубежный опыт // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 8-2 (85). – С. 1151-1156.

32. Национальный проект «Жилье и городская среда» Минстроя России во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

33. Федеральный проект «Цифровое строительство» во исполнение поручения Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 г. № 1235.

34. Ерошкина Н. А., Коровкин М.О., Саженко С.М., Лавров И. Ю., Кабанова Л. А. Использование BIM-технологии в проектировании и строительстве // Молодежный научный вестник. – 2019. – № 1 (38). – С. 127-131.

35. Проектирование с применением BIM технологий [Электронный ресурс]: Интернет-портал: Проектное бюро «ВЕЛЕС». – Режим доступа: <https://www.bimtechnology.pro/koncepciiiproektirovaniia-sprimeneniem-bim>

36. Дронов Д. С., Киметова Н.Р., Ткаченко В. П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук. – 2017. – № 10. – С. 529-549.

37. Кондакова Ю.В., Бочкарев Д.Н. BIM-технологии: проблемы внедрения в практику управления проектами // Уральская горная школа - регионам. 2016. С. 656-657.

38. Проектная документация. Горно-обогатительный комплекс на базе золоторудного месторождения «Вернинское» (Бодайбинский район Иркутской области). Увеличение мощности ЗИФ «Вернинская» на производительность 3500 тыс. тонн в год. Площадка ЗИФ. Котельная мощностью 10 МВт.

ООО «Полюс Строй». Подраздел 7. Технологические решения. Том 7.1.2., 2020. – 77 с.

39. Проектная документация. Горно-обоганительный комплекс на базе золоторудного месторождения «Вернинское» (Бодайбинский район Иркутской области). Увеличение мощности ЗИФ «Вернинская» на производительность 3500 тыс. тонн в год. Площадка ЗИФ. Котельная мощностью 10 МВт. ООО «Полюс Строй». Подраздел 2. Система водоснабжения. Том 5.2., 2020. – 40 с.

40. Проектная документация. Горно-обоганительный комплекс на базе золоторудного месторождения «Вернинское» (Бодайбинский район Иркутской области). Увеличение мощности ЗИФ «Вернинская» на производительность 3500 тыс. тонн в год. Площадка ЗИФ. Котельная мощностью 10 МВт. ООО «Полюс Строй». Подраздел 4. Отопление, Вентиляция и кондиционирование Воздуха, тепловые сети. Том 5.2., 2020. – 33 с.

41. Полуэктов В.В. Российский опыт применения BIM в архитектуре и градостроительстве // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании. 2016. С. 179-181.

42. Вайсман С.М., Байбурин А.Х. Разработка организационно-технологических решений в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (BIM) // Вестник южно-уральского государственного университета. серия: строительство и архитектура. 2016. №4. С. 21-28.

43. Диханов Н., Абрахманова К.К. Эффективность внедрения BIM - проектирования // Наука и инновационные технологии. 2016. № 1. С. 27-30.

44. Панасенко Ю.В. Проектирование зданий и сооружений с применением программных платформ для информационного моделирования (BIM) // Научно-практическая конференция по сейсмостойкому строительству (с международным участием) памяти В.И. Смирнова. 2016. С. 156-158.

45. Припутин Н.А., Леонова А.Н. Применение BIMтехнологии в строительстве // Молодежь и новые информационные технологии. 2016. С. 301-304.

46. Буравлева А.Ф., Клипина Н.А., Крутилова М.О. внедрение BIM-технологий в процесс проектирования и строительства объектов недвижимости // Вестник научных конференций. 2016. № 10-3. С. 36-39.

47. Коровина М.Д. Сложности перехода к BIM проектированию // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 12-3. С. 124-127.

48. Пириева С.Ю. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида «BIM» //Международная научно-техническая конференция

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
Кафедра строительных конструкций и управляемых систем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Деордиев

подпись

«    »    2021 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Применение технологий информационного моделирования в  
деятельности ООО «Полное Строй»

08.04.01 «Строительство»

08.04.01.14 «Промышленное и гражданское строительство»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Ст. преподаватель СКИУС О.Д. Курбаковских  
подпись, дата

Научный руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н, доцент кафедры СКИУС Е.Г. Плясунов  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ И.А. Карпов  
подпись, дата

Рецензент \_\_\_\_\_ профессор, д-р техн. наук М.С. Плешко  
подпись, дата

Красноярск 2021