

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Условия 3d-моделирования в документах предварительного планирования

Обучающийся

Д.А. Трифонов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

д.т.н., профессор, Н.Г. Яговкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2023

## Содержание

Введение.....	3
Термины и определения .....	6
Перечень сокращений и обозначений.....	8
1 Анализ видов и содержания документов предварительного планирования.....	9
1.1 Нормативно-правовое обеспечение процесса.....	9
1.2 Принципы подготовки документов предварительного планирования..	10
2 Применение 3d-моделирования в документах предварительного планирования.....	30
2.1 Обзор систем 3d-моделирования.....	30
2.2 Анализ необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.....	56
3 Разработка условий применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.....	60
3.1 Разработка технического решения .....	60
3.2 Анализ и оценка эффективности применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.....	78
Заключение .....	87
Список используемых источников.....	90

## Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования обуславливается тем, что в современном мире проблемы обеспечения пожарной безопасности возникают в связи с новыми строительными и архитектурно-планировочными решениями современных объектов, с развитием химической промышленности и увеличению количества производственных предприятий большой площади.

Тема магистерской диссертации актуальна, так как в современном мире технологические разработки в области 3d-моделирования направлены на создание изображений или видео путём моделирования объектов в трёх измерениях, поэтому данные технологические меры могут быть внедрены при разработке документов предварительного планирования для улучшения реагирования подразделений пожарной охраны на территории Российской Федерации.

Для решения этих проблем разрабатываются профилактические решения конструктивно-планировочного характера, внедряются автоматические и стационарные системы пожаротушения.

Однако, несмотря на все усилия современной науки и техники, возникновение пожаров по-прежнему не предотвратимо.

Исходя из вышеизложенного, для обеспечения условий для успешных боевых действий по тушению пожаров необходимо предусматривать организационные мероприятия.

К таким мероприятиям можно отнести разработку документов предварительного планирования.

Объект исследования: документы предварительного планирования.

Предмет исследования: требования к документам предварительного планирования и принципы применения 3d-моделирования.

Цель исследования – на основе анализа нормативно-правовых документов разработать требования и условия для применения 3d-моделирования при разработке документов предварительного планирования.

Гипотеза исследования состоит в том, что разработанные требования и организационно-технические мероприятия, способствующие разработки документов предварительного планирования с использованием 3d-моделирования могут быть применены в других субъектах РФ.

В соответствии с поставленной в работе целью, определены следующие задачи:

- провести анализ требований нормативно-правовых актов и нормативных документов к документам предварительного планирования;
- проанализировать виды и содержание документов предварительного планирования;
- произвести патентно-информационный обзор систем 3d-моделирования;
- разработать техническое решение применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: документы предварительного планирования субъектов РФ.

Методы исследования: анализ разработанных документов предварительного планирования.

Опытно-экспериментальная база исследования: документы предварительного планирования 42 ПСЧ ФГБУ «4 отряд ФПС ГПС по Самарской области (договорной)».

Научная новизна исследования заключается в создании технических решений и организационно-технических мероприятий, способствующих разработке документов предварительного планирования с использованием 3d-моделирования.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке основных направлений 3d-моделирования, для улучшения реагирования подразделений пожарной охраны для проведения действий по ТП и АСР.

Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций, направленных на обеспечение разработки документов предварительного планирования с использованием 3d-моделирования, для улучшения реагирования подразделений пожарной охраны для проведения действий по ТП и АСР.

Достоверность и обоснованность результатов: выполнен анализ содержания разработанных документов предварительного планирования согласно регламентирующих документов.

Личное участие в проведении занятий Главного управления МЧС России по подготовке документов предварительного планирования на территории субъектов РФ.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Ее результаты опубликованы в «Студенческий электронный научный журнал 2023» № 11(223) и внедряются в практику работы 42 ПСЧ ФГБУ «4 отряд ФПС ГПС по Самарской области (договорной)».

На защиту выносятся разработанные рекомендации по техническому решению применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования на объекты 42 ПСЧ ФГБУ «4 отряд ФПС ГПС по Самарской области (договорной)».

Структура магистерской диссертации работа обусловлена целью и задачами исследования, состоит из трёх разделов и содержит 36 рисунков и 4 таблицы, список используемых источников (35 источников). Основной текст работы изложен на 86 страницах.

## Термины и определения

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Жизненный цикл – период, в течение которого происходит развитие объекта от начального замысла до вывода из эксплуатации. [1].

«Зона пожара – территория, на которой существует угроза причинения вреда жизни и здоровью граждан, имуществу физических и юридических лиц в результате воздействия опасных факторов пожара и (или) осуществляются действия по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожара» [13].

«Информационная модель – это объектно-ориентированная параметрическая 3D-модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов. Создается для решения конкретных прикладных задач проекта» [6].

Координация в области пожарной безопасности – деятельность по обеспечению взаимосвязи (взаимодействия) и слаженности элементов системы обеспечения пожарной безопасности

«Локализация пожара – действия, направленные на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения и создание условий для его ликвидации имеющимися силами и средствами» [3].

Оправданный риск – вероятность возникновения угрозы для жизни и здоровья личного состава пожарной охраны и (или) других лиц вследствие совершения правомерных необходимых и достаточных действий или бездействия в требующей незамедлительного реагирования личного состава пожарной охраны и иных участников тушения пожара ситуации, направленных на спасение жизни и здоровья людей в условиях тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ, если есть основания полагать, что такое спасение возможно.

«Организация тушения пожаров – совокупность оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий (за исключением мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности), направленных на спасение людей и имущества от опасных факторов пожара, ликвидацию пожаров и проведение аварийно-спасательных работ» [20].

«Пожарная безопасность – состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров» [33].

«Пожарная охрана – совокупность созданных в установленном порядке органов управления, подразделений и организаций, предназначенных для организации профилактики пожаров, их тушения и проведения возложенных на них аварийно-спасательных работ» [15].

Пожарно-спасательный гарнизон – совокупность расположенных на определенной территории органов управления, подразделений и организаций независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, к функциям которых отнесены профилактика и тушение пожаров, а также проведение аварийно-спасательных работ.

Система автоматизированного проектирования (САПР) – это организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования [2].

Система пожарной безопасности – комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение пожара и ущерба от него [8].

Система предотвращения пожара – комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключения условий возникновения пожара [24].

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящем отчете применяются следующие сокращения:

АСР – аварийно-спасательные работы.

ГАСИ – гидравлический аварийно-спасательный инструмент.

ГУ – Главное управление.

ДДС – дежурно-диспетчерская служба.

КТП – карточка тушения пожара.

НИР – научно-исследовательская работа.

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

НПА – нормативно-правовой акт.

ОП – опорный пункт.

ОФП – опасные факторы пожара.

ПА – пожарный автомобиль.

ПБ – пожарная безопасность.

ПО – пожарная охрана.

ПСГ – пожарно-спасательный гарнизон.

ПТП – план тушения пожара.

РТП – руководитель тушения пожара.

РФ – Российская Федерация.

ТП – тушение пожара.

СИЗОД – средство индивидуальной защиты органов дыхания.

СиС – силы и средства.

СП – свод правил.

ФПС – федеральная противопожарная служба.

ФЗ – федеральный закон.

ЧС – чрезвычайная ситуация.

# **1 Анализ видов и содержания документов предварительного планирования**

## **1.1 Нормативно-правовое обеспечение процесса**

Законодательной базой и нормативно-правовыми актами, регламентирующими разработку и работу с документами предварительного планирования, являются:

- Федеральный закон № 69-ФЗ от 21.12.1994 г. «О пожарной безопасности» [11];
- Постановление Правительства РФ от 20.06.2005 № 385 «О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы» [12];
- Постановление Правительства РФ от 17.05.2011 № 377 «Об утверждении Правил разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его формы» [10];
- Указ Президента РФ от 11.07.2004 № 868 «Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»;
- Приказ МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» [9];
- Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [7];
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 16.12.2013 № 591 «Об утверждении Методических указаний по заполнению формы плана тушения лесных пожаров» [8].

Нормативно-правовое обеспечение процесса разработки документов предварительного планирования действий по ТП и проведению АСР на территории РФ обеспечивают:

- начальник территориального гарнизона – плана привлечения на территории субъекта Российской Федерации, расписания выезда в городе федерального значения, плана применения ОП, строевой записки территориального гарнизона;
- начальник местного гарнизона – расписания выезда на территории муниципального образования, строевой записки местного гарнизона;
- начальник подразделения гарнизона совместно с руководителями организаций – ПТП и КТП.

## **1.2 Принципы подготовки документов предварительного планирования**

Рассмотрим виды документов предварительного планирования, требования к их содержанию, разработке, корректировке.

К документам предварительного планирования относятся:

- расписание выезда подразделений гарнизонов для тушения пожаров и проведения АСР;
- планами применения ОП;
- план привлечения сил и средств гарнизонов для ТП и проведения АСР;
- планы тушения пожаров, карточки тушения пожаров;
- строевые записки гарнизонов.

Разработка расписания выезда включает в себя:

- предварительное планирование действий по ТП и проведению АСР в населенных пунктах и организациях, расположенных на

территориях города федерального значения, муниципальных образований;

- определение перечня организаций, расположенных на территориях города федерального значения, муниципальных образований, на которые для ТП и проведения АСР необходимо СиС гарнизона по повышенным номерам (рангам) вызова;
- определение перечня организаций, расположенных на территории муниципального образования, на которые для ТП и проведения АСР необходимо привлечение СиС подразделений других муниципальных образований;
- определение количества дополнительных СиС гарнизона, которые могут быть выделены для ТП и проведения АСР на территориях соседних муниципальных образований;
- разработку компенсирующих мероприятий по обеспечению необходимого уровня ПБ на территории муниципального образования при направлении части СиС гарнизона за пределы гарнизона;
- разработку и согласование инструкций о взаимодействии при ТП и проведении АСР со службами жизнеобеспечения, заинтересованными организациями.

Корректировка расписания выездов проводится по мере необходимости, но не реже одного раза в три года, а также в случаях:

- издания новых НПА, регламентирующих порядок и особенности привлечения СиС гарнизонов, подразделений гарнизонов для ТП и проведения АСР;
- изменения границ районов и подрайонов выезда подразделений гарнизона, аварийно-спасательных формирований и опорных пунктов, а также границ акваторий для пожарных судов;

- изменения количества подразделений гарнизона, их места дислокации, штатной численности личного состава, количества техники;
- при включении и исключении организации или части территории организации из перечня объектов, критически важных для национальной безопасности страны, других особо важных пожароопасных объектов, особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации, на которых создаются объектовые, специальные и воинские подразделения ФПС.

План привлечения разрабатывается с целью организации ТП и проведения АСР на территории субъекта Российской Федерации.

Содержание плана-привлечения:

- перечень СиС территориального гарнизона;
- перечень СиС подразделений гарнизонов сопредельных субъектов Российской Федерации, привлекаемых для ТП и проведения АСР на территории субъекта Российской Федерации, для которого разрабатывается план привлечения, с указанием расстояния до географического центра субъекта Российской Федерации, маршрутов следования и состояния дорожного покрытия;
- перечень СиС территориального гарнизона, привлекаемых для ТП и проведения АСР на территориях сопредельных субъектов Российской Федерации, с указанием расстояния от места дислокации выделяемых подразделений гарнизона до географического центра территории субъекта Российской Федерации, маршрутов следования, состояния дорожных покрытий и компенсирующих мероприятий на указанный период;
- соглашения о взаимодействии с сопредельными субъектами Российской Федерации;
- перечень и предварительный расчет СиС территориального гарнизона, входящих в состав аэромобильной группировки и

направляемых для ТП и проведения АСР в зонах крупных пожаров (ЧС) за пределы субъекта Российской Федерации;

- перечень населенных пунктов, подверженных угрозе лесных пожаров;
- перечень населенных пунктов, подъезд к которым может быть невозможен в случае паводковой ситуации;
- лист корректировки.

Разработка плана привлечения включает в себя:

- предварительное планирование действий по ТП и проведению АСР в населенных пунктах и в организациях, расположенных на территории субъекта Российской Федерации;
- определение перечня организаций (населенных пунктов) субъекта Российской Федерации, для ТП и проведения АСР в которых необходимо привлечение дополнительных СиС гарнизонов других субъектов Российской Федерации и количества дополнительных СиС гарнизона, необходимых для ТП и проведения АСР;
- определение количества дополнительных СиС гарнизонов соседних субъектов Российской Федерации, необходимых для ТП и проведения АСР на территории субъекта Российской Федерации, для которого разрабатывается план привлечения;
- разработку документов по определению порядка привлечения СиС гарнизонов для ТП и проведения АСР на сопредельных территориях;
- разработку мероприятий по обеспечению передислокации СиС гарнизона для ТП и проведения АСР на территориях других субъектов Российской Федерации;
- разработку компенсирующих мероприятий по обеспечению необходимого уровня организации пожаротушения на территории субъекта Российской Федерации при использовании СиС гарнизона

для ТП и проведения АСР на территориях других субъектов Российской Федерации;

- разработку и согласование инструкций о взаимодействии со службами жизнеобеспечения и заинтересованными организациями.

Строевая записка гарнизона разрабатывается с целью обеспечения начальника гарнизона и должностных лиц гарнизона информацией о наличии и составе СиС подразделений гарнизона.

Содержание строевой записки гарнизона:

- наименование ПСГ, подразделения ПО, вид ПО и других подразделений, входящих в ПСГ;
- пожарная техника в боевом расчете, в резерве, не в расчете, вспомогательная техника;
- количество СИЗОД в ПСГ;
- количество защитных костюмов в ПСГ;
- количество ГАСИ в ПСГ;
- количество личного состава по списку, на лицо, в боевом расчете и отсутствует в ПСГ;
- количество огнетушащих веществ, возимых на пожарных автомобилях и в резерве в ПСГ.

«Разработка строевой записки гарнизона осуществляется должностным лицом подразделения гарнизона, назначенное руководителем подразделения гарнизона, в обязанности которого входит ежедневное с 08.00 до 09.00 по местному времени направление диспетчеру местного гарнизона информации о силах и средствах, находящихся на дежурстве в подразделении» [4].

«Информация о наличии и составе СиС подразделений гарнизона направляется по средствам связи (информационно-телекоммуникационным сетям, телефонная, сотовая связь, радиосвязь). Диспетчером местного гарнизона обобщаются сведения о наличии и составе СиС подразделений гарнизона, представляется на утверждение начальнику местного гарнизона строевая записка местного гарнизона, копия которой направляется

диспетчеру территориального гарнизона для подготовки строевой записки территориального гарнизона» [21].

«План тушения пожара разрабатывается с целью обеспечения РТП информацией об оперативно-тактической характеристике организаций, предварительного прогнозирования возможной обстановки в организациях (населенных пунктах) при пожаре, планирования действий по ТП и проведению АСР подразделений пожарной охраны на месте пожара, повышения уровня боевой подготовки личного состава подразделений пожарной охраны к ТП и проведению АСР» [5].

Содержание плана тушения пожара:

- титульный лист;
- содержание;
- основная часть;
- приложения.

Титульный лист является первой страницей ПТП и служит источником информации, необходимой для его поиска.

Основная часть включает следующие основные разделы:

- оперативно-тактическая характеристика объекта;
- прогноз развития пожара;
- действия обслуживающего персонала (работников) объекта до прибытия пожарных подразделений;
- организация работ по спасению людей;
- организация тушения пожара подразделениями пожарной охраны;
- организация взаимодействия подразделений пожарной охраны со службами жизнеобеспечения;
- требования правил охраны труда;
- учет использования ПТП.

Раздел «Оперативно-тактическая характеристика объекта» содержит информацию о данных, способных в той или иной степени повлиять на исход развития и тушения пожара.

В разделе «Прогноз развития пожара» производится обоснования не менее двух возможных мест возникновения пожара, которые определяются исходя из реальной обстановки.

В разделе «Действия обслуживающего персонала (работников) объекта до прибытия пожарных подразделений», излагаются:

- инструкции на случай пожара для должностных лиц объекта;
- данные о дислокации аварийно-спасательных служб объекта, номера их телефонов, наличие другой связи с ними;
- наличие и порядок использования техники и средств связи объекта;
- организация обеспечения средствами индивидуальной защиты участников тушения пожара и эвакуируемых лиц.

В разделе «Организация работ по спасению людей» приводится:

- предполагаемая численность лиц, находящихся (работающих) на объекте, сведения о местах нахождения и физическом состоянии людей (способность самостоятельно передвигаться и принимать решения):
- сведения об эвакуационных путях и выходах из здания, информация о предполагаемом сосредоточении людей в помещениях, порядке проведения спасательных работ и привлекаемой для этих целей техники и оборудования, порядке оказания первой помощи пострадавшим.

В ПТП для учреждений дошкольного и школьного образования, учреждений здравоохранения и иных организациях, помещения, в которых в ночное время на постоянной основе размещаются люди, выделяют красной ретушью всей проекции помещения на схеме. В указанные ПТП включается вкладыш, в который ежедневно до 21:00 вносятся данные о численности людей в ночное время.

В разделе «Организация тушения пожара подразделениями пожарной охраны» приводятся:

- выписка из расписания выезда подразделения пожарной охраны, в части, касающейся объекта;
- рекомендуемые средства и способы тушения пожара;
- расчет необходимого количества СиС для тушения пожара;
- схемы расстановки СиС на момент локализации по каждому тактическому замыслу. Магистральные рукавные линии подписывают, указывая диаметр и их количество;
- совмещённые графики изменения площади пожара, требуемого и фактического расходов воды во времени, схема организации связи (при необходимости) для каждого тактического замысла;
- схемы организации заправочного пункта у водоемов и снабжение водой пожарных автомобилей, осуществляющих подачу воды для целей пожаротушения, способами «перекачки» и (или) «подвоза» (при необходимости), места установки пожарной – насосной станции и прокладки рукавных линий АР (при необходимости);
- организация ТП при различных вариантах его развития определяется на основании раздела «Прогноз развития пожара»;
- расчетные и справочные данные, необходимые для обеспечения управления действиями подразделений пожарной охраны при пожаре;
- рекомендации РТП, должностным лицам штаба тушения пожара и тыла на пожаре о действиях при пожаре (исполняются во влагозащищённом виде).

«Общее руководство организацией работы по составлению, отработке и учету ПТП и КТП возлагается на начальников гарнизонов. Решение по разработке ПТП (КТП) на организацию принимается начальником гарнизона по письменному согласованию с руководителем (собственником) организации» [14].

«В целях учета и планирования работы с ПТП и КТП в местном гарнизоне разрабатывается и своевременно корректируется перечень

сельских населенных пунктов, садоводческих, огороднических некоммерческих товариществ и иных организаций, на которые должны составляться планы ТП и карточки тушения пожаров. Перечень разрабатывается ежегодно, в IV квартале календарного года, органом местного самоуправления совместно с представителями местного гарнизона и утверждается главой органа местного самоуправления или его заместителем» [23].

«План-график утверждается начальником местного гарнизона. ПТП составляются в трех экземплярах, утверждаются начальником гарнизона и собственником организации. Первый экземпляр хранится в подразделении гарнизона, в районе (подрайоне) выезда которого находится организация, второй экземпляр – в центральном пункте пожарной связи местного гарнизона, третий экземпляр – у руководителя (собственника) организации» [16].

«ПТП корректируются один раз в два года, а также подлежат корректировке при изменении формы собственности, функционального назначения, объемно-планировочных решений, модернизации технологического процесса производства организации, изменении тактических возможностей подразделений гарнизона, а также и в иных случаях по решению начальника местного гарнизона» [22].

ПТП составляются на следующие объекты:

- объекты нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей промышленности (нефтеперекачивающие станции, газокompрессорные станции, нефтегазоперерабатывающие заводы, сооружения для добычи и подготовки нефти и газа на континентальном шельфе, станции хранения газа; объекты добычи и подготовки нефти и газа, отдельно стоящие технологические установки и терминалы с взрывопожароопасной технологией производства);

- объекты химической и нефтехимической промышленности, предприятия по производству (синтетического каучука, химической продукции с применением взрывопожароопасных веществ и материалов, шин и резинотехнических изделий, сжиженных углеводородных газов, минеральных удобрений);
- производственные объекты машиностроительной, металлообрабатывающей и металлургической промышленности, независимо от их производственной мощности;
- предприятия по хранению, переработке древесины и производству целлюлозы;
- объекты культурного наследия народов Российской Федерации;
- сельскохозяйственные предприятия;
- животноводческие комплексы с проектной численностью животных (крупного рогатого скота 2000 голов и более, свиней 12000 голов и более, лошадей 2000 голов и более, овец 15000 голов и более);
- птицеводческие комплексы с проектной численностью 500000 птиц и более;
- жилые дома высотой более 75 метров, жилые комплексы с высотой одного из объектов (25 этажей и более);
- организации транспорта;
- образовательные организации и организации отдыха и оздоровления детей (общеобразовательные школы, учреждения среднего и высшего образования на 500 обучающихся и более, школы-интернаты на 150 и более учащихся, детские сады на 100 мест и более, летние спортивные и оздоровительные лагеря на 100 мест и более);
- общественно-административные здания и сооружения (единовременной вместимостью 250 и более работающих, торговые центры, супермаркеты, универмаги, гостиницы, общежития, мотели от 150 койко-мест и более, общественно-административные здания

и сооружения повышенной этажности, культовые сооружения одновременной вместимостью 150 человек);

- организации здравоохранения (вместимостью стационаров на 150 и более койко-мест, амбулаторно-поликлинические организации на 250 посетителей в смену).

«Карточка тушения пожара разрабатывается с целью обеспечения руководителя тушения пожара информацией об оперативно-тактической характеристике организаций, предварительного прогнозирования возможной обстановки в организациях (населенных пунктах) при пожаре, планирования действий по ТП и проведению АСР подразделений пожарной охраны на месте пожара, повышения уровня боевой подготовки личного состава подразделений пожарной охраны к ТП и проведению АСР» [19].

Содержание карточки тушения пожара:

- титульный лист;
- основная часть;
- приложения.

Титульный лист является первой страницей КТП и служит источником информации, необходимой для его поиска.

Основная часть включает следующие основные разделы:

- оперативно-тактическая характеристика объекта;
- учет использования КТП;
- графическая часть.

«В разделе «Графическая часть» изображается план-схема объекта на местности с указанием подъездных путей, мест установки пожарной техники, соседних объектов и расстояний до них, источников противопожарного водоснабжения с характеристиками и расстояниями до них, а также поэтажные планы объекта с указанием путей эвакуации, водоисточников, мест отключения электроустановок, помещений с ночным пребыванием людей (красной ретушью всей проекции помещения на схеме), а также иные

сведения, необходимые для оперативного использования документа при пожаре, чрезвычайной ситуации» [17].

Вывод по разделу.

В ходе выполнения задач исследования были определены:

- нормативные документы, согласно которых разрабатываются документы предварительного планирования;
- виды документов предварительного планирования;
- ответственные лица за разработку документов предварительного планирования.

В ходе выполнения задач исследования были рассмотрены:

- требования к документам предварительного планирования;
- содержание документов предварительного планирования;
- оформление документов предварительного планирования;
- процесс разработки и утверждения документов предварительного планирования.

Исходя из вышеизложенной информации, несмотря на профессиональную подготовку и опыт личного состава подразделений пожарной охраны, точность, грамотность и правильность разработки документов предварительного планирования напрямую влияет на выполнение основной боевой задачи пожарной охраны - проведение боевых действий по тушению пожаров на месте пожара для спасения людей, достижения локализации и ликвидации пожара в кратчайшие сроки. Следовательно, необходимо разрабатывать и внедрять современные технологические методы, такие как 3d моделирование, при разработке документов предварительного планирования, направленных на повышение уровня реагирования подразделений пожарной охраны.

## **2 Применение 3d-моделирования в документах предварительного планирования**

### **2.1 Обзор систем 3d-моделирования**

Программы для BIM-моделирования – разновидность систем автоматизированного проектирования (САПР). Такое программное обеспечение позволяет создавать чертежи и визуализировать будущие конструкции и здания в 3D-виде [25].

Building Information Modeling (BIM) – информационное моделирование зданий, подход моделирования при котором здание воспринимается как система, применяется в строительстве и архитектуре для создания трехмерной модели здания с помощью компьютерного программного обеспечения [26].

Создается полная база сведений об объекте и отдельных его элементах. Делаются чертежи, схемы и трехмерная визуализация. BIM-системы позволяют проектировать здания, управлять строительством и эксплуатацией. Приложение рассчитывает прочность конструкции и остаточный ресурс. При этом учитываются местные особенности:

- климатические условия;
- свойства грунта;
- свойства строительных материалов;
- действующие строительные нормы [18].

С помощью технологии BIM модели здания строятся в цифровом виде. Они поддерживают проектирование на всех его этапах, обеспечивая лучший анализ и контроль, чем ручные процессы. После завершения эти сгенерированные компьютером модели содержат точную геометрию и данные всего объекта.

BIM поддерживает функции, необходимые для моделирования жизненного цикла здания, обеспечивая основу для новых возможностей

проектирования и строительства. Внедрение BIM-моделирования способствует более интегрированному процессу проектирования и строительства, что приводит к созданию зданий более высокого качества и сокращению продолжительности проектирования [33].

Все системы генерируют цифровые файлы. Старые системы САПР создают чертежи в виде графиков. Они генерируют файлы, состоящие в основном из векторов, связанных типов линий и идентификаторов слоев. С введением 3D-моделирования были добавлены инструменты расширенного определения поверхностей.

Модель здания, созданная с помощью инструмента BIM, поддерживает представление данных, содержащихся в наборе чертежей, включая 2D и 3D.

Параметрические объекты BIM определяются следующим образом:

- состоят из геометрических определений и связанных данных;
- геометрия интегрирована без избыточности и не допускает несоответствий. При отображении объекта в 3D, форма не может быть представлена как 2D. План и высота данного объекта всегда должны быть согласованы;
- параметрические правила для объектов автоматически изменяют связанные элементы при внесении изменений в объекты. Например, дверь автоматически вписывается в стену, выключатель света автоматически располагается рядом с выбранной стороной двери, стена автоматически изменяет свой размер, чтобы примыкать к потолку или крыше [28].

Технологии, которые позволяют пользователям создавать модели зданий, состоящие из параметрических объектов, считаются инструментами разработки BIM.

Преимущества использования BIM-моделирования:

- 3D-модель, созданная программным обеспечением BIM, создается напрямую, а не из нескольких 2D-видов. Ее можно использовать

- для визуализации проекта на любом этапе процесса, при этом модель будет иметь одинаковые размеры на каждом виде;
- автоматические исправления при внесении изменений;
  - создание точных и последовательных 2D-чертежей в любое время;
  - технология BIM облегчает одновременную работу нескольких пользователей. Это сокращает время проектирования и значительно снижает количество ошибок при проектировании;
  - простая проверка соответствия замыслу проекта. BIM обеспечивает более раннюю 3D-визуализацию и количественную оценку площади каждого помещения и здания (рисунок 1) [29].

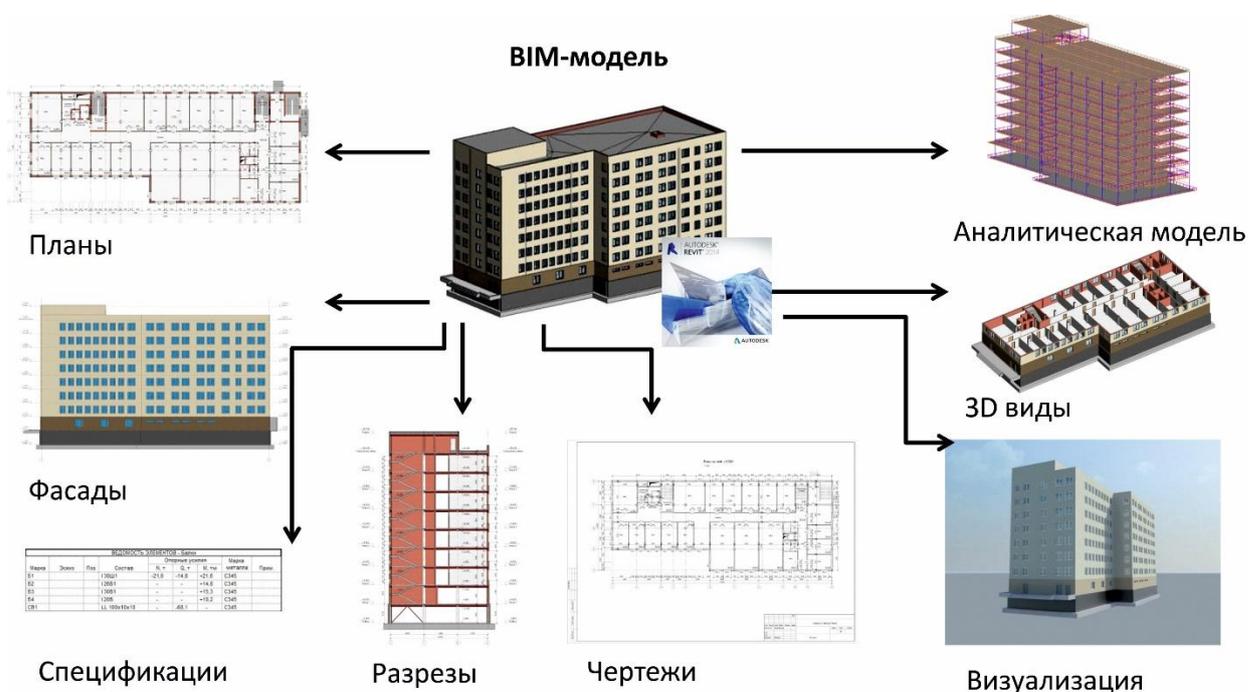


Рисунок 1 – Составляющие элементы BIM-модели

Связывание модели здания с различными инструментами анализа представляет возможности для улучшения качества здания (рисунок 2) [27].

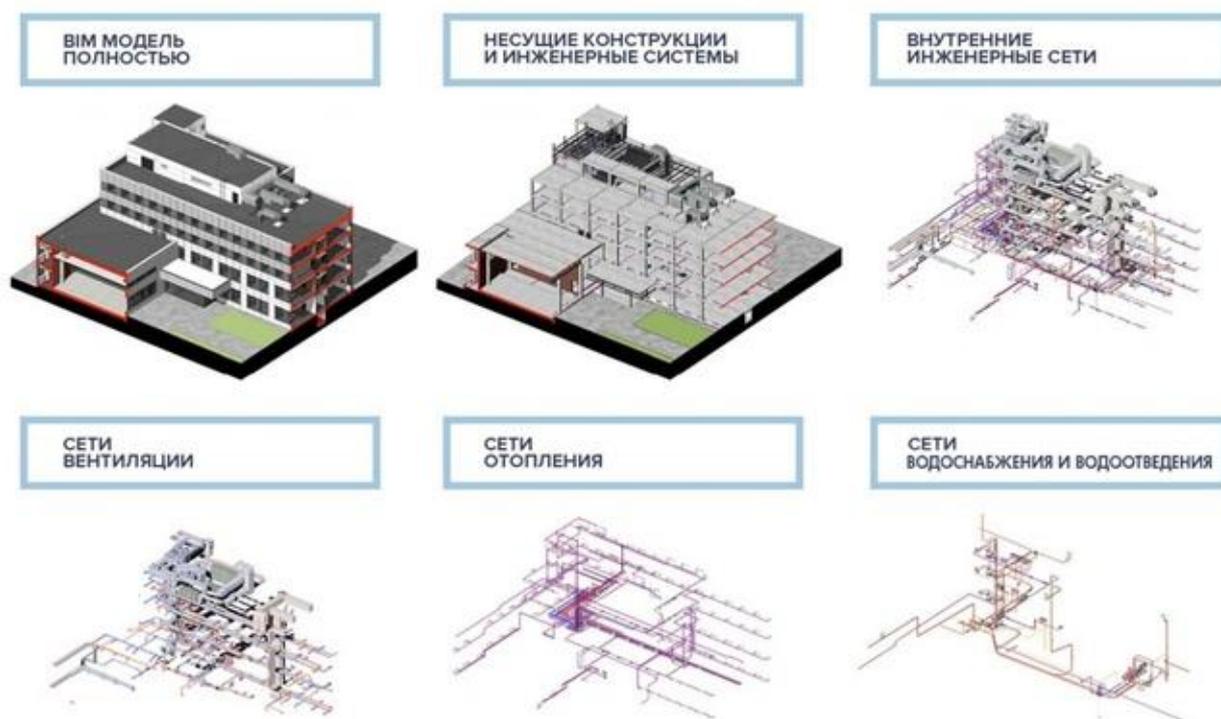


Рисунок 2 – BIM-модель на различных этапах разработки

В данном разделе будет проведен обзор имеющихся систем 3d-моделирования. Будут рассмотрены основные преимущества и недостатки систем 3d-моделирования [31].

Система для 3d-моделирования «ArchiCAD».

«ArchiCAD» – 3D-конструктор на русском языке, применяемый для проектирования зданий, для планировки ремонта и дизайна ландшафта. С его помощью создаются точные 2D-модели и 3D-модели коммуникаций и предметов интерьера (рисунок 3).

Программа позволяет создавать проекты на основе готовых элементов, входящих в библиотеку, при этом возможно их редактирование. Имеется возможность ручного моделирования деталей (рисунок 4).

Отличительной особенностью программы является полная взаимосвязь всех деталей проекта. Созданная система реагирует на изменения любого объекта, автоматически пересчитывая чертеж [32].

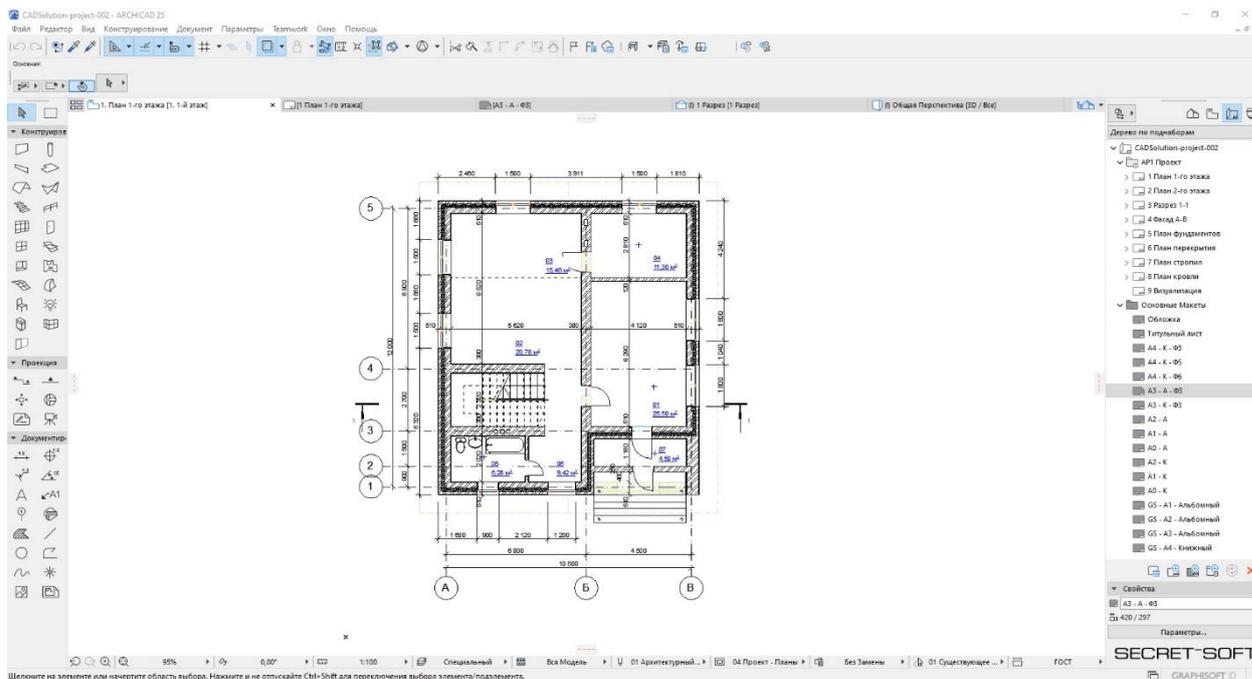


Рисунок 3 – Построение план-схемы объекта в программе «ArchiCAD»

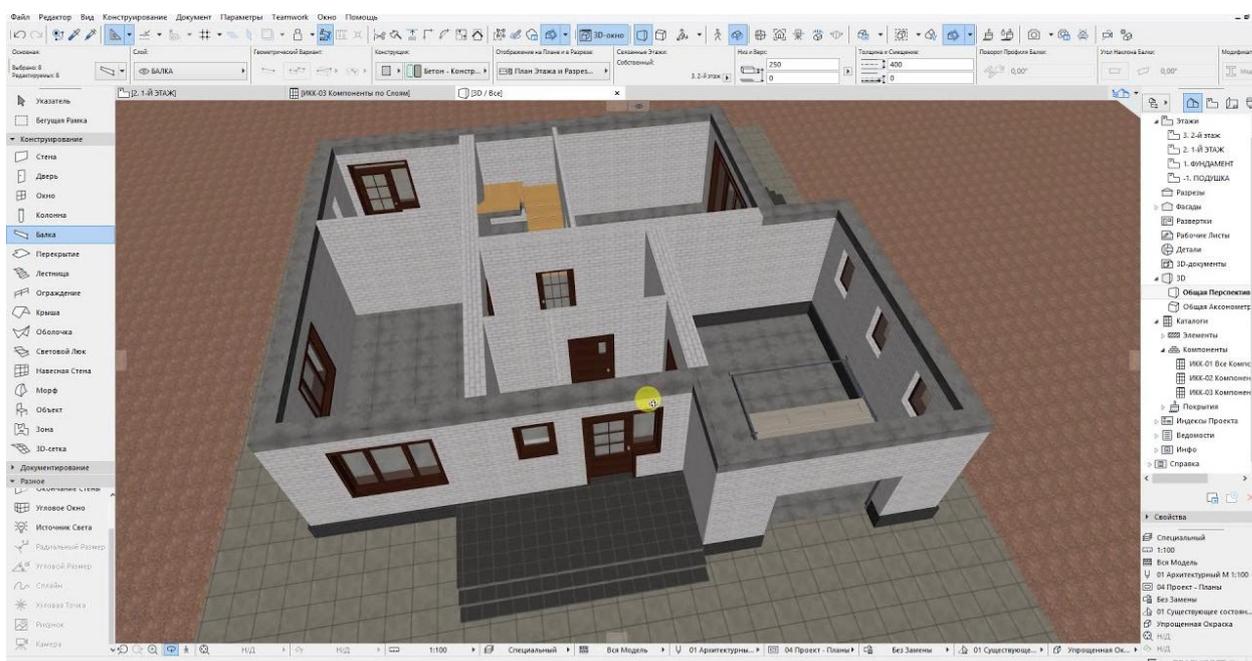


Рисунок 4 – Построение 3d-модели объекта в программе «ArchiCAD»

В обширном функционале особенно следует отметить следующие пункты:

- редактирование объектов на любом этапе работы;

- демонстрация проекта в виртуальном представлении;
- синхронизация проектов с облаком;
- генерация документации для всего проекта в целом или отдельных деталей;
- быстрая передача документов;
- возможность виртуального тура в режиме реального времени;
- расчет нагрузки и допустимого объема используемых материалов.

Имеется функция совместной работы, благодаря которой возможно подключить несколько компьютеров сразу.

Плюсы программы «ArchiCAD»:

- позволяет проводить просмотр с разным освещением;
- автоматические инструменты облегчают процесс работы;
- есть мобильная версия;
- возможность распределить рабочую нагрузку в команде;
- учитывает российские стандарты и официальные нормативы;
- отдельные инструменты для подготовки чертежей и документации к печати;
- качественная 3D-визуализация;
- автоматическое изменение документации при внесении правок в проект.

Минусы программы «ArchiCAD»:

- сложность программы требует длительного обучения;
- необходимо современное компьютерное оборудование, такие как, видеокарта и оперативная память;
- ориентирована на работу со встроенным набором конструкций, сложно проектировать нестандартные сооружения;
- файлы, созданные в актуальной версии «ArchiCAD», некорректно отображаются в более старой версии.

Система для 3d-моделирования «Allplan».

«Allplan» – это BIM-программа для совместного проектирования и строительства зданий, гражданской инфраструктуры, мостов, автомобильных и железных дорог, производства сборных железобетонных изделий [35].

Преимущества системы «Allplan»:

- мощные инструменты для разработки архитектуры жилых и коммерческих зданий, дизайна мостов, инженерных сетей, портов, плотин, дорог;
- интегрированные облачные технологии для эффективного сотрудничества, координации и реализации успешных проектов;
- автоматизация процессов: создание планов, разрезов, видов, проекций;
- автоматическое корректирование при внесении изменений;
- качественное 3D-моделирование;
- соответствие чертежей и спецификаций требованиям ГОСТ и СНиП.

В САПР-систему включен набор спецификаций, часть которых соответствует отечественным стандартам. Расчеты можно экспортировать в программу «Excel» или размещать в рабочих средах проекта. При необходимости составления новых спецификаций все вычисления выполняются автоматически (рисунок 5).

Специальный модуль позволяет планировать застройку с учетом особенностей рельефа. Окружающая местность может быть представлена в виде цифровой модели, к которой можно обращаться и редактировать в любой момент.

Плюсы программы «Allplan»:

- обширная библиотека элементов;
- возможность создания собственного каталога материалов;
- автоматическое армирование колонн, балок и перекрытий;
- наличие параметрических 3d-шаблонов для быстрого моделирования сборных балочных мостов;

– одновременная работа специалистов над всеми разделами проекта.

Минусы программы «Allplan»:

- сложность программы требует длительного обучения;
- необходимо современное компьютерное оборудование, такие как, видеокарта и оперативная память.

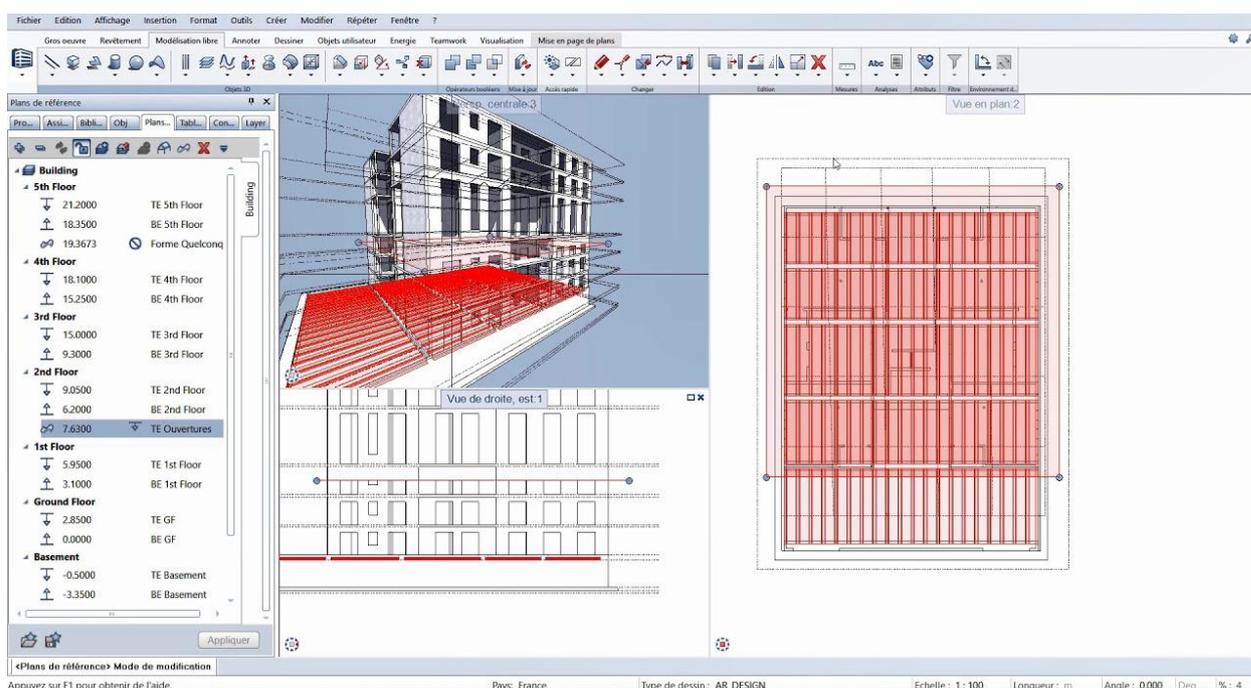


Рисунок 5 – Построение 3d-модели в программе «Allplan»

Система для 3d – моделирования «Revit».

«Revit» – это универсальная система информационного моделирования (BIM), которая состоит из нескольких наборов инструментов для проектирования инженерных систем и конструкций в сфере строительства и архитектуры.

«Revit» работает на основе BIM-технологий, которые помогают собирать, структурировать и получать всю информацию о проекте. Возможность сохранения файлов в различных форматах позволяет обмениваться данными, даже если пользователи используют другие платформы.

Структура «Revit» состоит из трех модулей, предназначенных для архитекторов, инженеров коммуникаций и строителей. Используя программу, можно создавать 3D-конструкции с параметрической точностью, оптимизировать работу с документацией, формировать личные библиотеки строительных компонентов, делать пометки в виде гиперссылки при обмене файлами проекта в формате PDF (рисунок 6).

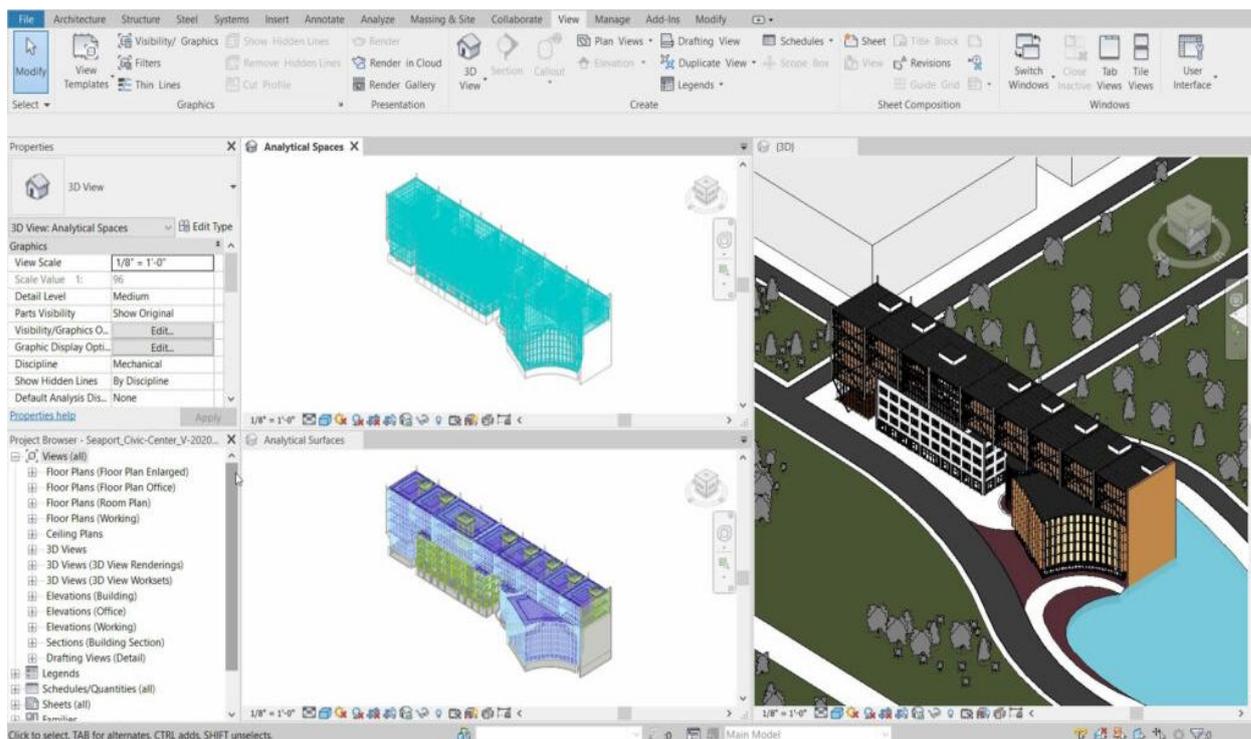


Рисунок 6 – Построение 3d-модели в программе «Revit»

Основные строительные элементы, которыми проектировщик оперирует в «Revit» называются семействами. «Столы», «Кровати», «Шкафы» – это все семейства, которые относятся к категории «Мебель». Мебель бывает разных типов, конфигураций и может быть множественно дифференцирована, например, на стулья для столовых, кафе, кабинетов, с мягкой обивкой, полностью деревянные, с круглыми или квадратными сиденьями и так далее.

Семейства делятся на три вида:

- системные;
- контекстные;
- загружаемые.

Системные – это базовые элементы зданий: стены, потолки, полы. Загружаемые – это элементы, которые можно скачивать на специализированных сайтах по BIM-контенту. Контекстные представляет собой уникальные элементы, которые создаются под конкретный проект и задачу и не предполагают повторного использования [34].

Возможности программы «Revit»:

- визуализация сцен в трехмерной реальности. Функциональные возможности программы позволяют продемонстрировать не только экстерьер здания, но и внутренние помещения с учетом освещения в разное время суток и отражения фактуры отделочных материалов;
- эффективное управление проектами. Имеется возможность снизить нагрузку на производство, используя встроенную автоматизацию для документирования проекта и управления результатами;
- возможность смоделировать весь спектр элементов, необходимых для возведения зданий (стены, крыши, потолки, колонны, лестницы, витражи, разводку внутренних инженерных сетей и элементы интерьера);
- настраиваемый пользовательский интерфейс. Возможность изменять рабочую среду программы (перемещать панели, задавать комбинации горячих клавиш, устанавливать режимы отображения для лент).

Плюсы программы «Revit»:

- оценка проекта в масштабе с помощью генеративного проектирования;
- расширение функционала за счет сторонних приложений;
- возможность командного выполнения работы;

- реалистичное отображение графики при естественном и искусственном свете.

Минусы программы «Revit»:

- сложность программы требует длительного обучения;
- файлы, созданные в актуальной версии, не открываются или некорректно отображаются в более старой версии;
- необходимо современное компьютерное оборудование, такие как, видеокарта и оперативная память.

Система для 3d-моделирования «Tekla».

Программа «Tekla» – это профессиональное программное обеспечение для BIM-моделирования зданий и конструкций из стали, бетона, дерева и стекла. «Tekla» позволяет создавать трехмерные модели конструкций из различного строительного материала и управлять ими, а также на протяжении всего процесса от концепции до изготовления предлагает автоматизированный процесс создания рабочих чертежей (рисунок 7).

Возможности программы «Tekla»:

- интеллектуальное создание чертежей. Возможность создавать чертежи, используя сохраненные настройки, а также возможность генерировать шаблоны на основе готовых чертежей. В дальнейшем эти шаблоны будут использоваться программой автоматически;
- быстрый рендеринг. Благодаря, новым функциям рендеринга чертежей двумерные сцены быстрее превращаются в трехмерные. Это особенно заметно при активации функции панорамирования или при масштабировании;
- удобное и легкое взаимодействие. Возможность сохранения проектов в различных форматах и обмениваться ими;
- простое армирование сложной геометрии. Для армирования деталей используются компоненты и наборы арматуры, которые легко адаптируются к геометрии бетона и автоматически обновляются при изменении размера детали.

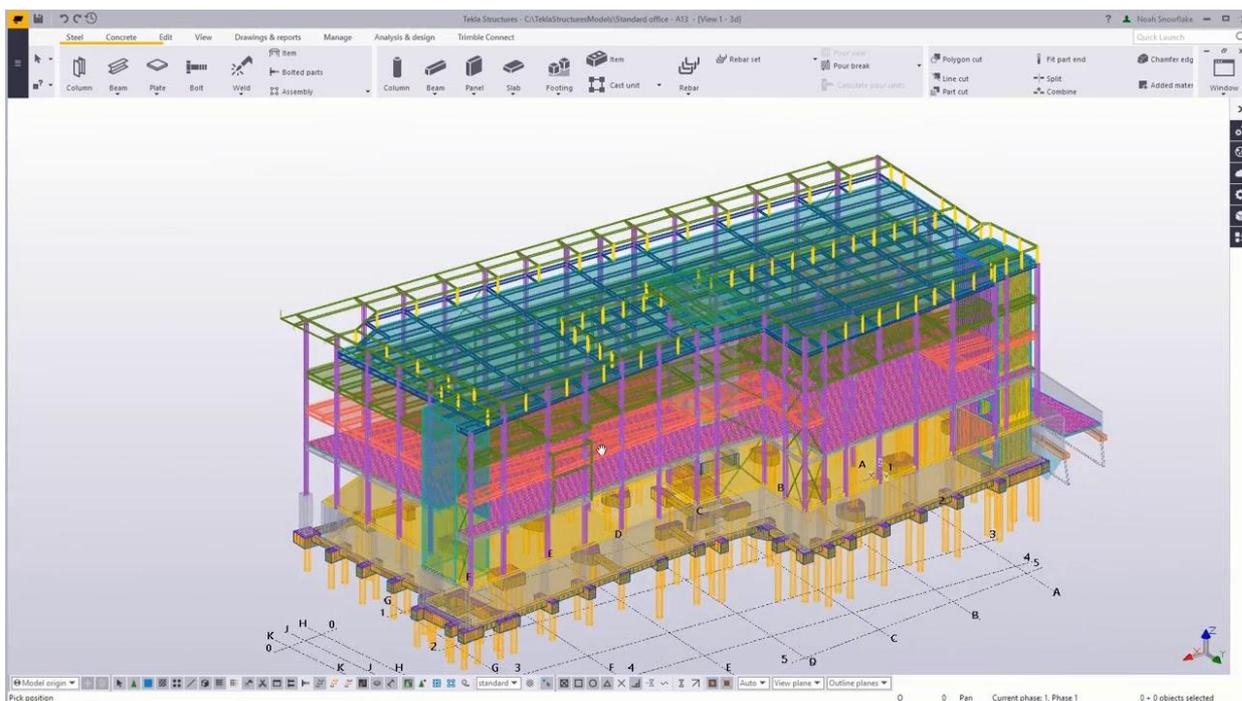


Рисунок 7 – Построение 3d-модели в программе «Tekla»

Плюсы программы «Tekla»:

- многопользовательский режим;
- русскоязычная версия;
- гибкость настроек при редактировании;
- наличие плагинов, позволяющих расширить возможности программы;
- высококачественная 3D-визуализация;
- наличие калькулятора, позволяющего оценить воздействие проекта на окружающую среду;
- генерация моделей с высоким уровнем.

Минусы программы «Tekla»:

- отсутствует функция копирования деталей чертежей;
- неудобство настроек при заполнении чертежей;
- дороговизна дополнительных плагинов;

- необходимо современное компьютерное оборудование, такие как, видеокарта и оперативная память;
- сложность программы требует длительного обучения.

Система для 3d-моделирования «AutoCAD».

Программа «AutoCAD» позволяет создавать проектную рабочую документацию, планы, развертки и спецификации. С помощью программы возможно разработать трехмерный план здания любой конструкции и размера с максимальной детализацией. В плане будут учитываться не только площадь комнаты и положение предметов относительно друг друга, но и мельчайшие подробности здания и скрытые коммуникации (вентиляция, канализационная система, электропроводка, стена в разрезе).

Автоматическое резервное копирование защищает данные об объектах и координатах, что необходимо при выполнении масштабных задач. Из базы каталога можно скачать более 8000 стилей, моделей мебели и оборудования, различные виды внутренней и внешней отделки. Программа имеет подсказки расположения дверей и окон, размещения розеток, осветительных и электроприборов для соблюдения требований пожарной безопасности.

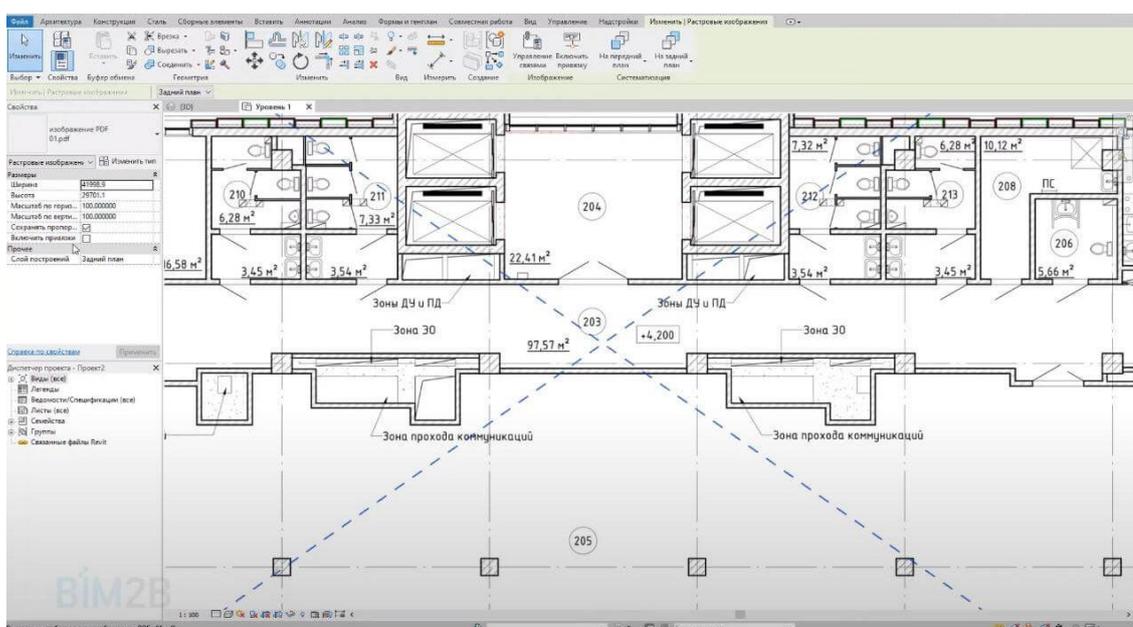


Рисунок 8 – Построение схемы в программе «AutoCAD»

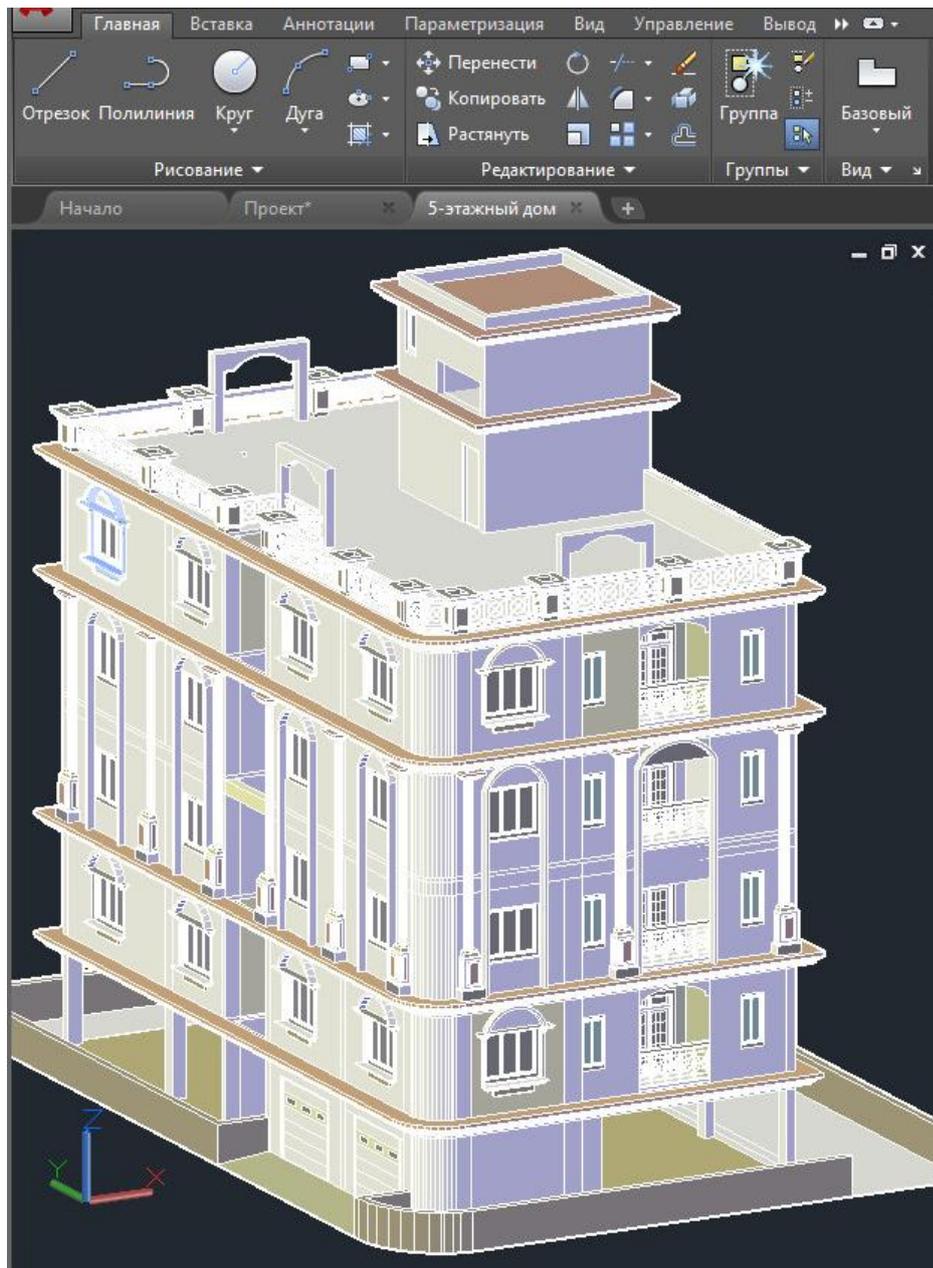


Рисунок 9 – Построение 3d-модели в программе «AutoCAD»

Возможности программы «AutoCAD»:

- разработка сложных 2D- и 3D-проектов. Возможность спроектировать помещение или дизайн любой сложности. Все зависит только от уровня подготовки пользователя и целей проекта (рисунок 8, рисунок 9);

- создание плана по реконструкции объектов. Существующие, снесенные и будущие архитектурные элементы отображаются на одном чертеже;
- выпуск рабочей документации. Имеется возможность создавать рабочие чертежи и добавлять к ним таблицы.

Плюсы программы «AutoCAD»:

- автоматическое сохранение проекта;
- замена ручного чертежа;
- имеется версия на русском языке;
- просмотр нескольких чертежей одновременно.

Минусы программы «AutoCAD»:

- необходимо современное компьютерное оборудование, такие как, видеокарта и оперативная память;
- сложность программы требует длительного обучения.

Система для 3d-моделирования «Renga».

«Renga» – российская комплексная программа для BIM-моделирования в трехмерной среде.

Платформа ориентирована на архитекторов и инженеров различных отраслей.

Одна из особенностей платформы заключается в том, что проектировка здания происходит сразу в 3D-пространстве.

В программе реализовано несколько модулей для быстрого создания или редактирования конструкций.

Имеется возможность разработать индивидуальный образец окна или двери, задать требуемые размеры, выбрать материал изготовления, определить, в какую сторону будут открываться створки.

Из стандартных объектов программного каталога (колонны, перекрытия, арматурные стержни) возможно соорудить лестничный марш и в дальнейшем работать с конструкцией как с единым элементом.

Функционал программы позволяет создавать BIM-модели инженерных систем (внутреннюю разводку водосетей, теплотрассы, электролинии, воздухоотводы).

Оформление документации происходит в автоматическом режиме. Инструмент «Спецификации» производит сбор информации с объектов и формирует таблицу данных.

Возможности программы «Renga»:

- процесс разработки происходит непосредственно в 3D-пространстве. Это обеспечивает восприятие конструкта и помогает сформировать полное представление об объекте проектирования. В любой момент возможно переключиться в 2D-режим;
- трехмерная графика. Возможность совершать виртуальные туры в VR-очках;
- создание документов с учетом стандартов. Генерирование документов в соответствии с нормативами РФ для исключения ошибки в чертежах. Также в программе имеются стандарты ISO, составление документации происходит в автоматическом режиме.

Плюсы программы «Renga»:

- редактирование на любом этапе разработки проекта;
- учет физических свойств стройматериалов;
- наличие дополнительных бесплатных каталогов;
- возможность добавления расширений для программы;
- официальная версия на русском языке.

Минусы программы Renga:

- отсутствие возможности изменять объекты на разрезах.

На основании проведенного обзора систем 3d-моделирования наиболее подходящей программой для использования в документах предварительного планирования является программа «Renga», так как представляет собой оптимальный и удобный инструмент для проектирования и моделирования

трехмерных объектов, который обладает рядом преимуществ перед своими аналогами.

Во-первых, «Renga» обладает простым интерфейсом, который позволяет быстро и эффективно работать с программой, не имея опыта в 3D-моделировании.

Во-вторых, «Renga» обладает высокой скоростью работы и производительности, что позволяет работать с проектами без перебоев.

В-третьих, «Renga» обладает широким набором инструментов и функций для моделирования, анализа и визуализации трехмерных объектов, что делает программу универсальным и полезным инструментом для проектирования в различных отраслях промышленности.

Пример применения BIM-системы 3d-моделирования в программе «Renga» при создании информационной модели общеобразовательной школы.

В качестве объекта для проекта была выбрана общеобразовательная школа на 1000 мест.

Для этого на основании полученной проектной документации школы, создается информационную модель в BIM-системе «Renga».

Для создания информационной модели школы необходимы исходные данные, такие как рабочая и проектная документация.

Моделирование начинается с создания сетки координационных осей. Далее, происходит создание модели по блокам с несущего каркаса и фундамента. Общая модель собирается в отдельном файле.

Следующим шагом происходит детализация модели.

Проработка конструктивной части здания начинается с фундамента и ростверков.

Ростверки выполняются сборками из перекрытий и арматурных каркасов.

При этом вся арматура преобразовывается в параметрические арматурные стержни (рисунок 10, рисунок 11).

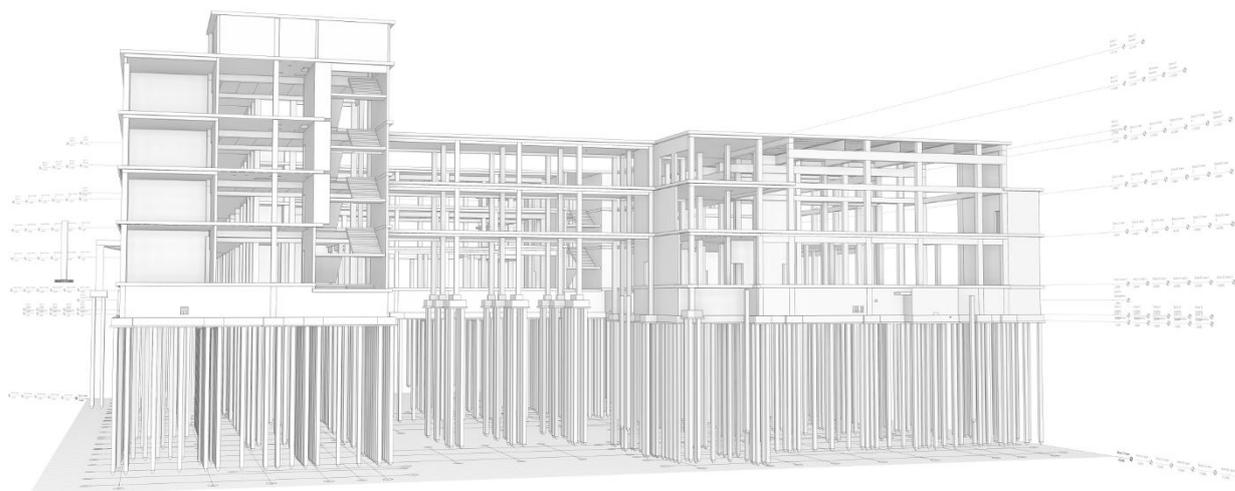


Рисунок 10 – Несущий каркас школы

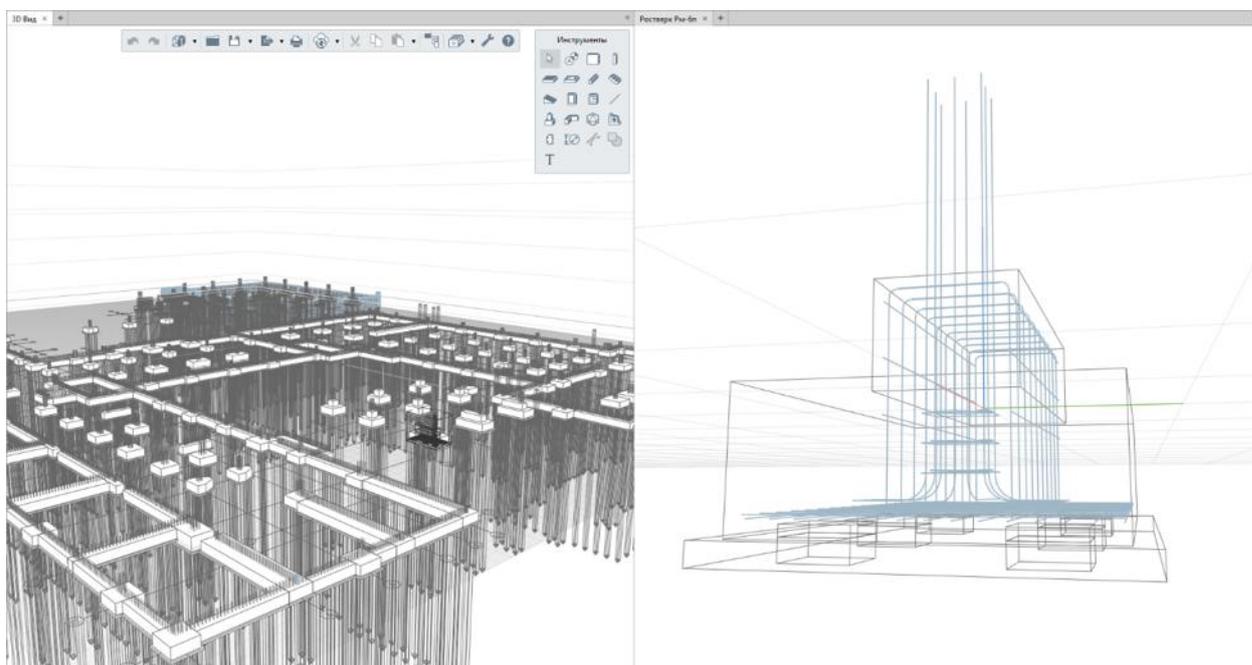


Рисунок 11 – Сборка ростверка и модель фундаментов

Конструкции несущего каркаса (балки, колонны, стены, перекрытия) полностью армируются инструментами «Renga».

Всё фоновое армирование выполняется параметрическими стилями армирования, которые автоматически располагают арматурные сетки и каркасы в конструктивных элементах по указанным требованиям (рисунок 12).

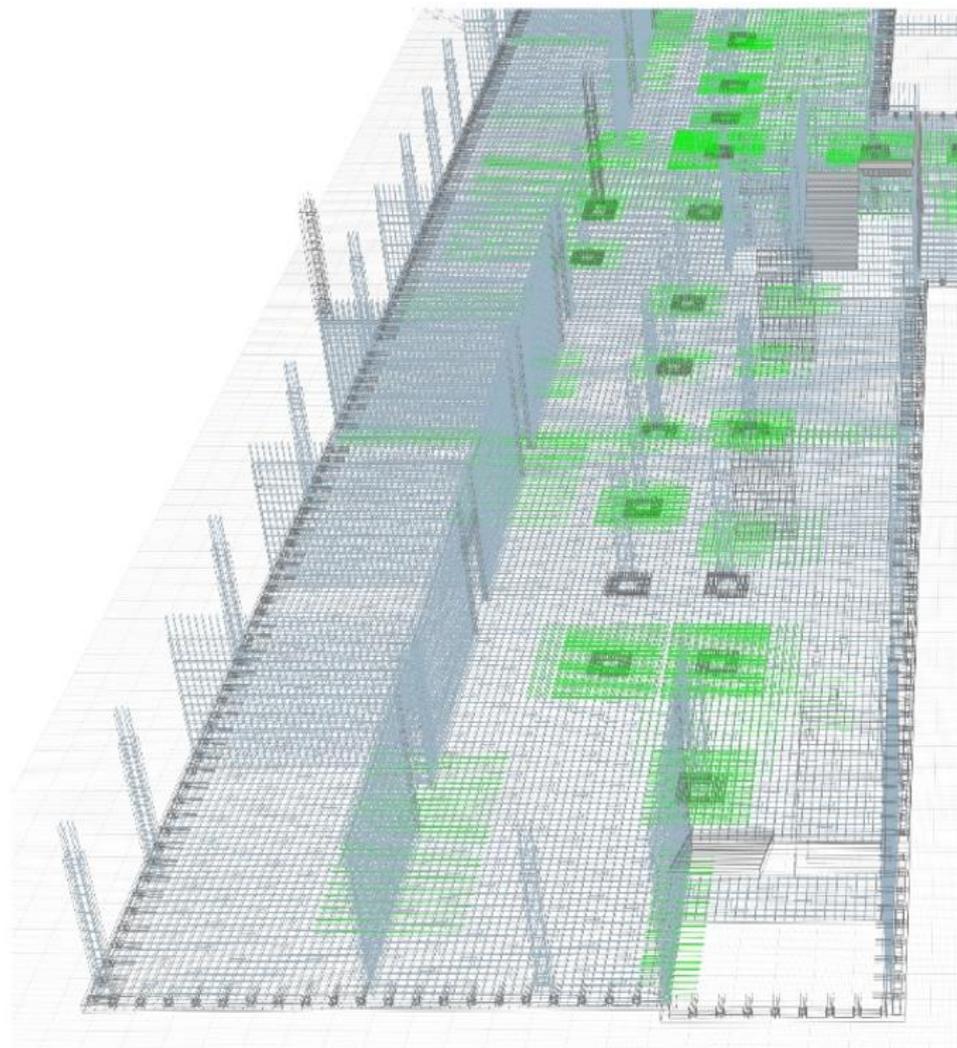


Рисунок 12 – Заармированные ж/б конструкции

Также в модели прорабатываются металлические конструкции покрытия кровли, которые перекрывают большепролетные помещения актового и спортивных залов. Сборками моделируются фермы, связи и распорки, прорабатываются узлы соединения металлических элементов с помощью пластин (рисунок 13).

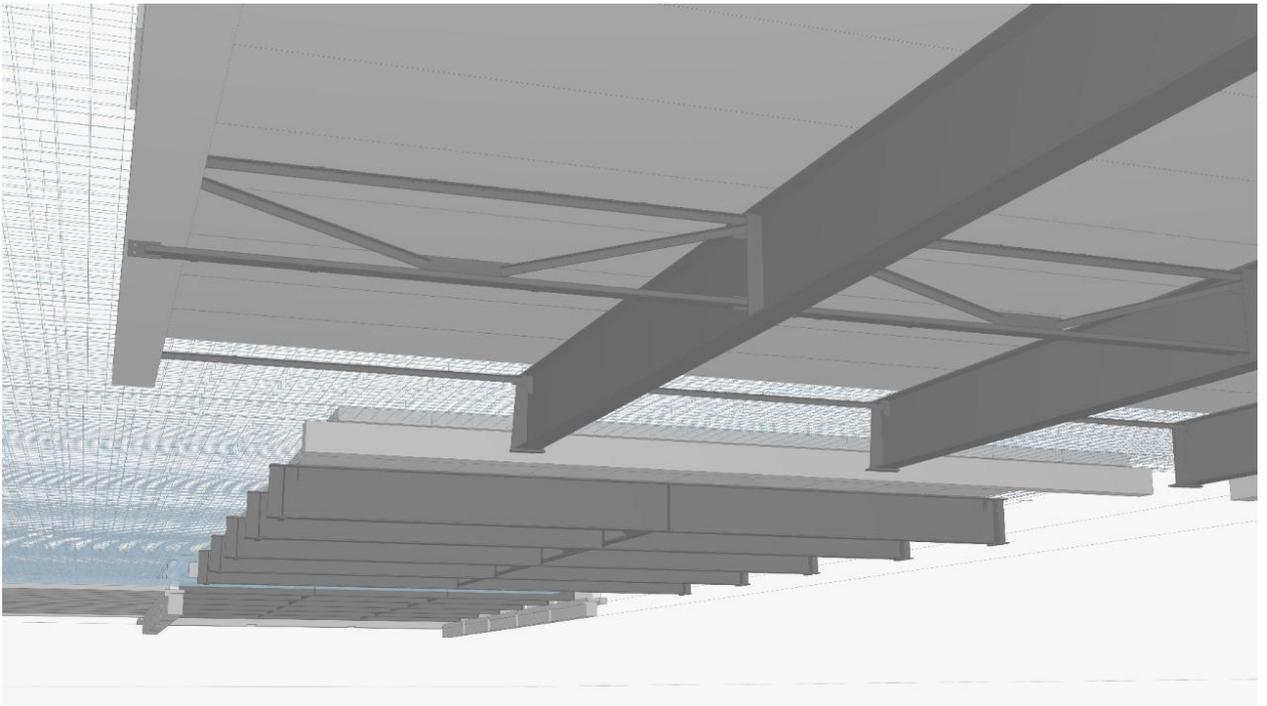


Рисунок 13 – Металлические конструкции перекрытий

После армирования и проработки узлов соединения металлических элементов, дорабатывается модель, добавляются стены и перегородки (рисунок 14).

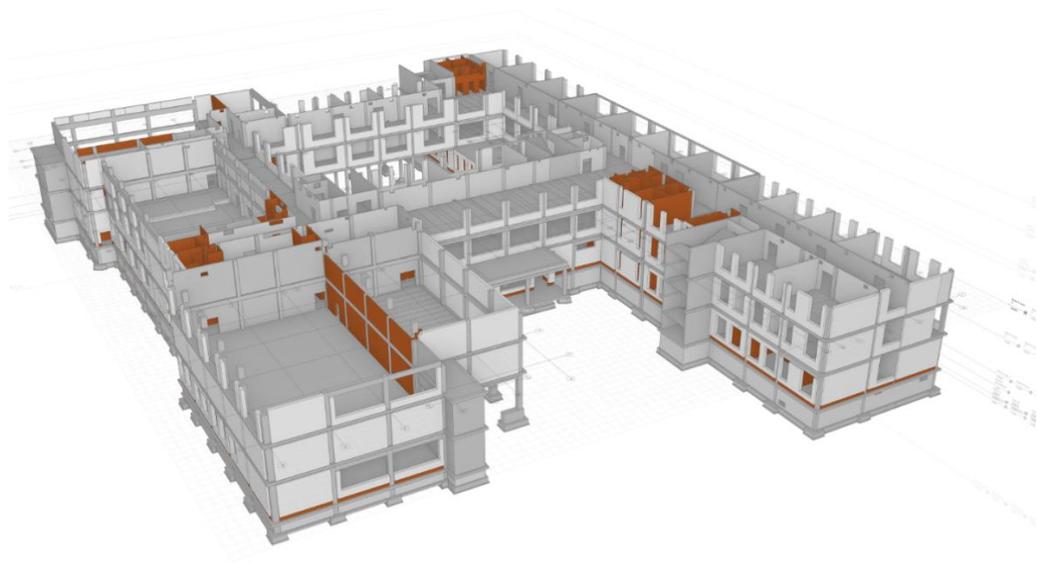


Рисунок 14 – Архитектурно-строительная модель, дополненная стенами и перегородками

Далее добавляются окна, двери, полы, фасады, кровля, помещения. Многослойные конструкции полов, фасадов и кровли моделируются инструментами «Перекрытие» и «Стена» (рисунок 15).

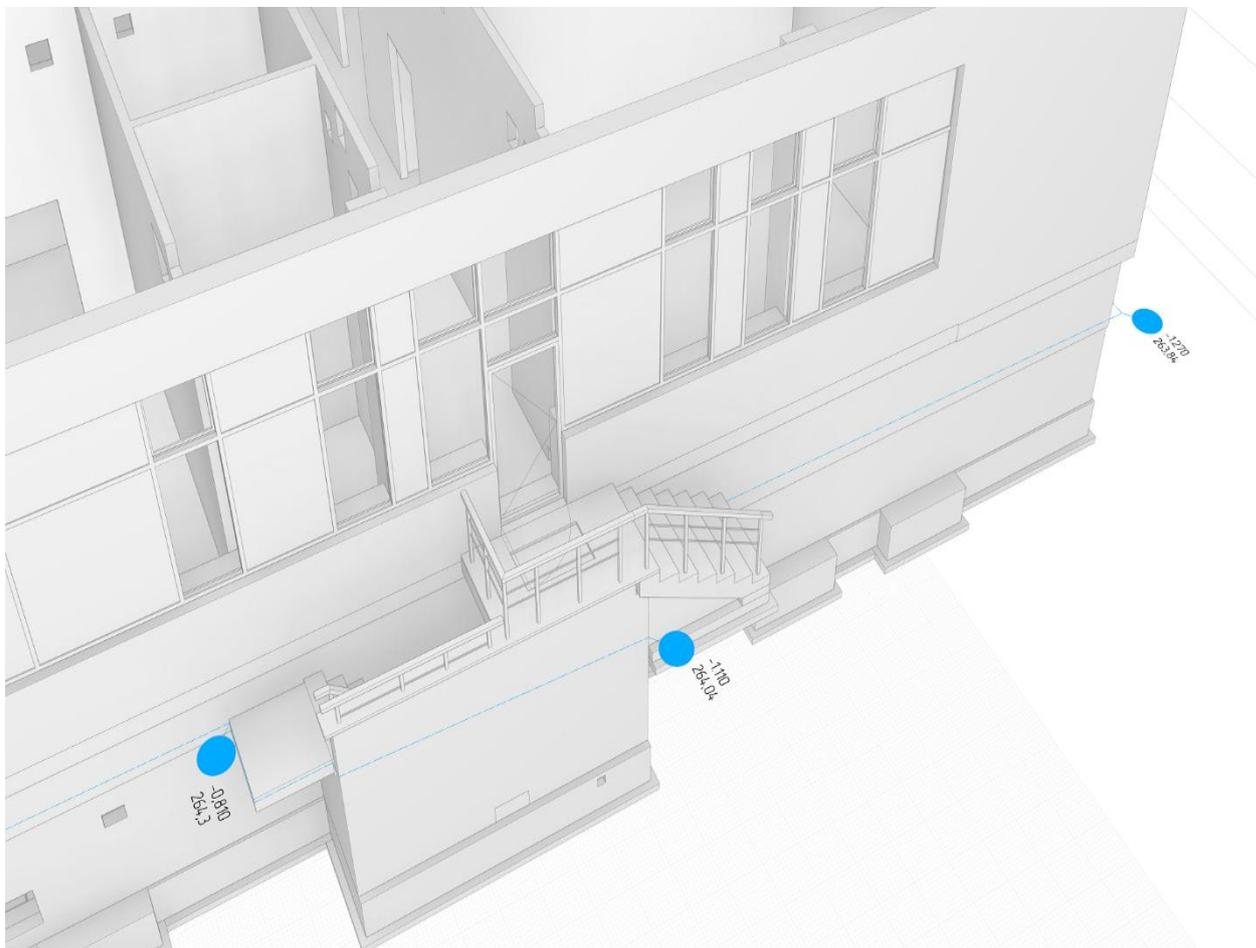


Рисунок 15 – Архитектурно-строительная модель, дополненная окнами, дверьми, фасадом.

После создания 3D-модели, начинается этап непосредственного информационного моделирования, а именно наполнением атрибутивной информацией.

Для выбора объектов, схожих по параметрам, применяется инструментарий «Спецификаций».

Спецификации формируются по заданным свойствам и значениям (рисунок 16).

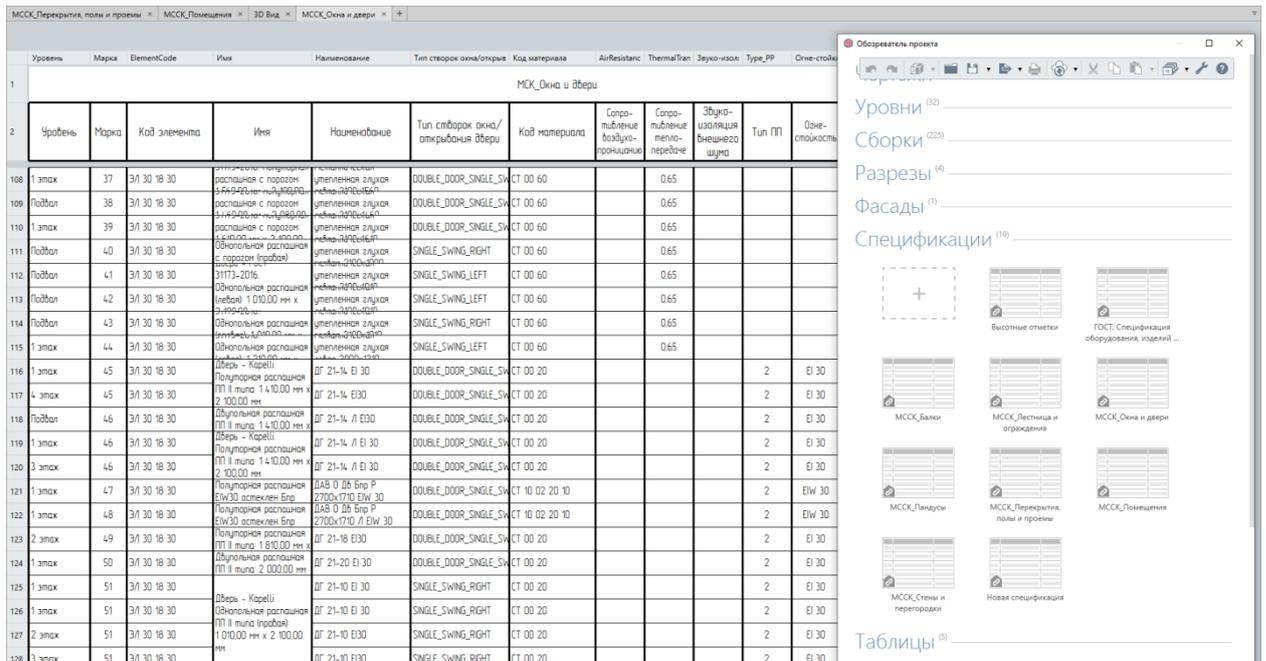


Рисунок 16 – Спецификация окон и дверей по свойствам

Далее спецификации группируются по общим критериям. И с помощью команды «Выделить в модели» объектам 3D-модели задают значения и свойства всем объектам модели (рисунок 17).

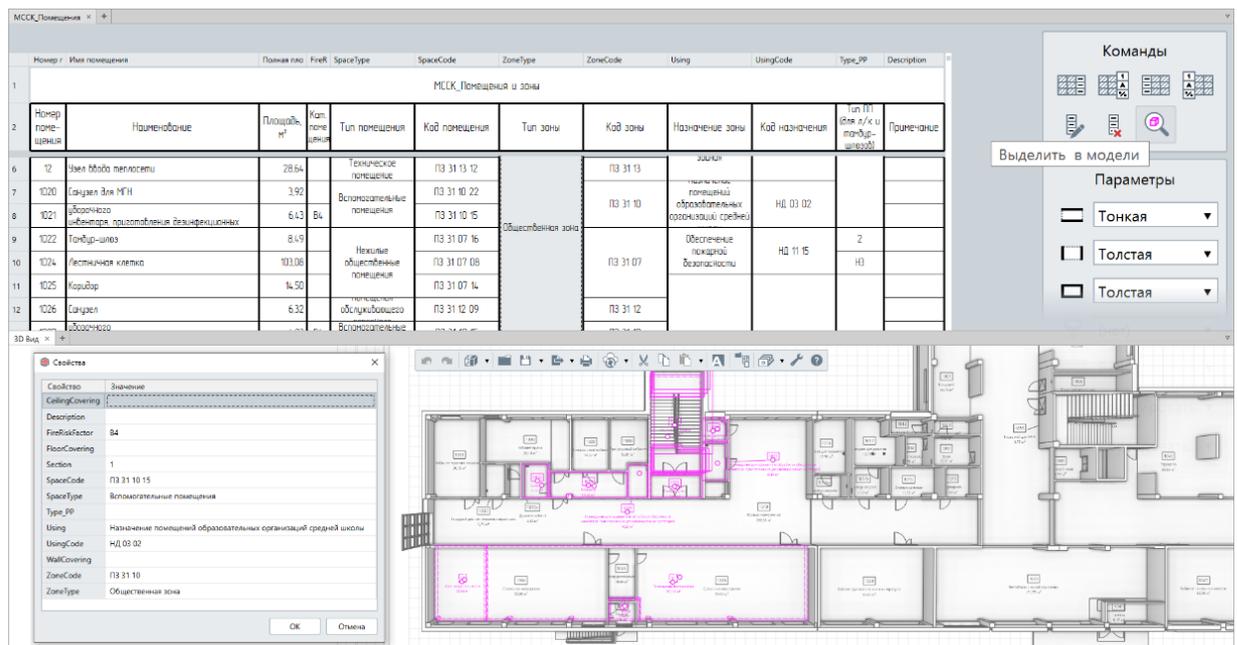


Рисунок 17 – Работа со свойствами объектов 3D-модели через спецификацию

Далее моделируются внутренние системы жизнеобеспечения здания. После анализа планировок, внутренних и наружных ограждающих конструкций, назначений помещений, определения положения шахт под инженерные коммуникации формируют номенклатуру изделий для каждой системы. Для разделов отопление, водоснабжение и водоотведение делаются различные виды трубопроводов, арматуры, фитингов, санитарно-технических приборов и оборудования (рисунок 18).

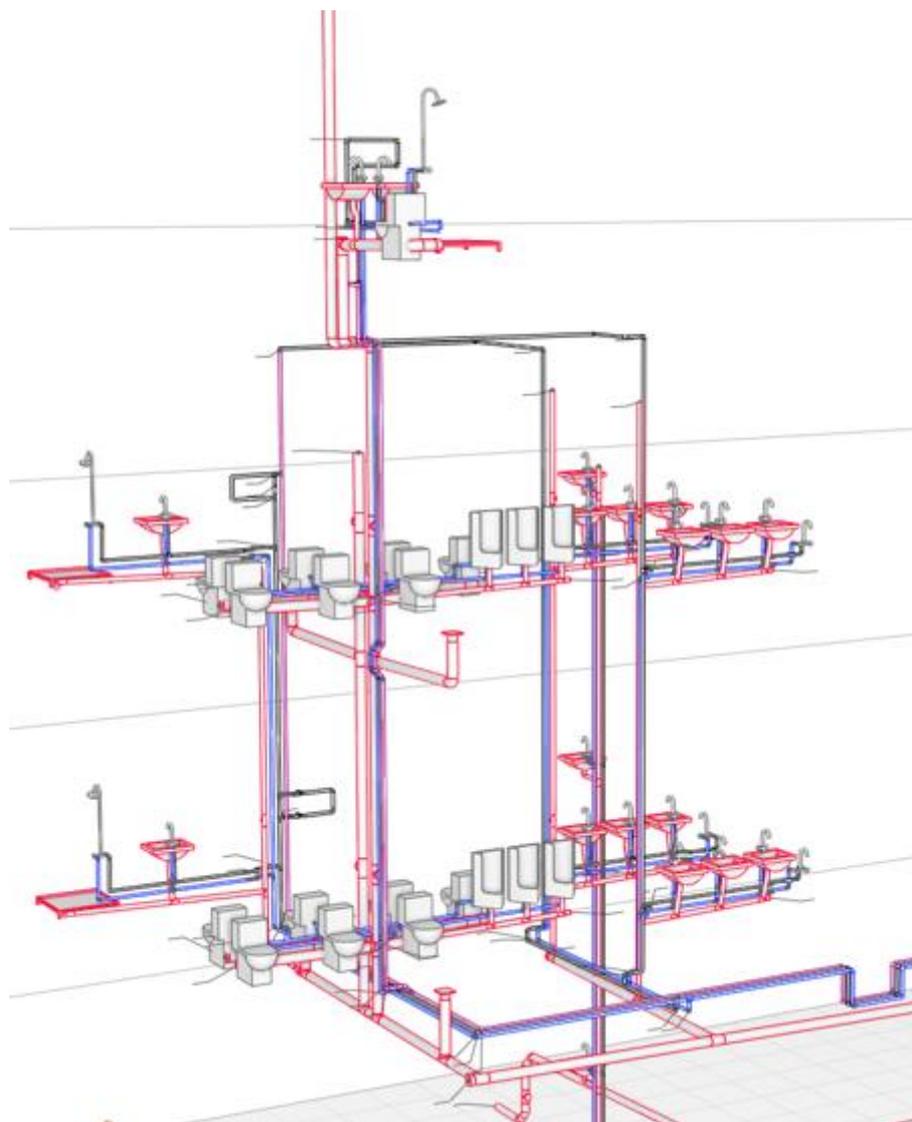


Рисунок 18 – Фрагменты систем водоснабжения, водоотведения и отопления ШКОЛЫ

Вентиляционные системы проектируются с помощью воздуховодов, воздуховодной арматуры и вентиляционного оборудования, для создания информационной модели сетей электроснабжения используются осветительные приборы, щиты и электроустановочные изделия (рисунок 19, рисунок 20).

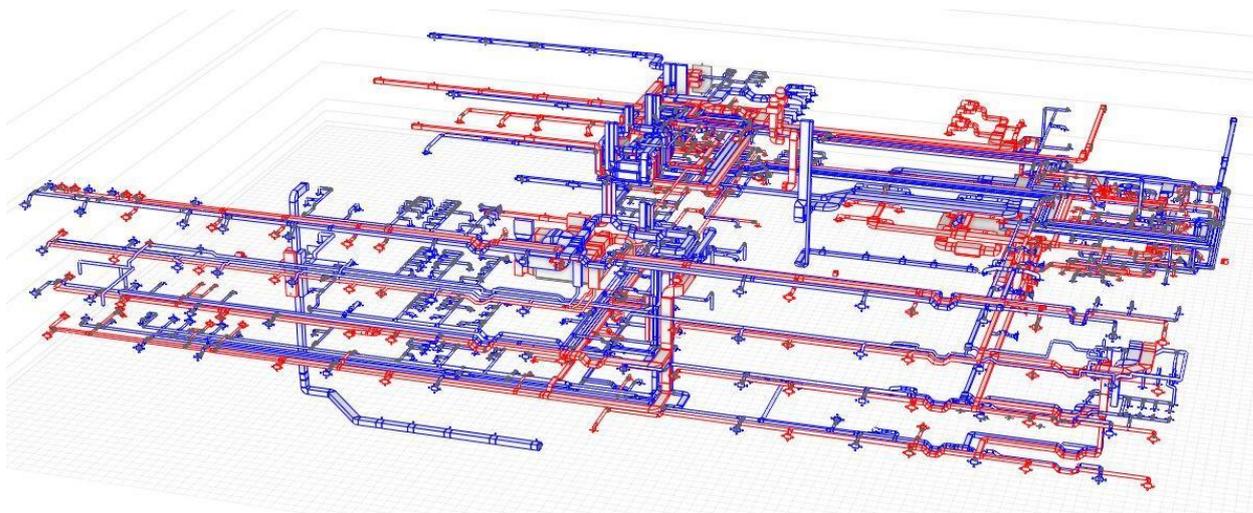


Рисунок 19 – Система вентиляции школы

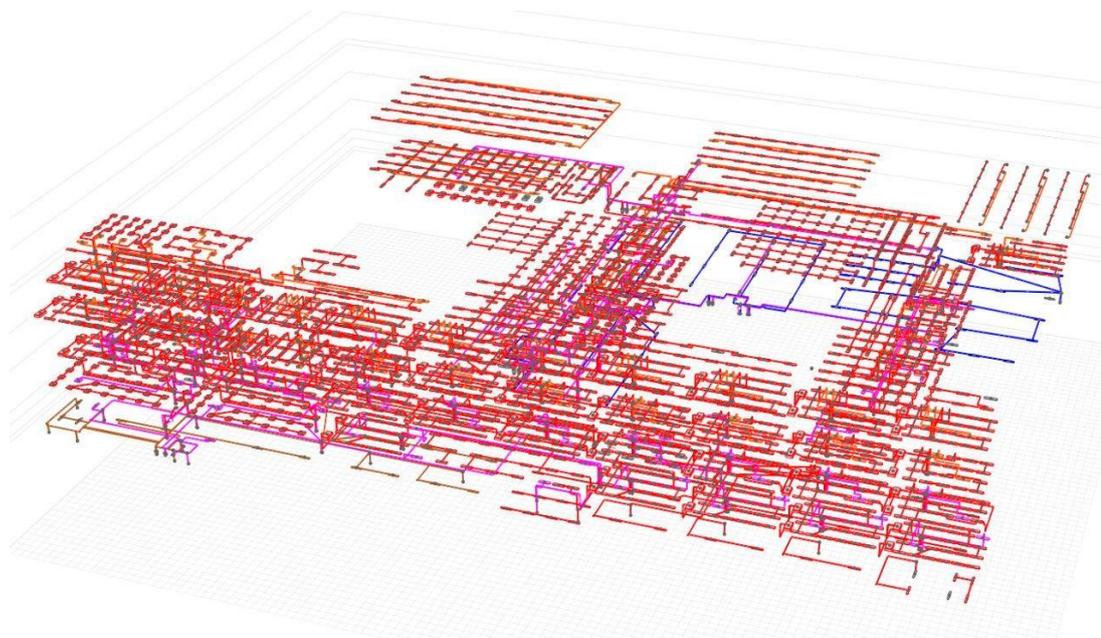


Рисунок 20 – Система электроснабжения школы

Инструмент «Автоматическая трассировка», самостоятельно выполняет построение трубопроводов, воздуховодов и электрических линий, а также подключение оборудования в соответствии с правилами, которые задаются (высота расположения инженерной трассы от уровня пола, смещение от стены и материал).

В режиме «Конструктор систем», указывается последовательность соединения объектов (рисунок 21).

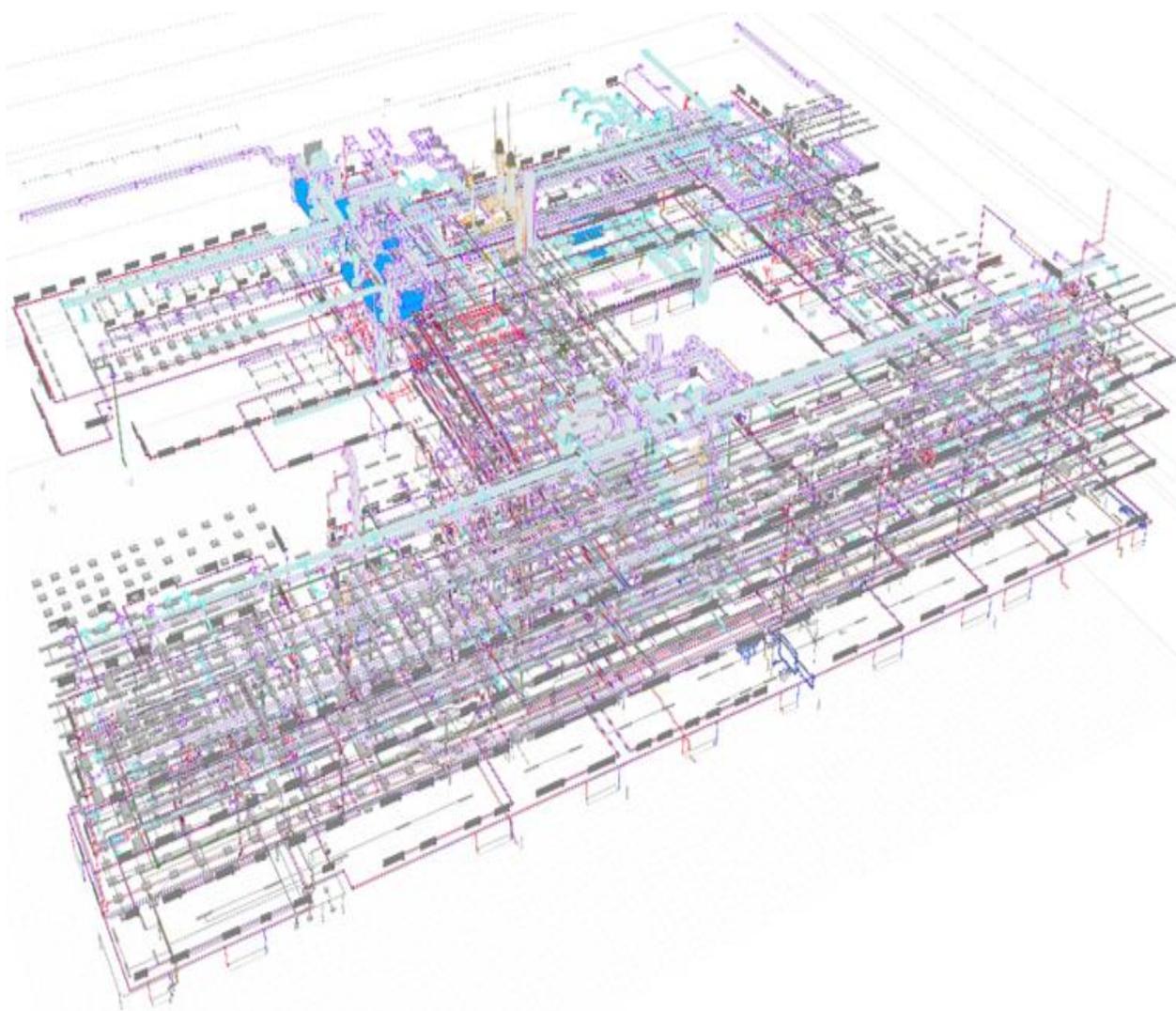


Рисунок 21 – Информационная модель внутренних инженерных систем ШКОЛЫ

По окончании работы над проектом в информационную модель школы импортируется мебель и техника (рисунок 22).



Рисунок 22 – Раздел «Технологические решения» в проекте школы

По итогу цифровая информационная модель содержит в себе следующие разделы (рисунок 23):

- архитектура;
- конструкции;
- вентиляция;
- отопление;
- водоснабжение;
- водоотведение;
- электрические сети;
- технологические решения.



Рисунок 23 – Итоговая цифровая информационная модель общеобразовательной школы

В ходе выполнения задач исследования были рассмотрены:

- имеющиеся системы 3d-моделирования;
- функциональных возможностей каждой системы
- преимуществ и недостатков каждой системы
- проведен подробный обзор применения программы «Renga» при 3d-моделировании общеобразовательной школы

## **2.2 Анализ необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования**

Для проведения анализа необходимости 3d-моделирования в документах предварительного планирования было проведено ПТЗ на объекте АО «АркониК СМЗ» находящегося по адресу г. Самара, ул. Алма-Атинская,

29, а также на основе проведенного ПТЗ было проведено анкетирование личного состава.

Оперативно-тактическая характеристика объекта.

Объект предназначен для прессования и штамповки изделий из алюминиевых сплавов. Цех размещается в одноэтажном кирпичном здании размерами в длину 530 метров, в ширине 132,5 метра, высота до 35 метров, общая площадь 68110 м<sup>2</sup> (рисунок 24). Перекрытия – сборные железобетонные плиты по металлическим неоштукатуренным фермам, кровля – рубероидная на битумной основе. В цеху установлены 4 вертикальных и 2 горизонтальных прессы. Имеются закалочные печи и ванны с общей емкостью 450 м<sup>3</sup>.



Рисунок 24 – Фото цеха на местности с северной стороны

Административно-бытовой корпус – четырехэтажное здание, стены – кирпичные, перекрытия – железобетонные плиты, перегородки – деревянные и кирпичные, имеется подвал (рисунок 25). Освещение – электрическое, отопление – центральное калориферное, вентиляция – естественная и принудительная (кондиционеры, сплит-системы).



Рисунок 25 – Фото административно-бытового корпуса

На основании проведенного ПТЗ были выявлены следующие недостатки:

- не весь личный состав в полном объеме знает планировку цеха и административно-бытового корпуса;
- не весь личный состав знает местонахождение первичных средств пожаротушения;
- не в полном объеме проводились боевые действия по тушению пожара при введении различных вариантов развития пожара;

- не весь личный состав знал наикратчайшие пути эвакуации при спасении условных пострадавших.

На основании вышеизложенного было проведено анкетирование личного состава на тему необходимости 3d-моделирования в документах предварительного планирования. На основании анкетирования и проведенного анализа были сделаны следующие выводы о том, как можно применить 3d-моделирование в документах предварительного планирования:

- при невозможности посещения объекта личным составом подразделений пожарной охраны во время оперативно-тактического изучения объекта, появится возможность изучить планировку объекта, местонахождение первичных средств пожаротушения и наикратчайшие пути эвакуации самостоятельно, при помощи разработанной 3d-модели объекта и очков виртуальной реальности;
- при помощи 3d-моделирования возможно спроектировать различные варианты развития пожара на стадии разработки документа предварительного планирования, а в дальнейшем при помощи разработанной 3d-модели объекта и очков виртуальной реальности отработать наихудшие сценарии развития пожара, а также наилучшие способы тушения пожара.

Вывод по разделу.

В ходе выполнения задач исследования:

- было проведено ПТЗ для выявления недостатков;
- был проведен анализ необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования;
- было проведено анкетирование личного состава на вопрос необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.

### **3 Разработка условий применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования**

#### **3.1 Разработка технического решения**

Для применения 3d-моделирования в подразделениях пожарной охраны, необходимы следующие шаги:

- приобретение комплектующих персонального компьютера с техническими характеристиками, соответствующими минимальным необходимым для работы с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- приобретение и установка необходимого программного обеспечения, которое позволяет создавать и использовать 3d-модели;
- проведение обучения личного состава подразделений пожарной охраны работе с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- создание базы данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны. База данных должна содержать информацию о зданиях, их размерах, материалах, используемых в зданиях, оборудовании и других параметрах, которые могут быть важными при тушении пожара;
- приобретение систем виртуальной реальности и дополнительное оборудование виртуальной реальности. Данное оборудование позволит личному составу подразделений пожарной охраны просматривать 3d-модели зданий в виртуальной среде;
- разработка приказов и стандартов по процедуре использования 3d-моделей в пожаротушении. Необходимо определить, какие задачи могут быть решены с помощью 3d-моделирования, какие данные

необходимо вводить в программу, чтобы получить достоверные результаты, и как использовать эти результаты на практике;

- систематическое обновление базы данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны. Здания и сооружения могут изменяться со временем, и для того, чтобы 3d-модели оставались актуальными, необходимо регулярно обновлять информацию в базе данных.

Пример комплектующих персонального компьютера с техническими характеристиками, соответствующими минимальным необходимым для работы с программным обеспечением по 3d-моделированию.

Процессор – электронный блок либо интегральная схема (микروпроцессор), исполняющая машинные инструкции (код программ), главная часть аппаратного обеспечения компьютера или программируемого логического контроллера (рисунок 26).



Рисунок 26 – Процессор

При выборе необходимо обратить внимание на две основные характеристики: количество ядер (данный показатель определяет

возможность выполнять несколько задач одновременно) и тактовую частоту (данный показатель отвечает за быстродействие системы).

Важный параметр процессора – многопоточность. Многопоточные ядра позволяют повысить производительность системы за счёт одновременной обработки двух потоков одним ядром.

Количество ядер процессора напрямую влияет на скорость рендера, а при 3d-моделировании большее значение имеет тактовая частота.

Необходимый минимум для 3d-моделирования – это 4 ядра и 3 гигагерца. Оптимальная конфигурация для 3d-моделирования – это от 8 ядер и 3,2 гигагерца.

Графический процессор – отдельное устройство персонального компьютера или игровой приставки, выполняющее графический рендеринг (рисунок 27).



Рисунок 27 – Графический процессор

Важнейшим параметром является объём графической памяти. Необходимый минимум для 3d-моделирования – это 4 ГБ графической

памяти. Оптимальная конфигурация для 3d-моделирования – это от 8 ГБ графической памяти.

Оперативная память – энергозависимая часть системы компьютерной памяти, в которой во время работы компьютера хранится выполняемый машинный код (программы), а также входные, выходные и промежуточные данные, обрабатываемые процессором. Оперативное запоминающее устройство – техническое устройство, реализующее функции оперативной памяти, может изготавливаться как отдельный внешний модуль или располагаться на одном кристалле с процессором (рисунок 28).

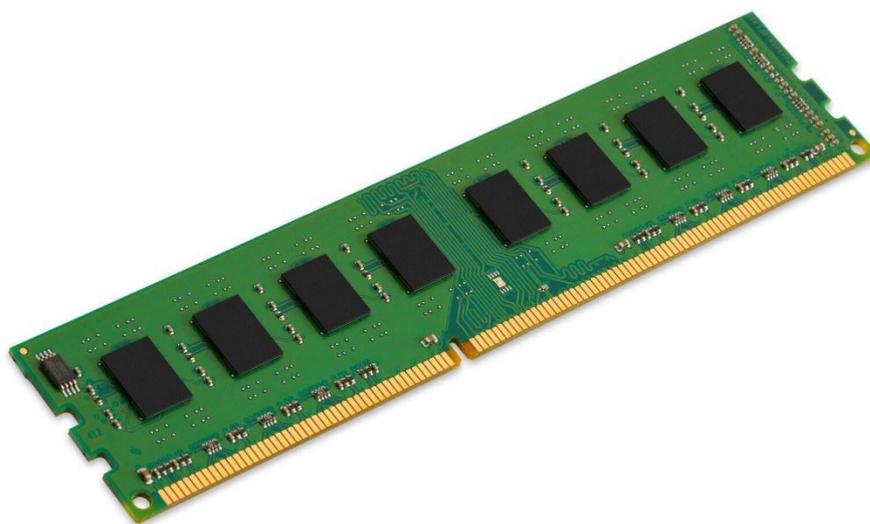


Рисунок 28 – Оперативная память

Необходимый минимум для 3d-моделирования – это 16 ГБ оперативной памяти. Оптимальная конфигурация для 3d-моделирования – это от 32 ГБ оперативной памяти.

Твердотельный накопитель – компьютерное энергонезависимое немеханическое запоминающее устройство на основе микросхем памяти, альтернатива жёстким дискам, используется для хранения информации (рисунок 29).



Рисунок 29 – Твердотельный накопитель

Необходимый минимум для 3d-моделирования – это 240 Гб и памяти. Оптимальная конфигурация для 3d-моделирования – это от 480 Гб памяти.

Накопитель на жёстких магнитных дисках – запоминающее устройство (устройство хранения информации, накопитель) произвольного доступа, основанное на принципе магнитной записи. Является основным накопителем данных в большинстве компьютеров (рисунок 30).



Рисунок 30 – Накопитель на жёстких магнитных дисках

Необходимый минимум для 3d-моделирования – это 500 ГБ памяти. Оптимальная конфигурация для 3d-моделирования – это от 1 ТБ памяти.

Материнская (системная) плата – печатная плата, являющаяся основой построения модульного электронного устройства.

Системная плата содержит основную часть устройства компьютера – процессор, системную шину или шины, оперативную память, «встроенные» контроллеры периферийных устройств, сервисную логику и разъёмы для подключения дополнительных взаимозаменяемых плат.

Системная плата всегда несёт на себе активные компоненты или разъёмы для их установки (рисунок 31).



Рисунок 31 – Материнская (системная) плата

Необходимое программное обеспечение, которое позволяет создавать и использовать 3d-модели.

Программное обеспечение «ArchiCAD» – 3D-конструктор, применяемый для проектирования зданий. С помощью «ArchiCAD» возможно создать точные 2D-модели и 3D-модели здания.

Программа позволяет создавать проекты на основе готовых элементов, входящих в библиотеку, при этом возможно их редактирование. Имеется возможность ручного моделирования деталей.

Программное обеспечение «Allplan» – это BIM-программа для совместного 3d-проектирования.

Программное обеспечение «Revit» – это система информационного моделирования, которая состоит из нескольких наборов инструментов для проектирования инженерных систем и конструкций в сфере строительства и архитектуры, работает на основе BIM-технологий, которые помогают собирать, структурировать и получать всю информацию о проекте.

Программное обеспечение «Tekla» – это профессиональное программное обеспечение для 3d-моделирования зданий и конструкций из стали, бетона, дерева и стекла. Программное обеспечение позволяет создавать трехмерные модели конструкций из различного строительного материала и управлять ими.

Программное обеспечение «Renga» – российская программа для 3d-моделирования. Платформа ориентирована на архитекторов и инженеров различных отраслей. Одна из особенностей платформы заключается в том, что проектировка здания происходит сразу в 3D-пространстве.

Программное обеспечение «AutoCAD» позволяет создавать проектную рабочую документацию, планы, развертки и спецификации. С помощью программы возможно разработать трехмерный план здания любой конструкции и размера с максимальной детализацией.

Варианты обучения личного состава подразделений пожарной охраны работе с программным обеспечением по 3d-моделированию:

- онлайн-курсы и вебинары. Существует множество онлайн-курсов и вебинаров, которые предлагают обучение 3d-моделированию.

Данный вариант является эффективным способом обучения, если личный состав подразделений пожарной охраны имеют минимальный опыт работы с программным обеспечением в области 3d-моделирования;

- обучение на рабочем месте. Данный вариант является наиболее эффективным способом обучения личного состава подразделений пожарной охраны, если оно проводится в рамках выполнения реальных задач и ситуаций. Обучение на месте позволяет непосредственно применять знания и навыки на практике, что помогает лучше понять, как использовать 3d-моделирование в рамках пожарной охраны;
- семинары и тренинги. Данный вариант является наиболее эффективным способом обучения личного состава подразделений пожарной охраны, если они проводятся специалистами в области 3d-моделирования и пожарной безопасности. Этот способ позволит получить более глубокие знания о технологиях 3d-моделирования и их применении в рамках пожарной охраны;
- изучение руководства пользователя и инструкции. Данный способ является дополнительным при обучении личного состава подразделений пожарной охраны, так как содержат подробное описание функций и возможностей программного обеспечения для создания 3D моделей.

Также необходимо обеспечить непрерывное и постоянное обучение личного состава подразделений пожарной охраны, так как технологии 3d-моделирования и программное обеспечение постоянно обновляется и меняется.

База данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны должна находиться непосредственно в подразделении на персональном компьютере, а также дополнительно в

облачном хранилище данных для возможности использования другими подразделениями в любое время в режиме онлайн (рисунок 32).

База данных должна содержать информацию о зданиях, их размерах, материалах, используемых в зданиях, оборудовании и других параметрах, которые могут быть важными при тушении пожара.

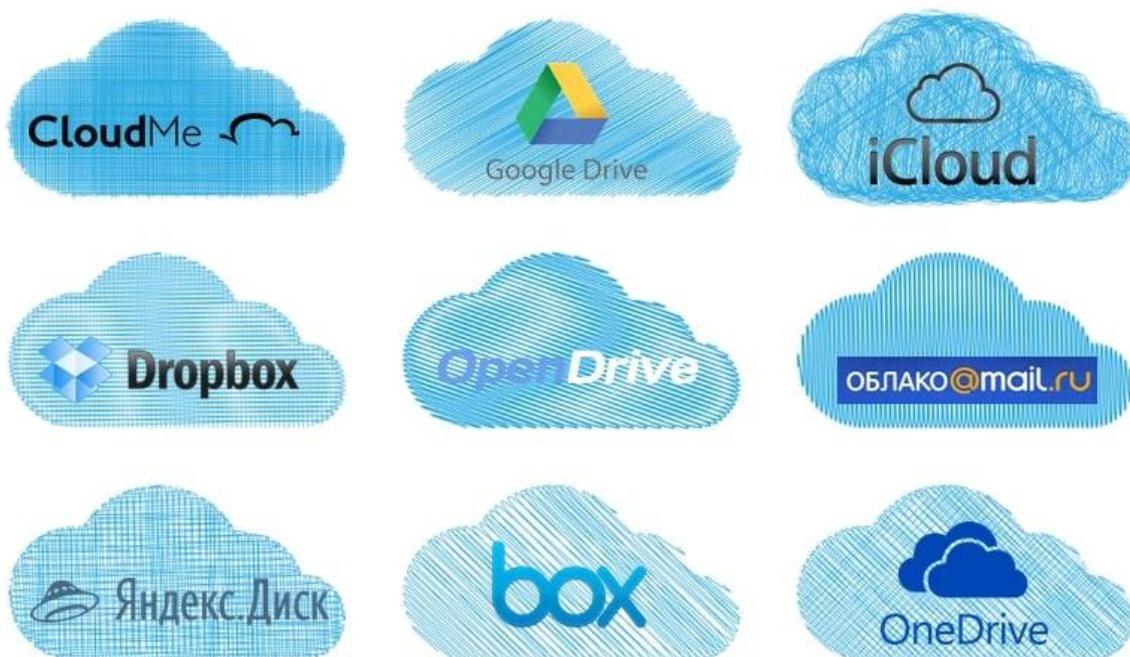


Рисунок 32 – Возможные варианты облачных хранилищ данных

Облачное хранилище данных «Mail.ru»:

- размер хранилища от 8 ГБ до 4 ТБ;
- объем бесплатного пространства 8 ГБ;
- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- возможность сохранения файлов из почты в специальный раздел «Почтовые вложения» с сортировкой по папкам;
- наличие раздела «Избранное» для важных вложений;
- функция автоматического резервного копирования данных;

- автоматическая проверка загружаемых файлов на вирусы. Зараженное содержимое становится недоступным для доступа и скачивания.

Облачное хранилище данных «Google Drive»:

- размер хранилища от 15 ГБ до 2 ТБ;
- объем бесплатного пространства 15 ГБ;
- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- возможность поиска файлов по имени и содержимому документа;
- возможность настраивать приватность документа;
- функция автоматического резервного копирования данных;
- возможность работать с документами без доступа в сеть интернета.

Облачное хранилище данных «Яндекс.Диск»:

- размер хранилища от 10 ГБ до 10 ТБ;
- объем бесплатного пространства 10 ГБ;
- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- возможность поиска файлов по имени и содержимому документа;
- возможность настраивать приватность документа;
- функция автоматического резервного копирования данных;
- возможность работать с документами без доступа в сеть интернета

Облачное хранилище данных «Dropbox»:

- размер хранилища от 2 ГБ до 5 ТБ;
- отсутствует бесплатное пространства;
- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- функция удаленного уничтожения данных на потерянном устройстве;

- оптическое распознавание символов в отсканированных документах;
- возможность восстановления удаленных файлов в течение 30 дней;
- инструменты для совместной работы;
- функция автоматического резервного копирования данных;
- инструменты для безопасности данных. Возможность установить степень приватности документа, опция ограничения на скачивание файла, защита содержимого паролем, установка срока действия доступа к файлам.

Облачное хранилище данных «Pcloud»:

- размер хранилища от 500 ГБ до 2 ТБ;
- отсутствует бесплатное пространства;
- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- возможность купить 500 ГБ или 2 ТБ навсегда без необходимости платить ежемесячно;
- неограниченный размер файлов и скорость на загрузку и скачивание;
- возможность восстановить версию аккаунта в диапазоне до 180 дней или файлы из корзины в течение 30 дней;
- инструменты для совместной работы;
- функция автоматического резервного копирования данных;
- инструменты для безопасности данных. Возможность установить степень приватности документа, опция ограничения на скачивание файла, защита содержимого паролем, установка срока действия доступа к файлам.

Облачное хранилище данных «Fex.net»:

- размер хранилища от 16 ГБ до 1 ТБ;
- отсутствует бесплатное пространства;

- язык интерфейса русский.

Дополнительные возможности сервиса:

- восстановление файлов в течение 7 дней после окончания срока обязательного хранения;
- неограниченный размер файлов и скорость на загрузку и скачивание;
- инструменты для совместной работы;
- функция автоматического резервного копирования данных.

Пример очков виртуальной реальности и дополнительного оборудование виртуальной реальности.

Система виртуальной реальности «HTC VIVE Cosmos» предназначена для использования на PC (рисунок 33). Это компьютерная система, ориентированная на будущее, которая обладает высоким разрешением 2880×1700.



Рисунок 33 – Система виртуальной реальности «HTC VIVE Cosmos»

Выполнено устройство в виде шлема. «HTC VIVE Cosmos» в наибольшей степени подходят для работы с 3D-моделями больших

строительных сооружений, имеет низкую скорость износа, а настройка занимает 15 минут. Более того, шлем возможно использовать в течение длительного периода времени.

Шлем поддерживает встроенный трекинг, который обладает высокой точностью за счет наличия 6 камер-сенсоров, которые обеспечивают более широкий охват пространства. Модель с поддержкой частоты обновления дисплея 90 Гц отличается четкой графикой. Особенность системы в поддержке уникального дизайна, предусматривающего откидной дисплей, что позволяет мгновенно возвратиться в реальный мир, при этом, не разрушая виртуальное присутствие.

Система весит 600 грамм и поддерживает угол обзора 110 градусов. Конструкция модели предусматривает встроенный микрофон и наушники. Среди встроенных датчиков: гироскоп, акселерометр, а также сенсор IPD, предназначенный для настройки межзрачкового расстояния.

Система виртуальной реальности «HTC VIVE Pro» представляет собой комплект, в который включен шлем, контроллеры и базовые станции SteamVR 2.0. В шлеме предусмотрено 2 экрана, разрешением каждого из которых составляет 1440×1600 пикселей (рисунок 34).



Рисунок 34 – Система виртуальной реальности «HTC VIVE Pro»

В данной модели имеется 2 микрофона с функцией шумоподавления, обеспечивающих насыщенное звучание. Система подключается к ПК или ноутбуку при помощи USB-интерфейса.

Система виртуальной реальности «Oculus Quest 2» имеет высокое разрешение 1832×1920 пикселя на 1 глаз, что обеспечивает четкость изображения. Частота обновления экрана 120 Гц (рисунок 35). Угол обзора 90 градусов, достаточен для достижения повышенной реалистичности происходящего.



Рисунок 35 – Система виртуальной реальности «Oculus Quest 2»

Межзрачковое расстояние можно изменять, доступны 3 фиксированных позиции. Модель оснащена регулируемым оголовьем. Удобству использования системы способствует легкость, масса устройства равна лишь 503 грамма.

Системой виртуальной реальности «Oculus Quest 2» можно пользоваться автономно. Устройство способно функционировать без

подключения к компьютеру. Система обладает высоким уровнем производительности.

Система виртуальной реальности «HP Reverb G2» состоит из шлема и двух контроллеров, адаптера питания и кабеля подключения. Устройство совместимо с персональным компьютером или ноутбуком с указанными в документации к модели требованиями (рисунок 36).



Рисунок 36 – Система виртуальной реальности «HP Reverb G2»

Шлем «HP Reverb G2» обеспечивает разрешение дисплеев каждого глаза 2160×2160 пикселя, а действует с частотой обновления 90 Гц.

Устройство оснащено четырьмя камерами для регистрации всех движений, дополнено акселерометром, магнитометром и гироскопом.

Дополнительно в систему виртуальной реальности встроены наушники, для обеспечения наиболее лучшего звукового сопровождения.

В таблице 1 представлено сравнение систем виртуальной реальности по основным техническим характеристикам таких как, общее разрешение, частота обновления, угол обзора, встроенные датчики, вес, эргономика, параметры питания, особенности минимальные требования к операционной системе, видеокарте и процессору.

Таблица 1 – Сравнение технических характеристик систем виртуальной реальности

Сравниваемые характеристики	HP Reverb G2	Oculus Quest 2	HTC VIVE Pro	HTC VIVE Cosmos
Общее разрешение	4320×2160	3664×1920	2880×1600	2880×1700
Частота обновления экрана	90 Гц	120 Гц	90 Гц	90 Гц
Угол обзора	114 градусов	90 градусов	110 градусов	110 градусов
Встроенные датчики	акселерометр, гироскоп, датчик отслеживания, магнитометр	акселерометр, гироскоп, датчик отслеживания, датчик приближения	акселерометр, гироскоп, датчик отслеживания, датчик приближения	акселерометр, гироскоп, датчик отслеживания
Вес	450 г	503 г	520 г	600 г
Эргономика	регулировка межзрачкового расстояния	подстройка оголовья, регулировка межзрачкового расстояния	подстройка наушников, подстройка оголовья, регулировка межзрачкового расстояния, регулировка межфокусного расстояния	откидной дисплей, подстройка оголовья, регулировка межзрачкового расстояния
Параметры питания	сеть 220В	аккумулятор	сеть 220В	сеть 220В
Особенности	4 камеры для регистрации движения	3 позиции регулировки межзрачкового расстояния, экран с быстрым переключением	два микрофона с активным шумоподавлением, контроллеры, 3D окружающий звук дисплеев AMOLED	6 камер-сенсоров, поддержка Hi-Res звука + 3D окружающий звук

Продолжение таблицы 1

Сравниваемые характеристики	HP Reverb G2	Oculus Quest 2	HTC VIVE Pro	HTC VIVE Cosmos
Минимальные требования к ОС	Windows 10	Windows 10	Windows 7,	Windows 10,
Минимальные требования к объему ОЗУ	8 ГБ	8 ГБ	4 ГБ	4 ГБ
Минимальные требования к видеокарте	AMD Radeon RX 5700, NVIDIA GeForce GTX 1080	AMD Radeon RX 5700, NVIDIA GeForce GTX 1080	AMD Radeon RX 480, NVIDIA GeForce GTX 1060	AMD Radeon R9 290, NVIDIA GeForce GTX 970
Минимальные требования к процессору	AMD Ryzen 5, Intel Core i5,	AMD Ryzen 5, Intel Core i5,	AMD FX-8350, Intel Core i5-4590	AMD FX-8350, Intel Core i5-4590

Необходимо разработать приказы в системе МЧС России, а также стандарты и технические регламенты по процедуре использования 3d-моделей в подразделениях пожарной охраны, во время проведения пожарно-тактических занятий и учений, а также при использовании в процессе разработки документов предварительного планирования.

Необходимо определить, какие задачи могут быть решены с помощью 3d-моделирования, провести сбор необходимых данных перед созданием 3d-моделей для симуляции пожаров.

Необходимо собрать все необходимые данные по зданию:

- техническую документацию;
- САД-чертежи;
- 3D-сканы;
- аэрофотоснимки;
- другие необходимые данные, в зависимости от задач моделирования.

Определить какие данные необходимо вводить в программу, чтобы получить достоверные результаты, и как использовать эти результаты на

практике, а также при разработке документов предварительного планирования.

Необходимо провести оценку рисков и критических областей для создания более точной и реалистичной симуляции пожара, необходимо определить области в здании, которые могут быть наиболее подвержены пожару.

Также необходимо определить области, в которых при возникновении и распространении пожара будет наибольший ущерб, либо возможно возникновение взрыва и обрушения строительных конструкций здания, а также области в которых при возникновении пожара самостоятельная эвакуация людей будет невозможна.

Также необходимо будет утвердить в каждом подразделении пожарной охраны список личного состава допущенного к разработке документа предварительного планирования с использованием систем 3d-моделирования, либо внести изменения в Федеральное законодательство для обеспечения предоставления 3d-модели каждого объекта со стороны собственника и руководителя объекта, при введении объекта в эксплуатацию для наличия наиболее точной 3d-модели каждого объекта находящегося в районе выезда подразделений пожарной охраны.

После создания 3d-модели здания и настройки программного обеспечения, необходимо провести тестовые симуляции и оценить результаты. На основе этих результатов можно определить, какие дальнейшие настройки и улучшения необходимо выполнить, чтобы достичь наилучших результатов и приблизиться к реалистичному моделированию возможных пожарных ситуаций.

Также необходимо будет проводить систематическое обновление базы данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны. Здания и сооружения могут изменяться со временем, и для того, чтобы 3d-модели оставались актуальными, необходимо регулярно обновлять информацию в базе данных.

### **3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых методов и средств для повышения эффективности при тушении пожаров**

При проведении анализа и оценки эффективности применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования были выявлены преимущества в следующих аспектах:

- нахождение наиболее опасных зон на объекте. 3d-моделирование позволит выявить наиболее опасные и уязвимые точки в здании, такие как места, где находятся легковоспламеняющиеся и горючие жидкости и вещества, или области, в которых в случае пожара будут отсутствовать эвакуационные пути. Данный аспект позволит пожарным проводить боевые действия по тушению из наиболее безопасной и удобной позиции, что приведет к повышению их эффективности и сохранения жизни и здоровья людей;
- определение оптимальных маршрутов эвакуации. С помощью 3d-моделирования можно спроектировать оптимальные маршруты эвакуации и проверить как люди будут эвакуироваться из здания в случае пожара. 3d-моделирование позволяет провести мероприятия по эвакуации без риска для людей и сохранения времени на подготовку;
- тестирование пожарной системы. 3D-моделирование также может использоваться для тестирования различных систем пожарной безопасности, таких как датчики дыма, пожарные двери, системы освещения и дымоудаления, а также пожарных щитов. Это позволяет разработать более точные и эффективные планы тушения и карточки тушения пожара и обеспечить надежное функционирование систем пожарной безопасности при чрезвычайных ситуациях;

- обучение личного состава подразделений пожарной охраны. Проведение 3d-симуляций пожара может помочь обучить личный состав подразделений пожарной охраны более эффективным и безопасным способам тушения пожаров. Тренировки на подобных моделях позволяет повышать навыки и опыт при работе с макетом здания, что приведет к наиболее успешному тушению пожаров в реальности.

Таким образом, использование 3d-моделирования в документах предварительного планирования и при тушении пожара существенно повышает эффективность и безопасность мероприятий, что делает его незаменимым инструментом для обеспечения пожарной безопасности. Тем не менее, необходимо учитывать, что для создания 3d-моделей и симуляции повышенной точности может потребовать значительные затраты времени и финансовых ресурсов.

Оценка средств и выгоды использования 3d-моделирования для планирования тушения пожара зависит от многих факторов и может меняться в зависимости от условий проекта.

Расчёт ожидаемых потерь от пожаров будет производиться по двум вариантам:

- не используется 3d-моделирование для планирования тушения пожара;
- используется 3d-моделирование для планирования тушения пожара.

Данные для расчёта ожидаемых потерь представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для расчёта ожидаемых потерь

Показатель	Измерение	Обоз.	1 вариант	2 вариант
«Площадь объекта» [23]	м <sup>2</sup>	F	10000	
«Стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов» [23]	руб./м <sup>2</sup>	C <sub>т</sub>	30000	30000
«Стоимость поврежденных частей здания» [23]	руб./м <sup>2</sup>	C <sub>к</sub>	30000	30000

Продолжение таблицы 2

Показатель	Измерение	Обоз.	1 вариант	2 вариант
«Площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения» [23]	м <sup>2</sup>	F'' <sub>пож</sub>	3000	3000
«Площадь пожара на время тушения первичными средствами» [23]	м <sup>2</sup>	F <sub>пож</sub>	4	
«Вероятность возникновения пожара» [23]	1/м <sup>2</sup> в год	J	2×10 <sup>-5</sup>	
«Вероятность тушения пожара первичными средствами» [23]	-	p <sub>1</sub>	0,79	
«Вероятность тушения пожара привозными средствами» [23]	-	p <sub>2</sub>	0,86	
«Коэффициент, учитывающий степень уничтожения объекта тушения пожара привозными средствами» [23]	-	-	0,52	
«Коэффициент, учитывающий косвенные потери» [23]	-	к	1,63	
«Линейная скорость распространения горения по поверхности» [23]	м/мин	v <sub>л</sub>	1	
«Время свободного горения» [23]	мин	Всвг	25	8
«Период реализации мероприятия» [23]	лет	T	10	

Рассчитаем площадь пожара в здании АО «Аркинк СМЗ» при тушении привозными средствами по формуле 1:

$$F'_{пож} = \pi \times (v_{л} \cdot B_{свг})^2, \text{ м}^2, \quad (1)$$

«где v<sub>л</sub> – линейная скорость распространения горения по поверхности, м/мин;

B<sub>свг</sub> – время свободного горения, мин.» [23].

$$F'_{пож-2} = 3,14 \times (1 \cdot 25)^2 = 1962,5 \text{ м}^2$$

$$F'_{пож-2} = 3,14 \times (1 \cdot 8)^2 = 201 \text{ м}^2$$

Произведём расчёт ожидаемых потерь от пожаров по формуле 2.

$$M(\Pi) = M(\Pi_1) + M(\Pi_2) + M(\Pi_3), \quad (2)$$

«где  $M(\Pi_1)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, потушенных первичными средствами пожаротушения;

$M(\Pi_2)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, ликвидированных подразделениями пожарной охраны;

$M(\Pi_3)$  – математическое ожидание годовых потерь от пожаров при отказе всех средств пожаротушения» [23]:

$$M(\Pi_1) = J \cdot F \cdot C_T \cdot F_{\text{пож}} \cdot (1+k) \cdot p_1, \quad (3)$$

«где  $J$  – вероятность возникновения пожара,  $1/\text{м}^2$  в год;

$F$  – площадь объекта,  $\text{м}^2$ ;

$C_T$  – стоимость поврежденного технологического оборудования и оборотных фондов, руб./ $\text{м}^2$ ;

$F_{\text{пож}}$  – площадь пожара на время тушения первичными средствами;

$p_1$  – вероятность тушения пожара первичными средствами;

$k$  – коэффициент, учитывающий косвенные потери» [23].

$$M(\Pi_2) = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F'_{\text{пож}} + C_K) \cdot 0.52 \cdot (1+k) \cdot (1-p_1) \cdot p_2, \quad (4)$$

«где  $p_2$  – вероятность тушения пожара привозными средствами;

$C_K$  – стоимость поврежденных частей здания, руб./ $\text{м}^2$ ;

$F'_{\text{пож}}$  – площадь пожара за время тушения привозными средствами»

[23].

$$M(\Pi_3) = J \cdot F \cdot (C_T \cdot F''_{\text{пож}} + C_K) \cdot (1+k) \cdot [1-p_1 - (1-p_1) \cdot p_2] \quad (5)$$

где  $F''_{\text{пож}}$  – площадь пожара при отказе всех средств пожаротушения,  $\text{м}^2$ .

Для первого варианта:

$$M(\Pi_1) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times 30000 \times 4 \times (1+1,63) \times 0,86 = 54283,2 \text{ руб./год};$$

$$M(\Pi_2) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times (30000 \times 1962,5 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times \\ \times (1 - 0,79) \times 0,86 = 2909772,23 \text{ руб./год.}$$

$$M(\Pi_3) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times (30000 \times 3000 + 30000) \times (1 + 1,63) \times \\ \times [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \times 0,86] = 1420673,4 \text{ руб./год.}$$

Для второго варианта:

$$M(\Pi_1) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times 30000 \times 4 \times (1 + 1,63) \times 0,86 = 54283,2 \text{ руб./год.};$$

$$M(\Pi_2) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times (30000 \times 201 + 30000) \times 0,52 \times (1 + 1,63) \times \\ \times (1 - 0,79) \times 0,86 = 299350,13 \text{ руб./год.}$$

$$M(\Pi_3) = 2 \times 10^{-5} \times 10000 \times (30000 \times 3000 + 30000) \times (1 + 1,63) \times \\ \times [1 - 0,79 - (1 - 0,79) \times 0,86] = 1420673,4 \text{ руб./год.}$$

Общие ожидаемые потери АО «Аркиник СМЗ» от пожаров составят:

- если не используется 3d-моделирование для планирования тушения пожара:

$$M(\Pi)_1 = 57137,86 + 2909772,23 + 1420673,4 = 4387583,49 \text{ руб./год.};$$

- если используется 3d-моделирование для планирования тушения пожара:

$$M(\Pi)_2 = 57137,86 + 299350,13 + 1420673,4 = 1777161,39 \text{ руб./год.}$$

Стоимость разработки 3d-моделей для симуляции пожаров может значительно варьироваться и зависеть от конкретных условий проекта.

Некоторые из факторов, которые могут влиять на стоимость, включают в себя:

- размер здания;
- сложность проектирования;

- количество помещений;
- количество этажей;
- возможное количество нахождения людей на объекте;
- функциональное назначение здания;
- информации об устройствах системы пожарной безопасности;
- временные рамки выполнения проекта;
- наличие на объекте производственного процесса;
- количество людей, участвующих в разработке проекта;
- географическое местоположение объекта;
- тип 3D-моделирования.

Затраты на создание 3D-модели могут варьироваться в зависимости от размера здания и сложности его конструкции, а также от выбранного типа программного обеспечения для моделирования пожара.

Обращение к профессиональным компаниям, специализирующимся на 3D-моделировании, может потребовать больших финансовых затрат.

Стоимость осуществления проекта представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость осуществления проекта

Виды работ	Стоимость, руб.
Закупка комплектующие персонального компьютера с техническими характеристиками, соответствующими минимальным необходимым для работы с программным обеспечением по 3d-моделированию	1500000
Закупка система виртуальной реальности «HP Reverb G2»	2500000
3-d проектирование объектов в районе выезда подразделения	200000
Монтаж оборудования	500000
Настройка оборудования	200000
Закупка программных продуктов	500000
Итого:	5200000

Окончательное решение о том, какой тип 3d-моделирования использовать, и сколько затрат потребуется, будет зависеть от конкретных условий проекта.

Экономический эффект от осуществления проекта составит:

$$I = \sum_{t=0}^T ([M(\Pi_1) - M(\Pi_2)] - [P_2 - P_1]) \times \frac{1}{(1+НД)^t} - (K_2 - K_1) \quad (11)$$

«где T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода);

t – год осуществления затрат;

НД – постоянная норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал,

M(Π1), M(Π2) – расчетные годовые материальные потери в базовом и планируемом вариантах, руб./год;

K1, K2 – капитальные вложения на осуществление противопожарных мероприятий в базовом и планируемом вариантах, руб.;

P1, P2 – эксплуатационные расходы в базовом и планируемом вариантах в t-м году, руб./год» [23].

Расчёт денежных потоков представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчёт денежных потоков

Год осуществления проекта T	M(Π <sub>1</sub> )-M(Π <sub>2</sub> )	P <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	1/(1+НД) <sup>t</sup>	[M(Π <sub>1</sub> )-M(Π <sub>2</sub> )-(C <sub>2</sub> -C <sub>1</sub> )]* 1/(1+НД) <sup>t</sup>	K <sub>2</sub> -K <sub>1</sub>	Чистый дисконтированный поток доходов по годам проекта (И)
1	2610422,10	-	0,91	2375484,11	4200000	-1824515,89
2	2610422,10	-	0,83	2166650,34	-	2166650,34
3	2610422,10	-	0,75	1957816,58	-	1957816,58
4	2610422,10	-	0,68	1775087,03	-	1775087,03
5	2610422,10	-	0,62	1618461,70	-	1618461,70
6	2610422,10	-	0,56	1461836,38	-	1461836,38
7	2610422,10	-	0,51	1331315,27	-	1331315,27
8	2610422,10	-	0,47	1226898,39	-	1226898,39
9	2610422,10	-	0,42	1096377,28	-	1096377,28
10	2610422,10	-	0,39	1018064,62	-	1018064,62
Экономический эффект						11827991,7

Интегральный экономический эффект от реализации предлагаемого проекта система виртуальной реальности «HP Reverb G2» и 3-d проектирования объектов в районе выезда подразделения за десять лет составит 11827991,7 рублей.

В целом, использование 3d-моделирования для планирования тушения пожара оправдывает свою стоимость за счет перспективы сохранения и спасения людей при возникновении пожара, а также достижения ликвидации и локализации в кратчайшие сроки, что приведет к снижению ущерба от пожара.

Вывод по разделу.

В ходе выполнения задач исследования были предложены:

- комплектующие персонального компьютера с техническими характеристиками, соответствующими минимальным необходимым для работы с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- варианты необходимого программного обеспечения, которое позволит создавать и использовать 3d-модели;
- варианты обучения личного состава подразделений пожарной охраны работе с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- варианты и сравнение основных характеристик систем облачных хранилищ;
- вариант создания и хранения базы данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны для наиболее удобного применения всеми подразделениями;
- варианты и сравнение основных характеристик систем виртуальной реальности и дополнительное оборудование виртуальной реальности;

- изменений для внесения в имеющиеся нормативно-правовые документы для возможности применения 3d-моделирования в пожаротушении.

Таким образом, использование 3d-моделирования в документах предварительного планирования и при тушении пожара существенно повышает эффективность и безопасность мероприятий, что делает его незаменимым инструментом для обеспечения пожарной безопасности. Тем не менее, необходимо учитывать, что для создания 3d-моделей и симуляции повышенной точности может потребоваться значительные затраты времени и финансовых ресурсов.

Интегральный экономический эффект от реализации предлагаемого проекта система виртуальной реальности «HP Reverb G2» и 3-d проектирования объектов в районе выезда подразделения за десять лет составит 11827991,7 рублей.

При этом, использование более доступного программного обеспечения и других ресурсов, таких как бесплатные онлайн-симуляторы, может значительно снизить затраты на создание 3d-модели.

В целом, использование 3d-моделирования для планирования тушения пожара оправдывает свою стоимость за счет перспективы сохранения и спасения людей при возникновении пожара, а также достижения ликвидации и локализации в кратчайшие сроки, что приведет к снижению ущерба от пожара.

## Заключение

В ходе выполнения задач в первом разделе работы были определены:

- нормативные документы, согласно которых разрабатываются документы предварительного планирования;
- виды документов предварительного планирования;
- ответственные лица за разработку документов предварительного планирования.

В ходе выполнения задач исследования были рассмотрены:

- требования к документам предварительного планирования;
- содержание документов предварительного планирования;
- оформление документов предварительного планирования;
- процесс разработки и утверждения документов предварительного планирования.

Исходя из вышеизложенной информации, несмотря на профессиональную подготовку и опыт личного состава подразделений пожарной охраны, точность, грамотность и правильность разработки документов предварительного планирования напрямую влияет на выполнение основной боевой задачи пожарной охраны - проведение боевых действий по тушению пожаров на месте пожара для спасения людей, достижения локализации и ликвидации пожара в кратчайшие сроки. Следовательно, необходимо разрабатывать и внедрять современные технологические методы, такие как 3d моделирование, при разработке документов предварительного планирования, направленных на повышение уровня реагирования подразделений пожарной охраны.

В ходе выполнения задач во втором разделе работы:

- было проведено ПТЗ для выявления недостатков;
- был проведен анализ необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования;

- было проведено анкетирование личного состава на вопрос необходимости применения 3d-моделирования в документах предварительного планирования.

На основании анкетирования и проведенного анализа были сделаны следующие выводы о том, как можно применить 3d-моделирование в документах предварительного планирования:

- при невозможности посещения объекта личным составом подразделений пожарной охраны во время оперативно-тактического изучения объекта, появится возможность изучить планировку объекта, местонахождение первичных средств пожаротушения и наикратчайшие пути эвакуации самостоятельно, при помощи разработанной 3d-модели объекта и очков виртуальной реальности;
- при помощи 3d-моделирования возможно спроектировать различные варианты развития пожара на стадии разработки документа предварительного планирования, а в дальнейшем при помощи разработанной 3d-модели объекта и очков виртуальной реальности отработать наихудшие сценарии развития пожара, а также наилучшие способы тушения пожара.

В ходе выполнения в третьем разделе работы предложены:

- комплектующие персонального компьютера с техническими характеристиками, соответствующими минимальным необходимым для работы с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- варианты необходимого программного обеспечения, которое позволит создавать и использовать 3d-модели;
- варианты обучения личного состава подразделений пожарной охраны работе с программным обеспечением по 3d-моделированию;
- варианты и сравнение основных характеристик систем облачных хранилищ;

- вариант создания и хранения базы данных 3d-моделей зданий и сооружений, находящихся в районе выезда подразделений пожарной охраны для наиболее удобного применения всеми подразделениями;
- варианты и сравнение основных характеристик систем виртуальной реальности и дополнительное оборудование виртуальной реальности;
- изменений для внесения в имеющиеся нормативно-правовые документы для возможности применения 3d-моделирования в пожаротушении.

Таким образом, использование 3d-моделирования в документах предварительного планирования и при тушении пожара существенно повышает эффективность и безопасность мероприятий, что делает его незаменимым инструментом для обеспечения пожарной безопасности. Тем не менее, необходимо учитывать, что для создания 3d-моделей и симуляции повышенной точности может потребовать значительные затраты времени и финансовых ресурсов.

Интегральный экономический эффект от реализации предлагаемого проекта система виртуальной реальности «HP Reverb G2» и 3-d проектирования объектов в районе выезда подразделения за десять лет составит 11827991,7 рублей.

При этом, использование более доступного программного обеспечения и других ресурсов, таких как бесплатные онлайн-симуляторы, может значительно снизить затраты на создание 3d-модели.

В целом, использование 3d-моделирования для планирования тушения пожара оправдывает свою стоимость за счет перспективы сохранения и спасения людей при возникновении пожара, а также достижения ликвидации и локализации в кратчайшие сроки, что приведет к снижению ущерба от пожара.

## Список используемых источников

1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 22.0.02-2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139176> (дата обращения: 10.02.2023).
2. Бородин В.А., Кузовлев А.В., Харитонов А.А., Петухов И.А. Документация по предварительному планированию боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. С. 85-86. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dokumentatsiya-po-predvaritelnomu-planirovaniyu-boevyih-deystviy-po-tusheniyu-pozharov-i-provedeniyu-avariyno-spasatelnyh-i-drugih> (дата обращения: 10.02.2023).
3. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 11 июля 2004 г. № 868 (в ред. от 19.12.2022). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_48356/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_48356/) (дата обращения: 10.02.2023).
4. Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами [Электронный ресурс]: СП 301.1325800.2017. (URL: <https://docs.cntd.ru/document/555664724> (дата обращения: 10.02.2023).
5. Мельник А. А., Мартинович Н. В., Калюжина Ж. С., Малютин О. С. Справочник начальника караула пожарной части // Справочник. 2019. С. 5-6. URL: [https://mchs.fun/wp-content/uploads/2016/07/Spravochnik\\_nachkara\\_2019](https://mchs.fun/wp-content/uploads/2016/07/Spravochnik_nachkara_2019) (дата обращения: 10.02.2023).
6. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 57563-2017. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146763> (дата обращения: 10.02.2023).

7. Монахова Г.Е. Информационные системы и технологии. Моделирование трехмерных объектов // Практикум. 2021. С. 8-24. URL: <https://yadi.sk/i/EzmWJ5c3X2k4fg> (дата обращения: 05.04.2023).

8. Нурмухамедов Г.М. Информатика. Теоретические основы. // Учебное пособие. 2012. С. 29-34. URL: [https://ivansvetl.ucoz.net/4/4\\_5\\_Mediateka/egeh-2017\\_informatika-teor-osnovy\\_nurmukhamedov-so.pdf](https://ivansvetl.ucoz.net/4/4_5_Mediateka/egeh-2017_informatika-teor-osnovy_nurmukhamedov-so.pdf) (дата обращения: 05.04.2023).

9. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 (в ред. от 28.02.2020). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_291493/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291493/) (дата обращения: 10.02.2023).

10. Об утверждении Методических указаний по заполнению формы плана тушения лесных пожаров [Электронный ресурс]: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 16 декабря 2013 г. № 591 (в ред. от 19.04.2016). URL: <https://docs.cntd.ru/document/499067867> (дата обращения: 10.02.2023).

11. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 25 октября 2017 г. № 467 (в ред. от 28.02.2020). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_290970/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_290970/) (дата обращения: 10.02.2023).

12. Об утверждении Правил разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его формы [Электронный ресурс]: Постановление правительства РФ от 17 мая 2011 г. № 377 (в ред. от 09.04.2016). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_114248/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_114248/) (дата обращения: 10.02.2023).

13. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ (в ред. от 29.12.2022). URL:

[https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения: 10.02.2023).

14. О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы [Электронный ресурс]: Постановление правительства РФ от 20 июня 2005 г. № 385 (в ред. от 25.04.2019). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_54079/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54079/) (дата обращения: 10.02.2023).

15. Патент RU166015U1 Российская Федерация. Устройство для 3-d съёмки / Бикмуллин Марат Габдулгазизович (RU), Дмитриев Владимир Александрович (RU): заявитель и правообладатель Бикмуллин Марат Габдулгазизович (RU), Дмитриев Владимир Александрович (RU); заявл. 04.04.2016; опубл. 10.11.2016. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU166015U1\\_20161110](https://yandex.ru/patents/doc/RU166015U1_20161110) (дата обращения: 10.02.2023).

16. Патент RU 2758945C1 Российская Федерация. Способ определения очага пожара в помещении / Вечтомов Денис Анатольевич (RU), Аношкин Александр Владимирович (RU), Джуган Виктория Руслановна (RU), Плешаков Виталий Владимирович (RU), Григорьев Денис Юрьевич (RU): заявитель и правообладатель Джуган Виктория Руслановна (RU); заявл. 21.12.2020; опубл. 11.03.2021. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2758945C1\\_20211103](https://yandex.ru/patents/doc/RU2758945C1_20211103) (дата обращения: 10.02.2023).

17. Сазонов А.А. Трёхмерное моделирование в AutoCad // Учебник. 2011. С. 46-96. URL: <https://studylib.ru/doc/6223984/osnovy-bim.-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdanij> (дата обращения: 10.03.2023).

18. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 23501.101-87. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012840> (дата обращения: 10.02.2023).

19. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения. [Электронный ресурс] : ГОСТ Р

12.1.033-81. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003841> (дата обращения: 10.02.2023).

20. Системы обработки информации. Термины и определения [Электронный ресурс]: ГОСТ Р 15971-90. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015664> (дата обращения: 05.04.2023).

Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий // Учебник. 2011. С. 46-96. URL: <https://studylib.ru/doc/6223984/osnovy-bim.-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdaniy> (дата обращения: 10.03.2023).

21. Тараканов Д.В. Программное средство для разработки электронной карточки тушения пожара// Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. С. 151-153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnoe-sredstvo-dlya-razrabotki-elektronnoy-kartochki-tusheniya-pozhara> (дата обращения: 10.02.2023).

22. Терещнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. // Справочник. 2005. С. 4-6. URL: <https://studfile.net/preview/9978122/> (дата обращения: 10.02.2023).

23. Техничко-экономическое обоснование противопожарных мероприятий [Электронный ресурс] : МДС 21-3.2001. URL: [http://pozhprouekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3\\_2001.htm](http://pozhprouekt.ru/nsis/Rd/Mds/21-3_2001.htm) (дата обращения: 05.04.2023).

24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 23.07.2022).

25. Wu, X.; Zhang, X.; Huang, X.; Xiao, F.; Usmani, A. A real-time forecast of tunnel fire based on numerical database and artificial intelligence. Build. Simul. 2021.

26. Li, B.; Li, T.; Huang, D. Research on Automatic Fire Monitoring and Recognition Technology Based on Digital Image Processing Technology; Atlantis Press: Amsterdam, The Netherlands, 2019.

27. Jevtić, R.B. Fire simulation in house conditions. *Tehnika* 2016, 71, 160–166.
28. Long, X.; Zhang, X.; Lou, B. Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder. *J. Chin. Inst. Eng.* 2017, 40, 257–266.
29. Xu, M.; Peng, D. PyroSim-Based Numerical Simulation of Fire Safety and Evacuation Behaviour of College Buildings. *Int. J. Saf. Secur. Tour.* 2020, 10, 293–299.
30. Sun, Q. A BIM-based Simulation Framework for Fire Evacuation Planning. Master's Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA, June 2018.
31. Sun, Q.; Turkan, Y. A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance. *Adv. Eng. Inform.* 2020, 44, 101093.
32. Sato, Y. Location-based Responsive Space for Multimedia Environment Using Ultra-wideband Technology. Master's Thesis, Concordia University, Montreal, QC, Canada, March 2011.
33. Rafiee, M.; Siddiqui, H.; Hammad, A. Improving Indoor Security Surveillance by Fusing Data from BIM, UWB and Video. In Proceedings of the the 30th ISARC, Montreal, QC, Canada, 11–15 August 2013; pp. 742–752.
34. Arthur, P.; Passini, R. *Wayfinding: People, Signs, and Architecture*, 1st ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1992; pp. 1–238.
35. Gerges, M.; Demian, P.; Adamu, Z. Customising evacuation instructions for high-rise residential occupants to expedite fire egress: Results from agent-based simulation. *Fire* 2021, 4, 21.