

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

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Иванов Владимир Николаевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРЕДЕЛАМ
ОГНЕСТОЙКОСТИ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность: 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»
(Технические науки, отрасль – строительство)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук,

доцент Евгений Ефимович Кирюханцев

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ	
ОГНЕСТОЙКОСТИ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	
ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.....	
1.1 Особенности пожарной опасности высотных жилых зданий.....	11
1.2 Проблемы обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий и определения требуемых пределов огнестойкости их основных несущих конструкций.....	28
1.3 Сравнительный анализ требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий в России и за рубежом	40
1.4 Подходы и методы оценки требуемых пределов огнестойкости	46
1.5 Выводы по первой главе.	73
ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ	
ЗДАНИЯХ.....	
2.1 Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений высотных жилых зданий.....	75
2.2 Исследование пожарной нагрузки современных квартир высотных жилых зданий	85
2.3 Компьютерное моделирование «реальных» температурных режимов пожара.....	93
2.4 Теоретические основы влияния на «реальный» температурный режим огнетушащих веществ при введении пожарных стволов	119
2.5 Решение теплотехнической и статической задачи по «реальному» и стандартному температурным режимам пожара	122
2.6 Выводы по второй главе.....	130
ГЛАВА 3. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПОЖАРНЫХ	
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ	
ЗДАНИЯХ.....	
	132

3.1 Продолжительность развертывания сил и средств пожарных подразделений в высотных жилых зданиях.....	140
3.2 Экспериментальное исследование развертывания рукавных линий в незадымляемой лестничной клетке	150
3.3 Выводы по третьей главе.....	162
ГЛАВА 4. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.....	163
4.1 Требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий и пожарная безопасность людей при эвакуации и спасении	163
4.2 Экспериментальное исследование спасения маломобильных групп населения из пожаробезопасных зон на этажах высотных жилых зданий	166
4.3 Алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости	186
4.4 Требуемые пределы огнестойкости в системе обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий с учетом действий пожарных подразделений	190
4.5 Выводы по четвертой главе.....	193
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	194
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	196
Список сокращений и условных обозначений.....	222
Приложение А. Акты внедрения	223

ВВЕДЕНИЕ

Наибольшее количество пожаров ежегодно происходит в Российской Федерации (РФ) в жилом секторе. В настоящее время в крупных и крупнейших городах РФ ввиду высокой стоимости земли и плотности застройки наиболее часто строятся жилые дома и комплексы высотой около 150 м. Пожарную опасность таких жилых зданий определяет их высота – более 75 м, нахождение массового количества людей, возможность распространения пожара по фасаду и сложность осуществления действий пожарных подразделений по тушению пожаров и проведению спасательных работ в их высотной части.

На основании этого в практике рассмотрения и согласования на нормативно-техническом совете МЧС России специальных технических условий (СТУ) на высотные здания (ВЗ) различной высоты и конструктивной системы нередко причиной отказа в согласовании служит необоснованность требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ввиду малой изученности данного вопроса в РФ. Также отсутствует свод правил (СП) в области пожарной безопасности по высотным жилым зданиям (ВЖЗ). При этом принятие требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций осуществляется на основе сложившейся практики проектирования без научного обоснования, часто с завышенным запасом исходя только из высоты здания, не принимая во внимание целый комплекс возможных факторов, влияющих на пожарную опасность этих зданий. Действующие нормативные документы в области проектирования и строительства в РФ не устанавливают порядок расчета требуемых пределов огнестойкости ВЖЗ.

Анализ зарубежных нормативных документов в области проектирования и строительства ВЗ показал, что максимальное значение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ, упоминаемых в этих нормах, составляет 180 минут, тогда как анализ отечественного опыта проектирования и строительства ВЗ показывает принятие их в 240 минут.

Анализ более богатого зарубежного опыта проектирования и строительства

ВЗ показывает, что помимо высоты здания учитываются различные факторы, влияющие на значения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций, такие, как автоматические установки пожаротушения (США), расчетное время эвакуации из здания (Белоруссия), назначение здания (Великобритания), нагрузка на несущие конструкции здания (Япония).

В связи с этим для повышения уровня обеспечения пожарной безопасности ВЖЗ и оценки требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций должны быть установлены факторы, влияющие на их значения, а также разработан алгоритм их расчета.

Степень разработанности темы исследования. Большое количество отечественных и зарубежных исследований посвящено развитию теории оценки огнестойкости конструкций и зданий, оценке фактических пределов огнестойкости, авторами которых являются В.П. Бушев, М.Я. Ройтман, А.И. Яковлев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, В.М. Ройтман, И.Г. Романенков, Н.А. Стрельчук, А.Ф. Милованов, В.В. Жуков, В.В. Соломонов, В.С. Федоров, В.И. Голованов, В.Л. Страхов, К. Kordina, Т. Harmathy и многие другие. Оценке требуемых пределов огнестойкости посвящено существенно меньшее количество работ В.И. Мурашева, М.Я. Ройтмана, В.М. Ройтмана, И.С. Молчадского, В.И. Присадкова, Д.Г. Пронина, Ю.Н. Шебеко и А.Ю. Шебеко. Но с учетом действий пожарных подразделений посвящены данной тематике только работы авторов Ф.В. Обухова (теоретическое описание снижения температурного режима после введения и подачи пожарными подразделениями пожарных стволов на тушение); И.В. Костерина и А.С. Туркова (определение требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций вероятностными методами оценки). Но не один из выше представленных ученых не рассматривал вопрос определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ в зависимости от комплекса различных факторов.

Цель работы – определение факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости и разработка алгоритма определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ на основе комплексного

подхода к оценке их пожарной опасности.

Цель исследования определяет необходимость решения следующих **задач**:

1. Выявить прямые и косвенные факторы, влияющие на значения требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций ВЖЗ.

2. Установить параметры «реальных» температурных режимов пожаров в ВЖЗ и особенности их развития в зависимости от пожарной нагрузки, планировочных схем зданий, работы активных систем противопожарной защиты (СППЗ).

3. Определить временные параметры действий пожарных подразделений по спасению и введению пожарных стволов для различных схем развертывания.

4. Установить соотношение между огнестойкостью основных несущих конструкций здания в условиях «реального» пожара и временными параметрами действий пожарных подразделений по тушению пожара.

5. Разработать алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций ВЖЗ в зависимости от режимов «реального» пожара, времени эвакуации, спасения людей из здания и продолжительности действий пожарных подразделений.

Объектом исследования является огнестойкость ВЖЗ.

Предмет исследования – требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ.

Научная новизна:

– выявлены закономерности влияния времени подачи первых пожарных стволов на параметры температурного режима «реального» пожара;

– установлена связь между временем стандартного и «реального» температурного режима пожара и несущей способности конструкций ВЗ;

– повышена точность методики расчета времени спасения маломобильных групп населения (МГН) с помощью лифта для транспортирования пожарных подразделений (лифт для пожарных) на основе данных экспериментальных исследований;

– впервые разработана обоснованная концепция нормирования требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций на основе факторов, характеризующих развитие пожара и процесс эвакуации и спасения людей.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

1. В определении прямых и косвенных факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости несущих конструкций ВЖЗ:

– количественных значений пожарной нагрузки в квартирах современных ВЖЗ в РФ;

– количественных значений времени прокладки рукавных линий между маршами с использованием лифта для пожарных;

– количественных значений времени спасения, пострадавших на носилках пожарными с 50-этажного ВЗ, а также скорости движения пожарных по маршруту вверх и вниз с носилками.

2. В разработке алгоритма определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ и возможности использования полученных результатов для определения и дальнейшего нормирования требуемых пределов огнестойкости при проектировании зданий и сооружений (ЗиС) различных классов функциональной пожарной опасности, для которых отсутствуют нормы проектирования.

Методология и методы исследования. Основу теоретических исследований составили анализ и математическое моделирование сценариев развития вероятных пожаров в квартирах ВЖЗ полевым методом с помощью программы Fire Dynamics Simulator (FDS), решение теплотехнической задачи огнестойкости – ANSYS Mechanical; при решении статической задачи огнестойкости использовался Mathcad 15. Также моделирование расчетного времени эвакуации и спасения МГН из пожаробезопасных зон ВЖЗ производилось с помощью программы Pathfinder 2018. Основу эмпирических данных составили данные действий пожарных подразделений по разворачиванию рукавных линий, а также по спасению МГН с помощью лифтов для пожарных и

транспортировкой их на носилках по лестничной клетке из здания. Обработка эмпирических статистических данных производилась с помощью программы AtteStat 12.0.5 и Excel.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечивается использованием методов анализа, численного решения дифференциальных уравнений с помощью компьютерного моделирования, а также использования апробированных методов исследования с помощью видеосъемки. Примененные математические методы и модели, которые прошли верификацию, валидацию и сертификацию, имеют достаточное для научных (инженерных) методов расчета сходжение с известными данными по реальным пожарам и экспериментам, а также пожарно-тактическим учениям. Полученные экспериментальные результаты имеют удовлетворительную сходимость с расчетными данными.

Практическая значимость работы подтверждена использованием результатов исследования при разработке:

– нормативного документа по проектированию ВЗ СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»: ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», 2019 г.;

– нормативного документа по проектированию ВЗ СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий» НП «АВОК», 2016 г.;

– учебно-методических материалов (рабочие программы, курсы лекций и др.) по дисциплинам «Экспертиза пожарной безопасности» и «Здания и сооружения и их устойчивость при пожаре» в Академии ГПС МЧС России, 2018 г.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве и единоличном авторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ (высотой до 150 м) на основе комплексного подхода, включающего:

– основные факторы, влияющие на требуемые пределы огнестойкости несущих конструкций в зависимости от условий развития пожара в ВЖЗ и обеспечения пожарной безопасности людей в них;

– необходимость внедрения новых методов в развертывании сил и средств пожарных подразделений с использованием стационарных систем в высотной части здания: водонаполненного пожарного стояка и сухотрубов (при тушении компрессионной пеной и температурно-активированной водой (ТАВ));

– алгоритм спасения МГН из ВЖЗ с помощью лифта для пожарных и параметры спасения (время, скорость) пострадавшего с помощью носилок по маршам незадымляемой лестничной клетки.

2. Алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и получили одобрение на следующих научно-практических конференциях:

– Международном семинаре «Пожарная безопасность объектов хозяйствования» (Казахстан, г. Кокшетау, 2018 г.);

– Научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (РФ, г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012–2017 гг.);

– Международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (Республика Беларусь, г. Минск, 2012 г.);

– Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института (РФ, г. Москва, ВНИИПО МЧС России, 2012 г.);

- Научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (РФ, г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2014, 2017 гг.);
- Научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (РФ, г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013, 2014 гг.);
- Международной научно-технической конференции «Системы безопасности» (РФ, г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 4 – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и приложения. Содержание работы изложено на 225 страницах текста, включает в себя 23 таблицы, 103 рисунка, список литературы из 204 наименований.

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

1.1 Особенности пожарной опасности высотных жилых зданий

Человечество в процессе своего развития находит свое отражение в архитектуре зданий, методах и технологиях, применяемых в строительстве. Строительство ВЗ, в том числе и жилых, явилось импульсом для разработки комбинированных конструкций, развития новых технологий производства и строительства, применения новых высококачественных материалов.

В РФ ВЗ – здания высотой более 75 м (жилые) и более 50 м (общественные). В других странах под ВЗ обычно понимают здание высотой от 35 до 100 м, а здания выше 100 м считаются небоскребами.

Первые ВЗ появились в США г. Чикаго в конце XIX века. Их появление связано с решением трех основных задач [1]:

- применение металлического, а затем и железобетонного каркаса;
- изобретение механического лифта на паровом ходу для подъема на верхние этажи зданий;
- внедрение электроосвещения и применение системы вентиляции, что обеспечило возможность регулировать внутренний микроклимат в здании.

Первое ВЗ появилось в Чикаго в 1883 году – здание домового страхования «Хоум Иншуранс Билдинг» (The Home Insurance Building; рисунок 1.1), архитектор Уильям ле Барон Дженни. Здание было 10-этажным, высотой 55 м, в котором применялась усовершенствованная металлическая каркасная система.

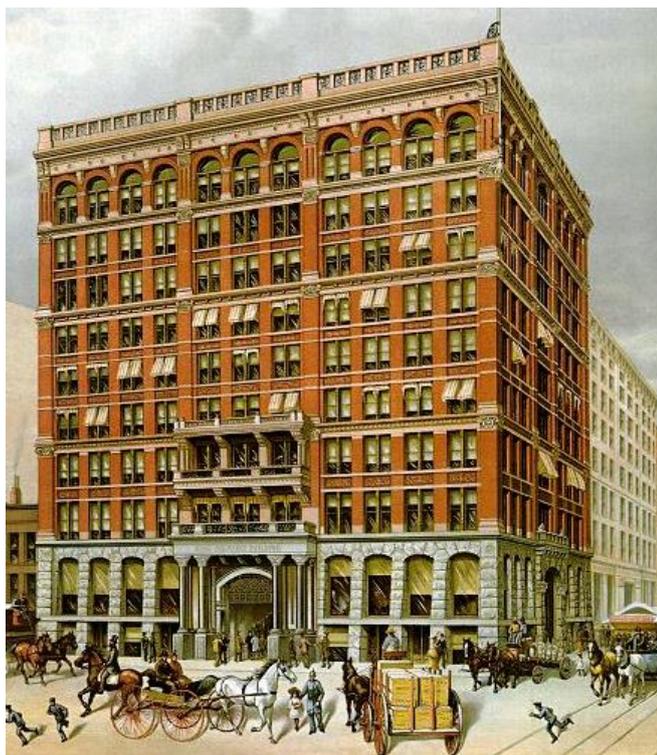


Рисунок 1.1 – Первый небоскреб в г. Чикаго

Данное ВЗ было первым с несущими конструкциями из металлического каркаса, а кирпичные наружные стены — только самонесущие. Здание стало известным благодаря массе инноваций, таких, как использование прокатных Г-образных балок, обеспечение по тем меркам высокого уровня пожарной безопасности за счет противопожарных перегородок из каменной кладки, а также организации быстрой и безопасной эвакуации. Здание было снесено в 1931 году.

Идеи высотного строительства в России зародились в Москве только перед Великой Отечественной войной. Стоит отметить амбициозные планы строительства Дворца Советов высотой 419 м по проекту Б.М. Йофана на месте снесенного в 1933 г. Храма Христа Спасителя, который так и не был осуществлен на практике (рисунок 1.2). Идеи стали осуществляться в жизнь в конце 40-х – начале 50-х гг. XX в. Согласно специальному постановлению № 53 Совета Министров СССР «О строительстве в г. Москве многоэтажных зданий» [2] были построены семь «сталинских» высоток различного функционального назначения. Все восемь московских ВЗ были заложены в день восьмисотлетия Москвы.

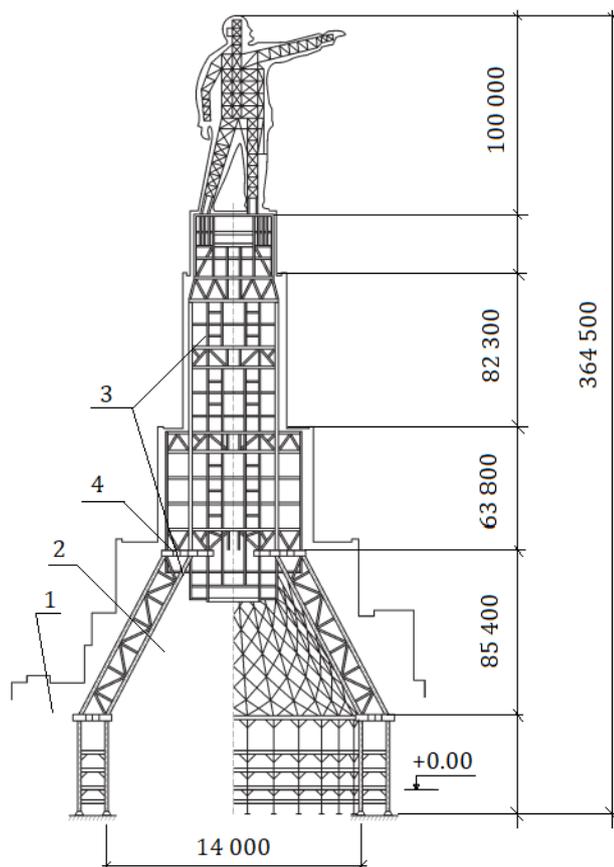


Рисунок 1.2 – Проект Дворца Советов [2]:

1 – стилобат; 2 – большой зал на 21 000 человек;

3 – основной стальной несущий каркас; 4 – распорное кольцо

Первым многоэтажным зданием стало здание Министерства иностранных дел СССР и Министерства внешней торговли СССР на Смоленской площади (рисунок 1.3), построенное по проекту В. Гельфрейха и М. Минкуса.

В настоящее время возведение ВЗ в крупных городах РФ и мира стало одним из приоритетных направлений строительства. По неофициальным данным, количество ВЗ только в г. Москве превысило 500.

При всей красоте ВЗ не стоит забывать о том, что такие здания относятся к объектам повышенной пожарной опасности. С увеличением высоты здания увеличивается и их пожарная опасность, поскольку увеличивается расчетное время эвакуации людей, а время наступления опасных факторов пожара (ОФП) снижается. Поэтому актуальность проблемы обеспечения пожарной безопасности ВЗ не вызывает сомнений.



Рисунок 1.3 – Первое многоэтажное ВЗ Министерства иностранных дел и
Министерства внешней торговли СССР

Пожарная опасность ВЖЗ характеризуется вероятностью возникновения пожара в здании и особенностями его развития, массовым пребыванием людей в здании различных групп мобильности, в том числе МГН и даже немобильных, наличием развитых вертикальных инженерных шахт и коммуникаций, пересекающих строительные конструкции (противопожарные преграды), тем самым создавая условия для распространения пожара, ограниченный доступ пожарных подразделений в высотную часть здания и не всегда надежная и эффективная работа активных СППЗ (рисунок 1.4).

Наличие помещений с массовым пребыванием (более 50) людей возможно во встроенных магазинах, административных и офисных помещениях, кафе, фитнес-залах и других помещениях. На жилых этажах современных ВЖЗ количество людей, одновременно находящихся на этаже, как правило, не превышает 50 человек. Связано это в первую очередь с количеством человек, проживающих в семье.



Рисунок 1.4 – Пожарная опасность ВЗ

По Всероссийской переписи населения 2010 года [3] в семье преобладает три человека – семейная пара, имеющая только одного ребенка. Но при этом количество человек во всем здании может превышать 500 человек. Также в ВЖЗ возможно наличие всех групп мобильности людей, в том числе и немобильных. Большую проблему, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности людей, представляют МГН и немобильные люди, неспособные к самостоятельной эвакуации: ослабленные физически граждане престарелого возраста, больные люди, выписанные из больниц и инвалиды с поражением опорно-двигательного аппарата. В связи со значительным пребыванием людей в ВЖЗ возникают проблемы по организации их эвакуации при пожаре и продолжительном пути эвакуации из здания. Одной из ключевых проблем в ВЗ является тушение пожара и спасение людей пожарными подразделениями в высотной части здания.

Наиболее часто в ВЖЗ, чей класс функциональной пожарной опасности Ф 1.3, встраиваются, особенно на первых надземных этажах, следующие помещения: магазины – Ф 3.1, административные и офисные помещения – Ф 4.3, кафе – Ф 3.2, фитнес-залы – Ф 3.6; в подземных этажах – автостоянки – Ф 5.2.

Современные тенденции строительства ВЖЗ говорят о том, что можно выделить по функциональному назначению жилую часть и части, ее обслуживающие (рисунок 1.5).

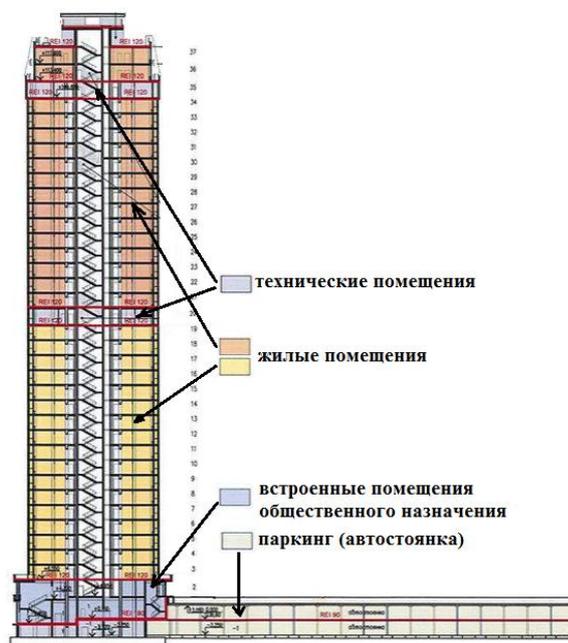


Рисунок 1.5 – «Типовое» разделение на классы функциональной пожарной опасности ВЖЗ в РФ

Проблема обеспечения пожарной безопасности жилого сектора была и остается актуальной как никогда, так как растет этажность жилых и многофункциональных зданий с апартаментами, что приводит к плотности заселения на 1 м² жилой застройки и увеличению количества людей на этажах. Изменения, произошедшие в градостроительной, политической и социальной деятельности, наложили определенный отпечаток и на обстановку с пожарами [4].

По официальной статистике [5–15] пожары в жилом секторе РФ достигают 70–80 % от общего числа, число погибших в результате пожаров превышает 90 % от общего числа погибших в результате пожаров по стране. Более 90 % погибших людей при пожарах фиксируются как погибшие до прибытия пожарных подразделений, то есть на начальной стадии пожара [16]. От воздействия продуктов горения при пожарах ежегодно погибает более 70 % от общего

количества погибших. Более чем в 71 % случаев условиями, способствующими гибели людей при пожарах, являются состояние алкогольного (наркотического) опьянения и нахождение в состоянии сна.

Анализ данных официальной статистики по количеству пожаров в РФ за 19 лет (1999–2017 гг.) показал, что в 71,54 % случаев пожары происходят именно в жилом секторе.

Следует отметить, что в течение последних 20 лет общее количество пожаров в стране и количество пожаров в жилом секторе уменьшается (рисунок 1.6).

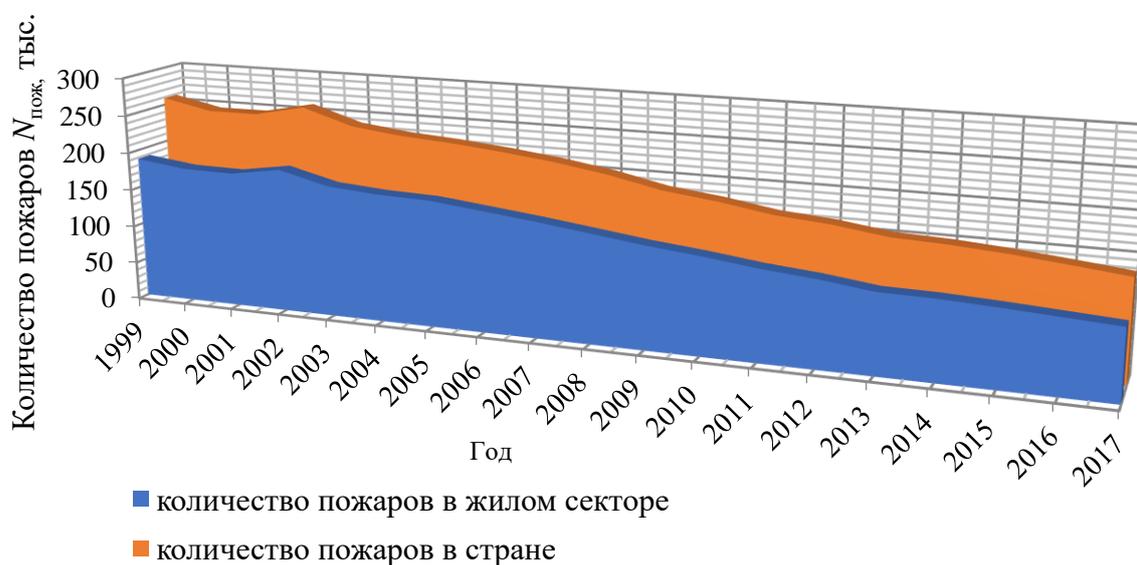


Рисунок 1.6 – Количество пожаров в жилом секторе в РФ

По данным Всероссийской переписи населения 2010 года, численность населения РФ составляла 142,9 млн человек [17]. По неофициальным данным, численность населения в нашей стране на 2017 год увеличилась ориентировочно до 146,8 млн человек. Нормативное значение индивидуального пожарного риска в ЗиС не должно превышать 10^{-6} в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной точке. Следовательно, нормативная численность погибших при пожарах не должна превышать 147 человек в год, однако количество погибших на пожарах в 2017 году составило 7782 человека [15]. Соответственно, риск гибели людей на пожаре в РФ превышает законодательную норму в 53 раза.

Контроль за состоянием жилых помещений осложняется также тем, что, согласно статье 3, пункту 1 жилищного кодекса [18], жилище неприкосновенно. Фактическое значение индивидуального пожарного риска в РФ за последние годы для всех ЗиС составляло приблизительно $83 \cdot 10^{-6}$ [19].

Таким образом, нормативное значение индивидуального пожарного риска (10^{-6} 1/чел. год), зафиксированное в статье 79 Технического регламента [20], не соблюдается в РФ и в других странах по экономическим причинам. Авторами работы [21] предлагается назначить рекомендуемое нормативное значение индивидуального пожарного риска для зданий функциональных классов пожарной опасности Ф 1.3, Ф 1.4 на уровне $63 \cdot 10^{-6}$ (чел./год). Однако количество пожаров в многоквартирных жилых домах (Ф 1.3) в зависимости от этажности зданий изменяется в широком диапазоне. Пожаров в них гораздо меньше, чем в малоэтажных (одноэтажных, многоквартирных и блокированных зданиях – Ф 1.4, рисунок 1.7). В большей части пожары происходят в частном секторе – одноэтажных индивидуальных и малоэтажных жилых домах до 5 этажей. В жилых зданиях повышенной этажности и ВЖЗ количество пожаров на несколько порядков ниже, что, возможно, связано с уровнем благосостояния проживающих в них. ВЖЗ – сегмент элитного и бизнес-классов жилья. Люди, достигшие определенного уровня жизни и благополучия, материального достатка, имеют определенные основы противопожарной грамотности и стремятся сохранить свой капитал, здоровье и жизнь.

Ориентировочный экономический расчет по сметам показывает, что стоимость обеспечения 1 минуты требуемого предела огнестойкости несущей строительной конструкции железобетонного ВЖЗ высотой 150 м составляет 9,4 млн рублей, исходя из того, что на 1 м^2 площади этажа расходуется $0,8\text{--}1,2 \text{ м}^3$ бетона, на примере марки М400 (В30) без учета стоимости арматуры и оплаты работ.

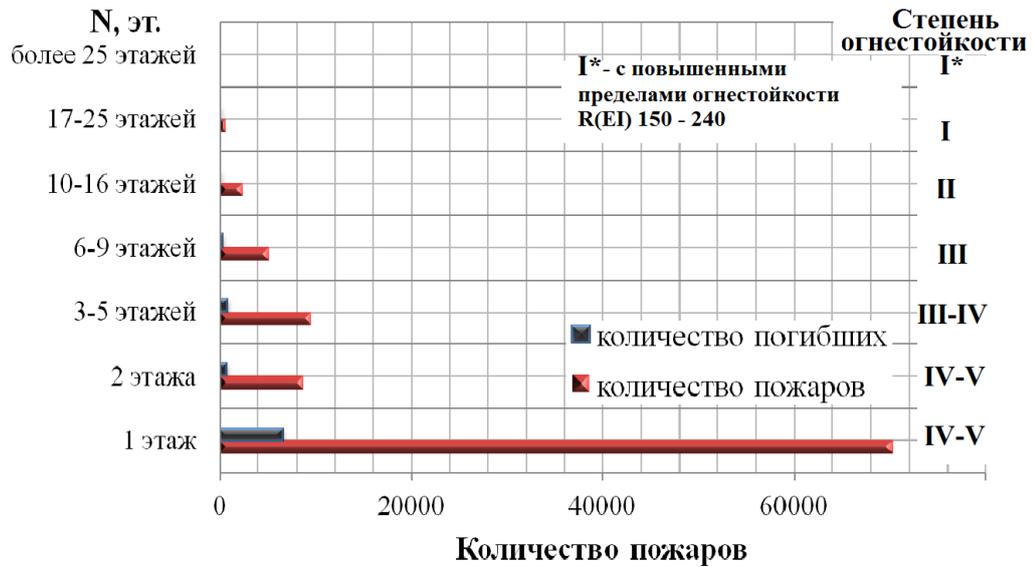


Рисунок 1.7 – Количество пожаров и погибших на них в жилых домах в зависимости от этажности и степени огнестойкости в РФ (2012–2016 гг.)

В новых разработанных нормативных документах в области проектирования и строительства ВЗ существуют расхождения в трактовке термина «высотное здание» [22, 23] и определении их пожарно-технической высоты [24]. Поэтому анализ и обработка статистических данных по пожарам и погибшим на них осуществлена для жилых зданий с этажностью 17–25 и более 25 этажей, которые попадают под критерий высоты для общественных и жилых зданий в нашей стране с условно принимаемой средней высотой этажа 3,0 м.

Анализ статистических данных (рисунки 1.8, 1.9) показывает, что наблюдается тенденция снижения количества пожаров в ВЗ, при этом в большинстве случаев пожары происходят в многоквартирных жилых домах (в более 50 % случаев). В РФ в многоквартирных жилых домах с этажностью более 25 этажей в среднем за исследуемый период происходит 23 пожара в год.

Среднее количество погибших на пожарах за 15 лет в зданиях этажностью 17–25 этажей составляет 25 чел./год, в зданиях более 25 этажей различного назначения – 2 чел./год, а в многоквартирных жилых зданиях (Ф 1.3) – 1 чел./год (рисунок 1.10).

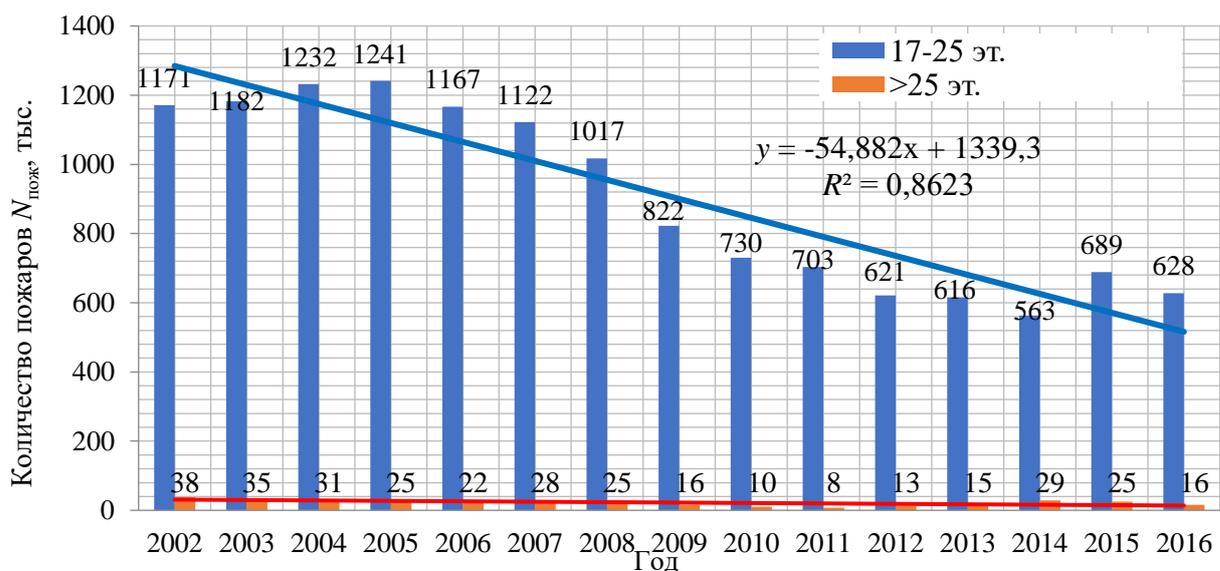


Рисунок 1.8 – Количество пожаров в ВЗ различного назначения в РФ (2002–2016 гг.)

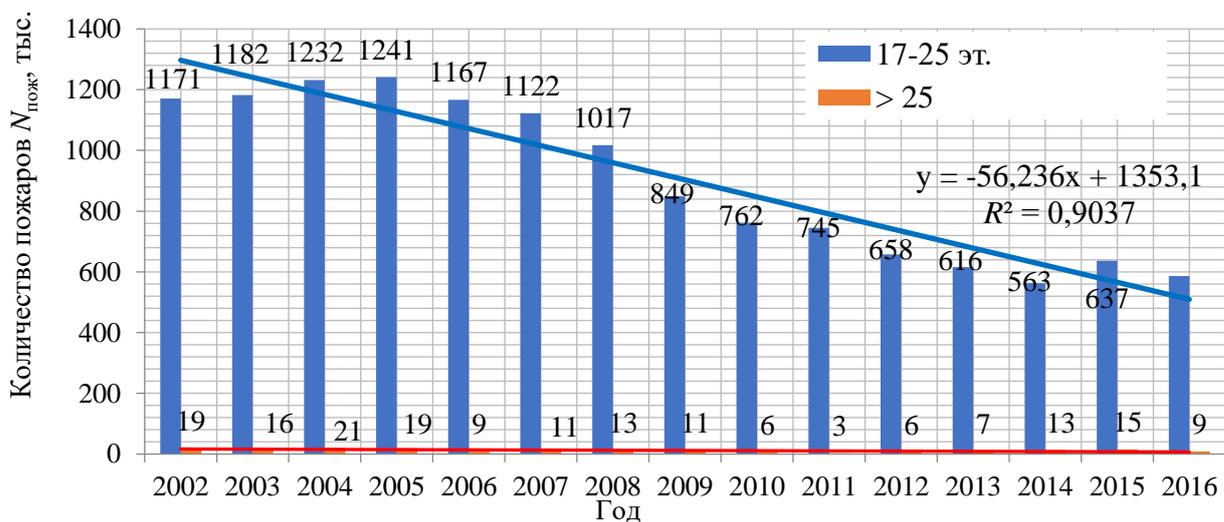
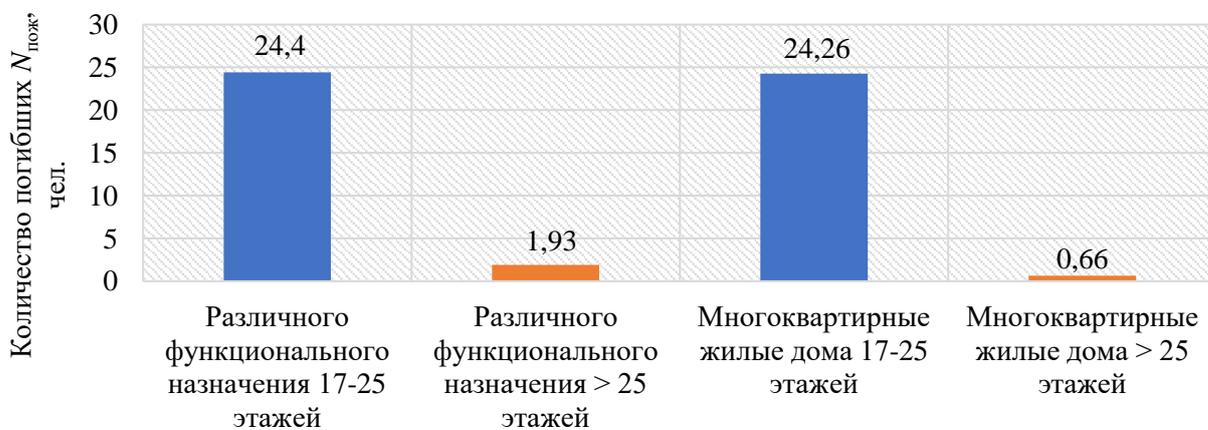


Рисунок 1.9 – Количество пожаров в многоквартирных ВЖЗ в РФ



Класс функциональной пожарной опасности и этажность

Рисунок 1.10 – Среднее количество погибших за год в ВЗ в РФ

В процессе исследования в качестве основного показателя, характеризующего последствия пожаров в жилых зданиях этажностью от 17 этажей и более использовался пожарный риск R_2 – количественная характеристика возможности реализации для человека погибнуть при пожаре в течение года [25]. Размерность: численность погибших при пожарах относительно 100 зарегистрированных пожаров определяется по формуле ($R_2 = \frac{\text{жертва}}{\text{пожар}}$).

Таблица 1.1 – Риск гибели людей на 100 пожаров в жилых зданиях

Основной пожарный риск	Количественная характеристика возможности реализации пожарной опасности по годам				
	2012	2013	2014	2015	2016
Риск R_2 (Жертва/ 100 пожаров)	Жилые здания 17–25 этажей				
	2,4	3,9	2,0	2,0	4,1
	ВЖЗ >25 этажей				
	0	14,3	0	0	0

В работе [16] значение составляет $R_2 = 12,8$ для многоквартирных жилых домов в городах за отчетный период с 2008 по 2013 гг., следовательно, среднее значение $R_2 = 2,9$ для жилых зданий 17–25 и более этажей меньше в 4,4 раза.

Основным местом возникновения пожаров в зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф 1.3 является мусоропровод – 30 % случаев пожаров, жилые помещения квартир – 14 % [26]. Анализ статистики пожаров в жилом секторе [5–15] показывает, что причины возникновения пожаров в большинстве случаев обусловлены человеческим фактором.

Кроме этого, автором настоящей исследовательской работы был проведен анализ карточек тушения пожаров в многоквартирных жилых зданиях этажностью 25 и более этажей на территории гарнизона г. Москвы с 2005 по 2010 гг. (таблица 1.2).

В среднем в Москве в исследуемых ВЖЗ в год происходит 21 пожар, среднее время свободного развития пожара составляет 9,8 минуты, на отметке выше 75 м – 21,6 минуты, получают травмы 2 чел./год, средний материальный ущерб за год составляет 206 902,3 рублей, а на 1 пожар – 10 043,8 рублей. Обрушений основных несущих конструкций и строительных конструкций ВЖЗ

при пожарах с потерей устойчивости здания или гибелью людей, в том числе и пожарных, за анализируемый период не выявлено.

Таблица 1.2 – Данные анализа карточек тушения пожаров в ВЖЗ в г. Москва

Год	Время свободного горения, мин.	Время свободного горения выше 25 этажа, мин.	Количество пожаров	Количество погибших, чел.	Количество травмированных, чел.	Материальный ущерб, тыс. руб.
2005	8,6	-	21	0	0	432,548
2006	9,2	17,5	21	0	3	125,000
2007	11,2	-	21	0	1	110,050
2008	8,7	-	20	0	0	432,548
2009	9,2	-	22	0	3	20,990
2010	16,3	25,7	19	0	5	120,278
Среднее за год	9,8	21,6	20,6	0	2	206,902

Также анализ распределения количества погибших при пожарах людей в 2013–2017 гг. в РФ показывает, что причина получения травм несовместимых с жизнью в результате обрушения строительных конструкций при пожаре находится в интервале от 7 до 15 случаев в год, что составляет в среднем 0,1 % от всех причин гибели людей. Сопоставима данная причина с гибелью людей при пожарах в результате падения с высоты и отравлением алкоголем в сочетании с причинами, связанными с пожарами [15].

Анализ причин гибели людей на пожарах с 2012 – 2016 гг. в нашей стране показывает (рисунок 1.11), что основными причинами являются: отравление токсичными продуктами горения при пожаре (68%) и воздействие высокой температуры при пожаре (5%), а также неустановленные причины (20%).

В РФ за последние 15 лет [5–15] в среднем в ВЖЗ происходит 23 пожара в год и погибает 1 человек. Но периодически происходят катастрофические пожары с большим количеством погибших и пострадавших, в том числе и пожарных, что приводит к значительному материальному ущербу и серьезному общественному резонансу (таблица 1.3). Такие пожары требуют привлечения значительных сил и средств по наивысшим рангам (номерам) пожара.



Рисунок 1.11 – Среднее количество погибших в зависимости от причин гибели зданий этажностью 17–25 и более 25 этажей в РФ (2002–2016 гг.)

Таблица 1.3 – Примеры пожаров в ВЖЗ в РФ и за рубежом

Место и дата пожара	Последствия пожара
Токио (Япония) 24.08.1989 г.	Пожар в 24-этажном жилом доме. Причина – короткое замыкание. Жителей дома спасли с помощью вертолета.
Москва (РФ) 29.03.1993 г.	Пожар в 25-этажном жилом доме. Погибло 5 человек. Пострадало 11 пожарных. Спасено 18 человек.
Оттава (Канада) 31.01.1997 г.	Пожар в 25-этажном жилом доме. Источник зажигания в квартире на 6 этаже. Пожар распространился в коридор. Большинство людей (83%) начали эвакуацию, в то время как некоторые (17%) решили остаться в своих квартирах. 4 эвакуировавшимся потребовалась медицинская помощь после отравления продуктами горения, у двоих случился сердечный приступ, один из них умер спустя 10 дней после пожара.
Нью-Йорк, о. Манхеттен. (США) Декабрь 1998 г.	Пожар в 51-этажном жилом здании. Возгорание на 19 этаже началось от электрооборудования в жилом помещении. На пожаре от отравления продуктами сгорания погибло 4 человека на лестничной клетке между 27 и 29 этажами. 20 человек, включая 4 пожарных, получили легкие травмы. На тушение пожара было привлечено около 200 пожарных.

Продолжение таблицы 1.3

Хьюстон (США) октябрь 2001 г.	Пожар в 40-этажном жилом комплексе начался в одной из квартир на 5 этаже и быстро распространился за ее пределы. Несколько пожарных и жильцов пострадали.
Гонконг (Китай) октябрь 2002 г.	Пожар в квартире ВЖЗ. Погибло 2 человека, пострадало 18 человек.
Москва (РФ) 12.05.2003 г.	Пожар в строящемся жилом высотном комплексе «Алые паруса» произошел в подземной трехуровневой автостоянке в помещении склада со стройматериалами. От угарного газа погибли 10 строителей, 1 пострадал.
Москва (РФ) 18.11.2006 г.	Пожар в 25-этажном жилом доме в квартире на 25 этаже. Погибло 4 человека; 10 спасено, 5 пострадало. 58 человек эвакуировалось.
Москва, б-р Яна Райниса (РФ) 06.05.2006 г.	Пожар в квартире на 14-м этаже 22-этажного жилого здания. Спасено 16 человек, 20 эвакуировались.
Москва (РФ) Семеновской пл., д.1а, 6.09.2007 г.	На стадии строительства произошел пожар из-за нарушения правил пожарной безопасности при проведении огневых работ. Выгорел фасад с 3–18 этаж.
Москва, ул. 4-я Парковая (РФ) 11.02.2008 г.	Пожар на 30 этаже 36-этажного дома. Пожарным пришлось пешком подниматься к месту пожара без использования лифта для пожарных. На стадии строительства причиной пожара явилось неосторожное обращение с огнем строителями на 30 этаже. Погибло 4 и спасено 20 человек.
Нью-Йорк, Манхэттен (США) 03.2008 г.	Пожар в 26-этажном жилом доме. Возгорание на 3 этаже в одной из квартир. Дым распространился по всему объему здания. Жильцы квартир, расположенных над очагом пожара, были отрезаны от путей эвакуации. Ожидали спасения в квартирах, открыв окна. 45 человек, 30 из них пожарные, нуждались в госпитализации.
Дубай (ОАЭ) 16.12.2008 г.	Пожар, охвативший несколько не примыкающих друг к другу этажей, произошел в одном из строящихся небоскребов в новом элитном районе «Business Bay» в Дубае. Более 60 рабочих, заблокированных огнем на верхних этажах горящего здания, были благополучно спасены. Пострадавших и погибших нет. По счастливому стечению обстоятельств, подавляющее большинство рабочих на момент возгорания находились вне пределов здания, поскольку происходила передача смены. Пожар охватил здание, находящееся за отелем «Metropolitan Hotel», около 9 часов вечера. Возгорание произошло сразу на трех независимых друг от друга этажах, 21, 23 и 3-м. Пожарным бригадам удалось взять огонь под контроль: в течение получаса и уже после половины десятого вечера они занялись проверкой территории и проливкой этажей, во избежание повторного возгорания.
Москва (РФ) 25.01.2013 г.	Пожар в 8-микомнатной квартире на 15-ом этаже элитного жилого дома «Триумф-Палас». Площадь пожара – 30 м ² . Погиб 1 человек. Пожарные оперативно ликвидировали пожар. Сигнал о пожаре поступил на «пульт 01» примерно в 18:30 и уже к 19:15 был потушен.
Дубай (ОАЭ) 31.12.2015 г.	Пожар в небоскребе «Adress Downtown». С 20-го этажа здания распространился по всей высоте 63-этажного ВЗ. На землю падали обломки сгоревших фасадных конструкций. Пострадали 14 человек, у 1 из них во время эвакуации произошел сердечный приступ.

Окончание таблицы 1.3

Эмират Шарджа (ОАЭ) 01.10.2015	Пожар охватил практически все этажи сверху донизу по фасадам строящееся ВЗ.
Эмират Аджман 28.03.2016 г.	Пожар в многоэтажном жилом комплексе «Ajman One Towers». Высота каждого – от 25 до 30 этажей. Первое здание было объято огнем полностью, у второго – пожар распространился на 4 этажа и охватил три ВЗ комплекса – под номерами 6, 7 и 8. Жители горевших и близлежащих зданий своевременно эвакуировались. В результате пожара погибших нет, пострадали 5 человек. Одна беременная женщина была доставлена в больницу.
Тегеран (Иран) 19.01.2017 г.	17-этажное здание «Plasco» было полностью охвачено огнем и обрушилось. Погибли не менее 30 пожарных, травмированы не менее 75 человек. Наибольшая интенсивность пожара на верхних этажах. В отдельных сообщениях говорится о внезапном взрыве и расплавившихся стальных конструкциях. В здании размещались магазины, мастерские по пошиву одежды и офисы.
Лондон (Великобритания), 14 июня 2017 г.	Пожар в многоэтажном жилом доме «Grenfell Tower». Очаг пожара находился на 4-м этаже. Огнем охвачено со 2-го по 27 этажи здания (до покрытия). Задействованы около 40 пожарных машин и 200 пожарных, пострадало 74 человека, не менее 17 погибло, десятки числятся пропавшими без вести. Доступ оперативных подразделений ограничен из-за трудности подъезда к зданию. Существовал риск обрушения здания. Пожар продлился более 4 часов, отдельные очаги пожара тушили до суток. В момент возникновения пожара в здании, по оценкам специалистов, находилось до 600 человек.

Исследование реального пожара, произошедшего 14 июня 2017 года в ВЖЗ «Grenfell Tower» в Лондоне, показало, что принимаемых требуемых пределов огнестойкости для основных железобетонных несущих конструкций здания по несущей способности в 90 минут вполне хватило. Здание не потеряло своей устойчивости при развитии пожара практически на всю высоту здания и продолжительности развитой части пожара более 4-х часов (рисунок 1.12).

Анализ наиболее крупных пожаров в ВЖЗ показал ряд особенностей их пожарной опасности:

- возможность быстрого развития пожара и ОФП в объеме здания по коммуникациям и фасадам здания;
- сложность тушения пожаров (связанная с трудностями доступа пожарных подразделений в высотную часть зданий при невозможности использования

лифтов для пожарных и подачи средств тушения, особенно на стадии строительства);

– продолжительное время эвакуации и спасения людей.



Рисунок 1.12 – Пожар в многоэтажном жилом доме «Grenfell Tower»
г. Лондон, 14 июня 2017 г.:

а – развитая часть пожара; *б* – тушение пожара; *в* – после пожара

Можно сформулировать следующие основные выводы, которые должны быть учтены и решены на всех стадиях существования ВЖЗ в дальнейших исследованиях:

1. Следует обеспечивать огнестойкость основных несущих конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей (способных самостоятельно эвакуироваться), спасения МГН (инвалидов-колясочников), немобильных и пострадавших людей.

2. Должна быть обеспечена огнестойкость основных несущих конструкций в течение времени, необходимого для обеспечения деятельности пожарных подразделений по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ (АСР).

3. Необходимо организовать исследования по влиянию на температурные режимы пожара и поведение основных несущих конструкций от воздействия на них огнетушащих веществ при введении пожарных стволов.

4. Необходимо повысить надежность активных СППЗ и осуществление надлежащей их эксплуатации.

5. Обеспечить нераспространение пожара за пределы квартиры ВЖЗ в системе планировочных решений, что предусматривается за счет противопожарных преград с соответствующим заполнением проемов противопожарными дверьми и тамбур-шлюзами с дренчерными завесами автоматических установок пожаротушения (АУПТ).

6. Ограничить распространение пожара по фасаду ВЖЗ, что обеспечивается за счет применения огнестойкого остекления либо типа триплекс в оконных проемах с дренчерными завесами, либо их спринклерным орошением. Деление ВЖЗ на пожарные отсеки по высоте не всегда эффективно. Причины кроются в использовании в качестве утеплителей фальсифицированных материалов с высокой пожарной опасностью, применении в качестве облицовки композитных панелей с алюминиевой обшивкой и слоем гидроизоляции из полиэтилена и высоким его содержанием.

7. Невозможность использовать лифты для пожарных, и внутренний пожарный водопровод (ВПВ) значительно увеличивает время разворачивания сил и средств пожарных подразделений.

8. Повышенная необходимость использования внутренних активных СППЗ, систем видеонаблюдения и других систем пожарными подразделениями при пожаре и его тушении.

9. Необходимость ухода от продолжительного разворачивания магистральных рукавных линий по вертикали ВЗ и поиск новых схем и способов разворачивания сил и средств пожарных подразделений.

10. Возможны единичные случаи потери огнестойкости ВЗ (потери устойчивости здания, его обрушения) из металлических основных несущих конструкций и при террористических актах, при «комбинированных особых воздействиях» с участием пожара.

11. Необходимость комплексного подхода оценки пожарной опасности ВЖЗ при определении и назначении требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций.

1.2 Проблемы обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий и определения требуемых пределов огнестойкости их основных несущих конструкций

Существенным препятствием в развитии высотного строительства в РФ является отсутствие норм проектирования в области пожарной безопасности, создание которых продолжается и сейчас. Однако многообразие и зачастую уникальность ВЗ требует наличия нескольких нормативных документов, таких, как [27]:

- нормы проектирования для ВЖЗ;
- нормы проектирования для общественных ВЗ и сооружений;
- нормы проектирования для многофункциональных ВЗ и комплексов.

С момента возведения первого ВЖЗ в РФ выстроены сотни подобных зданий. При этом проблемы в области обеспечения пожарной безопасности остаются. Главной причиной отставания нормотворчества в области обеспечения пожарной безопасности ВЖЗ является недостаток в проведении натуральных крупномасштабных огневых испытаний при проведении исследований. Нормы зачастую опираются на опыт и авторитет экспертов, часто переписываются из других нормативных документов.

Остаются нерешенными следующие проблемы технического характера:

1. Пределы огнестойкости основного несущего каркаса ВЖЗ должны устанавливаться с учетом многочисленных факторов и прежде всего пожарной нагрузки в современных квартирах и встроенных нежилых помещениях, геометрических показателей размеров в плане, времени разворачивания сил и средств пожарных подразделений и времени подачи первого ствола. Решению данной проблемы будет посвящено настоящее исследование. Согласно

работе [28], предусматривается увеличение пределов огнестойкости несущих конструкций в зданиях высотой до 100 м – не менее REI 180 (R 180), в зданиях высотой более 100 м не менее REI 240 (R 240), что, по мнению многих авторов [27, 29–33], нерационально и носит чрезмерный запас.

2. Проблемы обеспечения подъездов для пожарных автомобилей к ВЗ и доступа пожарных на этажи зданий.

3. Проблемы неизученности времени подготовки и начала эвакуации, особенно в ночное время, а также усталость МГН (групп мобильности М1–М3) ввиду протяженности путей эвакуации по незадымляемым лестничным клеткам в ВЖЗ.

4. Проблема совместной работы систем механической противодымной вентиляции (ПДВ).

5. Проблема применения вентилируемых фасадов. Попытки внедрения не огнестойких алюминиевых конструкций, горючих и трудногорючих материалов привели к значительному материальному ущербу и последствиям, что подтверждает анализ реальных произошедших пожаров в нашей стране.

6. Проблема устройства пунктов пожаротушения с запасом пожарно-технического вооружения (ПТВ) для нужд пожарных подразделений, как правило, на технических этажах.

7. Организационно-правовые проблемы. Необходимо установить в законодательном порядке ответственность владельцев квартир (квартиросъемщиков) за сохранность систем пожарной автоматики, расположенной в квартире. Также повышение ответственности управляющих компаний и обслуживающих организаций за СППЗ. В данном разделе перечислены основные проблемы обеспечения пожарной безопасности ВЗ, но далеко не все (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Проблемы обеспечения пожарной безопасности ВЖЗ

Наиболее значимым и актуальным направлением исследования является обоснование требуемой огнестойкости конструкций несущего каркаса ВЖЗ – базового элемента системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ).

Проблема оценки огнестойкости ЗиС с учетом проходящих изменений в техническом регулировании в области пожарной безопасности, появления новых строительных материалов, конструктивно-планировочных решений и строительства уникальных многофункциональных ВЗ и комплексов является в нашей стране весьма актуальной [34].

ЗиС должны быть спроектированы и построены таким образом, чтобы соблюдались следующие требования [35]:

- сохранение устойчивости ЗиС, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и выполнения других действий, направленных на сокращение ущерба от пожара;

- эвакуация людей (с учетом особенностей инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения) в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия ОФП;

- возможность доступа личного состава подразделений пожарной охраны и доставки средств пожаротушения в любое помещение ЗиС;

- возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара;

- возможность проведения мероприятий по спасению людей и сокращению наносимого пожаром ущерба имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

В работах [36–38] особое внимание обращено на то, что обеспечение огнестойкости ЗиС при комбинированных особых воздействиях с участием пожара является базовым элементом СОПБ, а также системы обеспечения комплексной безопасности объектов. Таким образом, время сопротивления

конструкций здания ОФП – это главный показатель, обеспечивающий пожарную безопасность объектов.

Для установления соответствия огнестойкости ЗиС требованиям пожарной безопасности используется понятие «фактическая степень огнестойкости» и «требуемая степень огнестойкости». Фактическая степень огнестойкости здания определяется пределами огнестойкости его основных конструкций. Требуемая степень огнестойкости характеризует такую степень огнестойкости здания, которую требуют нормы проектирования для удовлетворения условиям пожарной безопасности объекта.

В настоящее время требуемые пределы огнестойкости приводятся в табличной форме для различных классов функциональной пожарной опасности в СП 2.13130 [39], нормативном документе добровольного применения. Возможно, в недалеком будущем требуемые пределы огнестойкости будут определяться и назначаться не только по табличным данным, но и расчетными методами.

Показателями, которые учитываются при определении требуемой степени огнестойкости для ЗиС различного назначения согласно СП [39], являются: класс функциональной пожарной опасности, высота здания и число этажей, площадь этажа в пределах пожарного отсека или пожарного отсека, категория здания по взрывопожарной и пожарной опасности и в некоторых случаях проектная вместимость людей в них.

В работе [34], по мнению В.М. Ройтмана, на основе опыта инженерных оценок огнестойкости встает ряд проблемных вопросов, которые подтверждаются анализом работ [29–33, 40] и совпадают с точкой зрения автора настоящей исследовательской работы:

1. Целесообразность применения такой характеристики, используемой при определении требуемой степени огнестойкости как «класс конструктивной опасности здания».

Класс конструктивной пожарной опасности при проектировании ЗиС задается инженерами-конструкторами в зависимости от класса функциональной пожарной опасности, этажности, степени ответственности и других показателей.

2. Проблема нормирования требуемых пределов огнестойкости конструкций ЗиС.

В этой области наблюдается в ряде случаев необоснованное назначение величин минимальных пределов огнестойкости для строительных конструкций, противоречащее физическому смыслу понятия «предел огнестойкости».

Например, при назначении особых требований к огнестойкости ВЗ [28] рекомендуется для зданий высотой более 100 м увеличивать предел огнестойкости основных конструкций до 4 часов (240 мин). Данное требование представляется избыточным [27, 29, 38], приводящим к сложностям при проектировании и строительстве ВЗ, то есть несущие конструкции при стандартном испытании на огнестойкость должны сопротивляться тепловому воздействию в течение 4-х часов.

Это соответствует пожарной нагрузке в помещениях в эквиваленте древесины гораздо более высокой, чем 200 кг/м^2 в пределах этажа пожарного отсека (рисунок 1.14). Это превышает возможные реальные и допустимые значения пожарной нагрузки в помещениях ВЖЗ. В ранее действовавших нормативных документах по ВЗ [48–54] пожарная нагрузка ограничивалась в 50 кг/м^2 . В связи с этим представляется возможным ограничить требования норм к максимальным требуемым пределам огнестойкости конструкций ВЗ величиной R180 (3 часа) [38].

3. Проблема с единой базой данных о фактических пределах огнестойкости строительных конструкций по результатам огневых стандартных испытаний.

Последний вариант такого рода пособия был издан в 1985 году [41] и нуждается в обновлении, дополнении и переиздании.

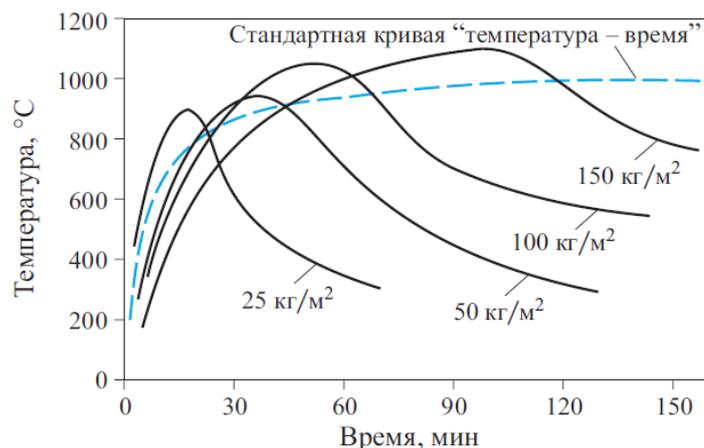


Рисунок 1.14 – Влияние количества пожарной нагрузки в помещении на продолжительность пожара в сравнении со стандартным температурным режимом [29]

4. Проблема оценки огнестойкости эксплуатируемых и реконструируемых ЗИС [42].

Во время эксплуатации здания происходит постепенная утрата конструкциями своих эксплуатационных качеств [37], в том числе определенной доли их огнестойкости. До настоящего времени оценка огнестойкости зданий производится на основе данных, полученных при стандартных огневых испытаниях до начала их эксплуатации.

5. Проблема необходимости оценки стойкости строительных конструкций, ЗИС при «комбинированных особых воздействиях с участием пожара» (combined hazardous effect или СНЕ) [38, 43].

Данная проблема возникла после террористических актов 11 сентября 2001 года башен Всемирного торгового центра (ВТЦ). Эти здания утратили свою устойчивость гораздо быстрее: прогрессирующее обрушение Южной башни (ВТЦ-2) произошло через 56 минут, а Северной башни (ВТЦ-1) – через 102 минут после атаки террористов.

7. Проблема проектирования основных несущих конструкций ЗИС различных классов функциональной пожарной опасности с требуемыми нормированными пределами огнестойкости (в том числе и ВЖЗ) на основе компромисса между безопасностью людей и сохранения объекта как

материальной ценности, то есть их оптимальных значений при «объектно-ориентированном нормировании».

Проблема для ВЗ связана с тем, что не увязаны между собой задачи огнестойкости и долговечности, огнесохранности, прогрессирующего обрушения. По каждому показателю требуется, как правило, минимум 2-кратный запас. В связи с этим происходит завышение требуемых пределов огнестойкости ВЗ и ВЖЗ.

Методология определения требуемой и фактической степеней огнестойкости (требуемых и фактических пределов огнестойкости) различных по назначению «нормативных» ЗиС противоположна и зависит от следующих факторов (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Методология определения требуемых и фактических пределов огнестойкости ЗиС

Требуемая степень огнестойкости [39] определяется для жилых домов, исходя только из высоты здания и площади этажа в пределах пожарного отсека. На основе степени огнестойкости определяются требуемые пределы огнестойкости конструкций. В настоящее время не входит ни в один нормативный документ и акт понятие требуемого предела огнестойкости [45].

У проектировщиков и других специалистов в области огнестойкости сложилось четкое представление о том, что требуемые пределы огнестойкости – это пределы огнестойкости, определяемые по табличным данным нормативных документов.

Требуемый предел огнестойкости – требование к огнестойкости строительных конструкций, зависящее от условий развития пожара, экономических, социальных и других особенностей конкретного объекта защиты. «Требуемый предел огнестойкости лежит между минимальным и максимальным требованиями по огнестойкости» [45].

Под максимальным требуемым пределом огнестойкости понимают предел огнестойкости, которым должна обладать конструкция, обеспечивающая огнестойкость за все время свободно развивающегося пожара, без учета его тушения и зависит от условий развития пожара. Автор работы [45] отмечает, что использовать конструкции с пределом огнестойкости выше максимального нецелесообразно, прежде всего с экономической точки зрения.

Нет ни в одной из работ определения минимального требуемого предела огнестойкости. Соответственно, исходя от обратного определения максимального требуемого предела огнестойкости, можно сформулировать определение минимального требуемого предела огнестойкости – это предел огнестойкости, которым должна обладать конструкция, обеспечивающая огнестойкость за все время тушения пожара и/или эвакуации (спасения) людей, как первоочередной задачи пожарных подразделений.

Требуемый предел огнестойкости довольно широкое понятие, включающее в себя всю СОПБ объекта защиты. Автором диссертации были осмыслены данные составные элементы, от которых должны определяться

требуемые пределы огнестойкости, и разработана классификация факторов, влияющих на них (рисунок 1.16).

В нормативно-правовом акте [20] указаны минимальные значения требуемых пределов огнестойкости конструкций в зависимости от степени огнестойкости ЗиС [45].



Рисунок 1.16 – Классификация факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости

Для определения «реального» требуемого предела огнестойкости для расчетных сценариев развития пожара необходимо знать время потери огнестойкости строительной конструкции.

Под потерей огнестойкости строительной конструкции автор работы [45] понимает время потери способности конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара и важность понятия для оценки поведения строительных конструкций в условиях «реальных» пожаров.

Для определения максимального значения требуемого предела огнестойкости необходимо определить температурный режим наиболее неблагоприятного сценария развития пожара.

Предел огнестойкости как понятие применяется только к строительным конструкциям, прошедшим стандартные огневые испытания, то есть является фактическим пределом огнестойкости. Стандартный температурный режим описывает только начальную и развитую части пожара, не учитывая стадию затухания пожара.

Проведенные в XX веке научные исследования в разных странах мира, в том числе и в РФ, показывают значительные отличия «реальных» температурных режимов от стандартного, применение которого может привести к завышению требуемых пределов огнестойкости в нормативных документах или занижению в проектах и СТУ [32, 45]. Отсюда следует, что предел огнестойкости конструкций, определенный по стандартной температурной кривой, является условной величиной и характеристикой конструкции, не отражающей его поведение и способность сопротивляться воздействию высоких температур и тепловых потоков в условиях «реальных» пожаров. В связи с этим предел огнестойкости строительных конструкций не дает представления о реальном времени потери огнестойкости несущих конструкций при «реальном» пожаре.

В РФ отсутствуют нормативно-правовые акты или нормативно-технические документы, устанавливающие требуемую степень огнестойкости на «ненормативные» объекты защиты и определяющие требуемые пределы огнестойкости. А также устанавливающие факторы (критерии), на основании которых определялись и принимались требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций «ненормативных» ЗИС.

Недостаточно научных работ, посвященных этой тематике [29, 31–34, 42–45, 69–74, 78, 81, 82, 136, 142–144]. В основном большинство специалистов в РФ ограничивается общими словами и подходами, вытекающими из сложившейся практики.

Требуемые пределы огнестойкости несущих строительных конструкций в РФ в настоящее время принимаются на основе опыта проектирования и определяются директивным методом по нормативным документам [23, 39] и нормативно-правовым актом [20].

Для ВЗ при определении требуемых пределов огнестойкости конструкций принимается допущение, что расчет производится при свободном развитии пожара, тогда как в действительности трудно представить хоть один пожар, который не тушили пожарные подразделения. Действия пожарных подразделений учитываются только при определении требуемых пределов огнестойкости вероятностными методами расчета (подробно раскрыто в разделе 1.4).

Техническая оснащенность пожарных подразделений за последние несколько лет стала намного выше: проводятся исследования и внедряются новые способы и средства тушения пожаров, используются новые внутренние СППЗ ВЗ, которые должны быть задействованы пожарными при тушении пожара.

Учет действий пожарных подразделений при определении требуемых пределов огнестойкости сводится к проблеме определения влияния введенных пожарных стволов пожарными подразделениями на «реальный» температурный режим пожара (отсутствие математических моделей). Также в получении достоверных статистических данных по скоростям движения пожарных при различных схемах развертывания сил и средств в высотную часть ВЗ. Проблеме тушения пожаров в ВЗ, в том числе и жилых, в нашей стране посвящены единицы работ.

Мало изучен вопрос влияния воздействия струй воды на поведение несущих строительных конструкций в условиях пожара. С появлением новых строительных материалов (высокопрочных бетонов, фибробетонов, сплавов высокопрочных сталей) – этот вопрос вообще не изучен. Кроме этого, недостаточно исследован вопрос влияния на «реальные» температурные режимы пожара ветрового воздействия.

Учета высоты многоэтажных жилых зданий и площади этажа в пределах пожарного отсека [39] в нашей стране при определении требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ явно недостаточно.

1.3 Сравнительный анализ требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий в России и за рубежом

В [20, 39] приводится 5 степеней огнестойкости. Еще сравнительно недавно, в нормах для ВЗ и ВЖЗ [49–52] была введена шестая «особая» степень огнестойкости. Просуществовала она лишь несколько лет, и в настоящее время в практике проектирования используется иная терминология – «I степень огнестойкости с повышенными пределами огнестойкости» с пределами огнестойкости REI 150, REI 180 и REI 240. Для ВЖЗ высотой до 100 м применяются требуемые пределы огнестойкости REI 180, более 100 м – REI 240. Данные требования в целом для ВЗ и ВЖЗ носят весьма спорный характер у практических специалистов, проектировщиков и в научных кругах (В.М. Ройтман, Е.А. Мешалкин, Е.Е. Кирюханцев, В.И. Голованов, В.В. Соломонов, И.С. Кузнецова, Д.Г. Пронин, М.В. Гравит и другие). Методом экспертных (аналитических) оценок, изучением научных публикаций и мнений ведущих ученых и специалистов в области огнестойкости в РФ определено, что максимальные значения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ не должны превышать R (REI) 180, в крайних случаях, при соответствующем обосновании – R (REI) 240.

Анализ ранее действующих отечественных нормативных документов и отраслевых стандартов также показывает, что для ВЗ и ВЖЗ ко всем несущим конструкциям (каркасу) назначаются требуемые пределы огнестойкости REI 180, более 100 м – REI 240 только от высоты здания (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Пределы огнестойкости основных несущих конструкций, принимаемые в РФ для ВЗ и ВЖЗ по ранее действующим и отраслевым нормативным документам

Нормативный документ	Наименование конструкции	Предел огнестойкости
МГСН 4.04-94 [48] ТСН 31-304-95 [49]	Несущие стены, внутренние, наружные, противопожарные, колонны	R 240* ч * для зданий высотой более 100 м предел огнестойкости увеличивается на 1 ч.
Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м [50]	Основной несущий каркас	не менее 3 ч 75-100 м – в соответствии с нормами для 1 степени огнестойкости; >100 м – в соответствии с МГСН 4.04-94.
МГСН 4.19-05 [51]	Несущие стены: внутренние, наружные, противопожарные, колонны	не менее 3* ч * для зданий высотой более 100 м предел огнестойкости устанавливается REI (R) 240.
ТСН 31-332-2006 [52]	Несущие элементы здания: стены наружные, стены внутренние, колонны и ригели, связи, элементы перекрытий, участвующие в обеспечении устойчивости и геометрической неизменяемости здания	3* ч * для зданий высотой более 100 м предел огнестойкости устанавливается на 1 ч.
СТО 36554501-006-2006 [53]	Несущие элементы здания: стены, колонны, балки, ригели, фермы, рамы	3* ч * для зданий высотой более 100 м предел огнестойкости устанавливают R 240.
СТО 01422789-001-2009 [54]	Несущие стены, внутренние, наружные, противопожарные, колонны	3* ч * для зданий высотой более 100 м предел огнестойкости устанавливается REI 240. При обосновании и согласовании с УГПН ГУ МЧС России по городу Москве предел огнестойкости может быть принят REI 180, EI 180.

Анализ ранее действовавших отечественных нормативных документов, СТУ и проекта нормативного документа по проектированию и строительству ВЗ и ВЖЗ, а также обобщения итогов деятельности нормативно-технических советов МЧС России показал, что в них применяются три величины требуемых пределов огнестойкости конструкций основного несущего каркаса: REI 150, REI 180 и REI 240 в зависимости от их высоты.

Проведенный анализ требований зарубежных нормативных документов показывает, что максимальный требуемый предел огнестойкости несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ составляет R 180, тогда как в РФ он составляет R 240 (таблица 1.5).

В США после трагедии 2001 года были пересмотрены частично требования к требуемым пределам огнестойкости и введены поправки в нормативные документы, повысив значения пределов огнестойкости для ВЗ с учетом террористических угроз. В настоящее время в соответствии с п. 403.3.1 [55] требуется обеспечивать пределы огнестойкости для несущих конструкций зданий высотой до 128 м – 2 часа, выше 128 м – 3 часа.

Таблица 1.5 – Сравнительный анализ требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций в зарубежных и отечественных нормативных документах

Требования зарубежных норм		Требования отечественных норм	
IBC [54], NFPA 5000 [55] (США)	120 мин – для зданий высотой до 128 м, 180 мин* – для зданий высотой > 128 м (*допускается снижение на 60 мин при устройстве АУПТ)	МГСН 4.04-94 [48], ТСН 31-304-95 [49]	180, 240 мин
The building standard low of Japan 2004 [56] (Япония)	120 мин, 180 мин (*допускается снижение $P_{гр}$ несущих конструкций верхних этажей зданий)	Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м (2002 г.) [50]	180, 240 мин
ТКП 45-3.02-108-2008 (02250) [57] (Белоруссия)	120 мин – для зданий высотой до 100 м), 180 мин* – для зданий высотой > 100 м (*но не менее чем на 30 мин больше расчетного времени эвакуации)	МГСН 4.19-05 [51], ТСН 31-332-2006 [52]	180, 240 мин
Германия [30]	120 мин – для зданий высотой 200 м, 180 мин – для зданий высотой > 200 м	СТО 36554501-006-2006 [53], СТО 01422789-001-2009 [54]	180, 240 мин
Building Regulations 2000 Approved Document B, 2000 ed. Fire safety (Великобритания) [59]	120 мин – для высотных офисов и гостиниц 90 мин - для жилых ВЗ	СП 267.1325800.2016 [24], Проект СП XXX.1325800.2017 [60]	120, 150, 180, 240 мин

В Германии ВЗ делятся на классы. При высоте зданий до 200 м (III класс) предел огнестойкости установлен 2 часа, а свыше 200 м (IV класс) – 3 часа [30].

В Великобритании пределы огнестойкости здания определяются в соответствии с нормативным документом [59], где пределы огнестойкости несущих конструкций должны составлять 2 часа для офисных ВЗ и гостиниц и 1,5 часа для ВЖЗ.

Анализ, проведенный автором, зарубежных норм показывает, что эти значения могут варьироваться. В среднем в РФ значения требуемых пределов огнестойкости для ВЗ и ВЖЗ принимаются в 1,5 раза выше, чем зарубежных нормах. Требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ за рубежом определяются и назначаются в зависимости от высоты здания, наличия АУПТ, от нагрузок на несущие конструкции, расчетного времени эвакуации из здания и функционального назначения здания.

Новые СП для ВЗ [23, 60] позволяют дифференцированно подходить к назначению требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций в зависимости от типа конструкций и от высоты здания.

Проведенный автором анализ 463 заключений к СТУ с 1407 замечаниями нормативно-технических советов Минстроя России и 78 заключений подразделений МЧС России с 122 замечаниями показал, что необоснованность требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ в 3,3 % случаев является причиной отказа в согласовании СТУ (рисунок 1.17) [61].

Действующие нормативные документы по пожарной безопасности в области проектирования и строительства [23,27,39] не устанавливают порядок расчета требуемых пределов огнестойкости ВЖЗ. Нет и апробированных методик расчетов требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций. Это сказывается на назначении требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ в R 240, что приводит к существенному росту нагрузок на основания, фундаменты и сами конструкции, неоправданному повышенному расходу строительных материалов, потере

полезной площади, затруднению в выборе эффективных и современных архитектурных и конструктивных решений и т. п.

Впервые требуемые пределы огнестойкости и 5 степеней огнестойкости появились на основании изучения фактических пределов огнестойкости в Н 102-54 «Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест» [62].

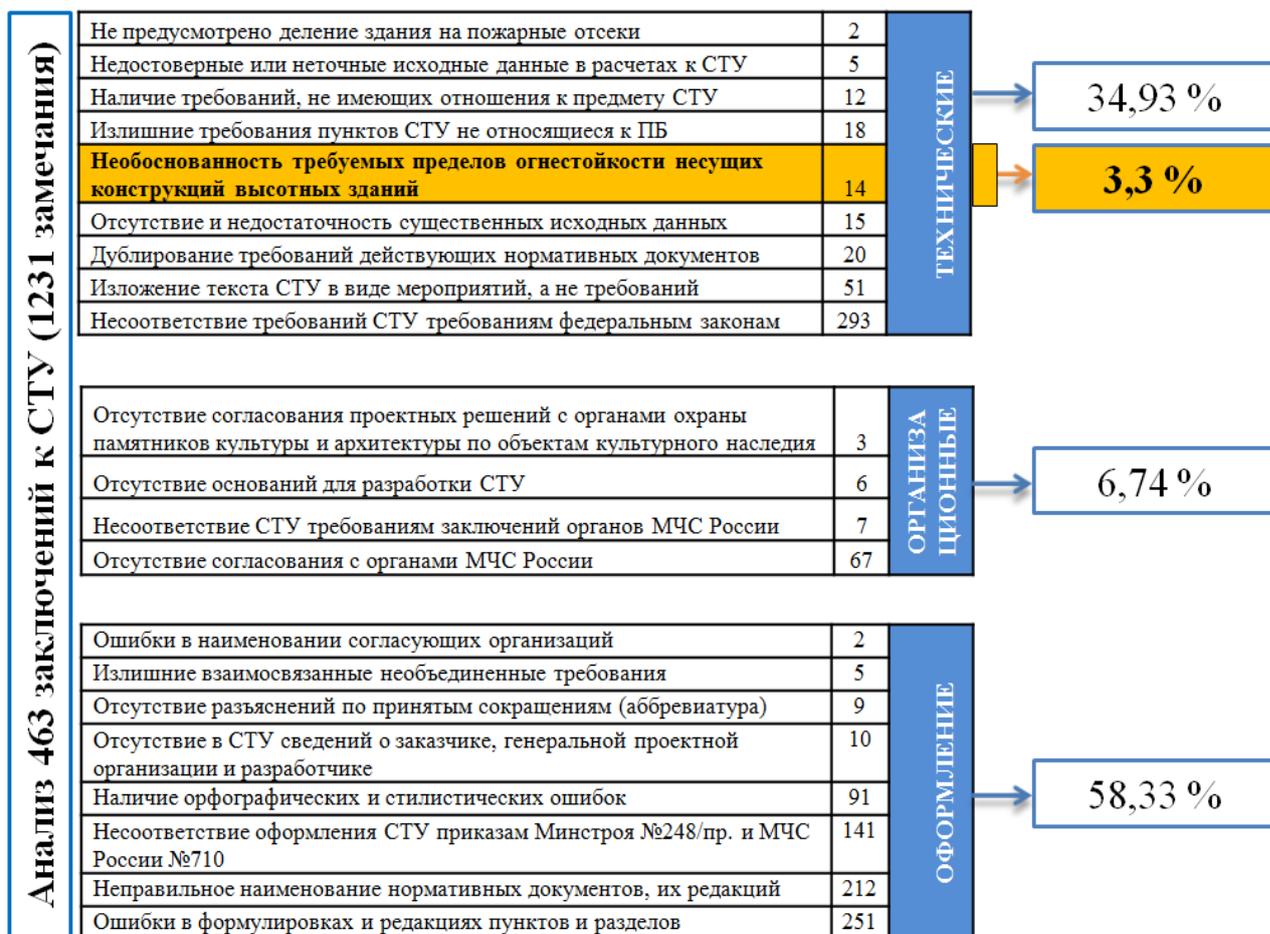


Рисунок 1.17 – Причины отказов в согласовании СТУ

Проведенный автором анализ требуемых пределов огнестойкости (таблица 1.6), указанных в нормативных документах с 1954 года [62–67] и нормативно-правового акта 2008 года [20], показал снижение требуемых пределов огнестойкости за 70 с лишним лет для I – III степеней огнестойкости в 2 – 2,5 раза по каким-то неочевидным естественным причинам (рисунок 1.18).

Таблица 1.6 – Пределы огнестойкости основных несущих конструкций, принимаемые в РФ с 1954 г.

Нормативный документ	Степени огнестойкости		
	I	II	III
	Предел огнестойкости, ч (мин.)		
Н 102-54 [62]	4	3	3
СНиП II-A.5-62 [63]	3	2,5	2
СНиП II-A.5-70 [64]	2,5	2	2
СНиП II-2-80 [65]	2,5	2	2
СНиП 2.01.02-85 [66]	2,5	2	2
СНиП 21-01-97 [67]	2 (R 120)	1,5 (R 90)	0,75 (R 45)
Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [20]	2 (R 120)	1,5 (R 90)	0,75 (R 45)

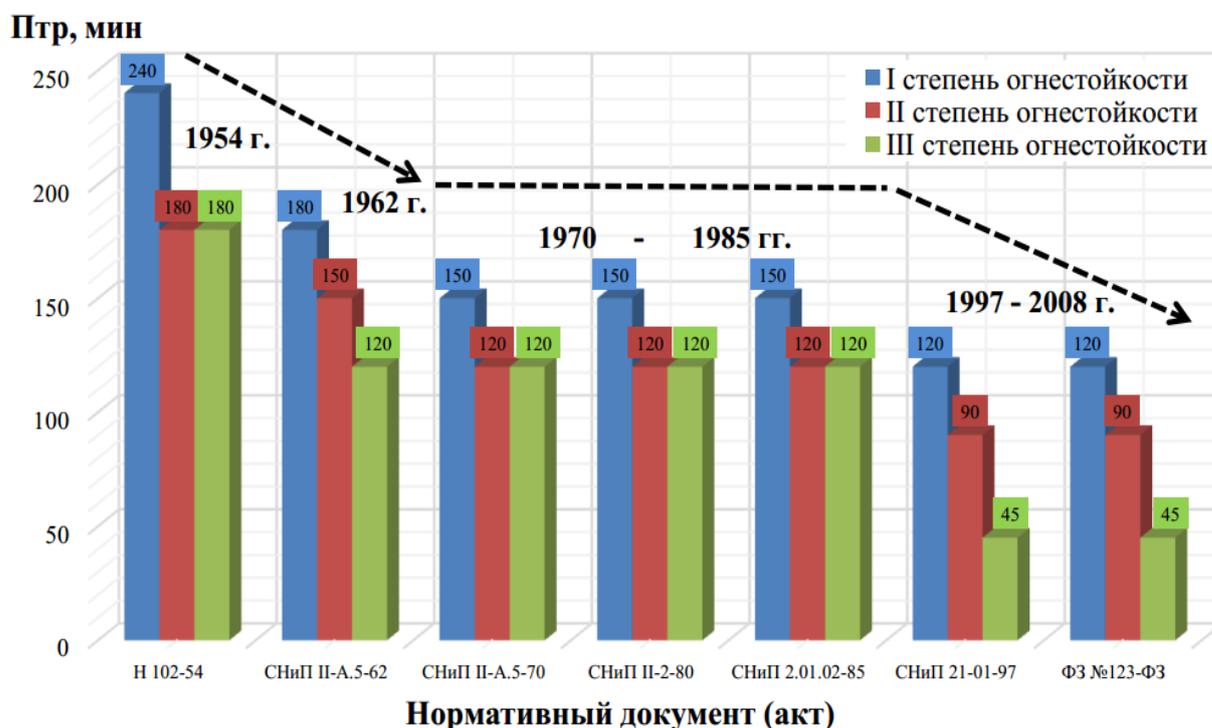


Рисунок 1.18 – Изменение пределов огнестойкости основных несущих конструкций в РФ за 70 лет

Очевидно, что требования к пределам огнестойкости конструкций снизились за исследуемый период. Возможно, в связи с переходом от плановой экономики к рыночной, а также развитием теории и практики научной школы огнестойкости. Данная тенденция принятия и назначения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций с чрезмерным запасом

наблюдается для ВЗ и ВЖЗ. Анализ нормативных требований показывает, что с каждым их изменением величины требуемых пределов огнестойкости конструкций уменьшались.

В советское время требования нормативов были направлены не только на защиту жизни и здоровья людей, но и государственного имущества [68]. Поэтому в нормах значительное место занимали пассивные способы защиты (деление на пожарные отсеки, подъезды, проезды, обеспечение водоснабжения, противопожарные разрывы, ограничение этажности и площади застройки зданий и т. п.).

1.4 Подходы и методы оценки требуемых пределов огнестойкости

Метод определения требуемых пределов огнестойкости по В.И. Мурашеву. Идея расчета требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций $P_{тр}$ с учетом продолжительности пожара $\tau_{пож}$ сформулирована профессором В.И. Мурашевым еще в 1956 году [69, 70]. Требуемый предел огнестойкости по ней определяется по формуле:

$$P_{тр} = K_o \cdot \tau_{пож}, \quad (1.1)$$

где K_o – коэффициент огнестойкости, который учитывает назначение зданий и их требуемую степень огнестойкости, назначение конструктивных элементов, их специфику работы на пожаре. Уже в те годы отмечалось, что численные значения коэффициента огнестойкости не были научно обоснованы. Коэффициент огнестойкости является коэффициентом запаса, который должен гарантировать определенную надежность работы конструкции при пожаре. Так, например, для уникальных зданий, к капитальности которых предъявляются особые требования, коэффициент огнестойкости должен назначаться, исходя из необходимости обеспечения сохранности конструкций и возможности их эксплуатации после пожара.

Не исключалась также возможность при достаточных фактических данных выбора другой схемы определения требуемых пределов огнестойкости,

при которой надобность в коэффициенте запаса (огнестойкости) будет исключена.

Другой показатель данной формулы – $\tau_{\text{пож}}$ – продолжительность пожара, который имеет существенное значение для оценки требуемого предела огнестойкости конструкции. Несмотря на кажущуюся простоту определения продолжительности пожара, вопрос ее определения представляет значительную сложность. При вычисленной пожарной нагрузке N_{Γ} и скорости ее выгорания n продолжительность пожара в помещениях с неограниченным притоком воздуха в зону горения определялась:

$$\tau_{\text{пож}} = \frac{N_{\Gamma}}{zn}, \quad (1.2)$$

где z – коэффициент неполноты горения.

Величина скорости выгорания пожарной нагрузки n зависит от состава продуктов горения, условий их размещения, температурного режима, притока воздуха в зону горения (вентиляции). Скорость выгорания веществ и материалов не является величиной постоянной, а зависит от горючей нагрузки, условий ее размещения, температурного режима и воздухообмена в зоне пожара. Предложенный метод профессором В.И. Мурашевым носит приблизительный оценочный характер и в первую очередь зависит от количественных значений и качественных показателей пожарной нагрузки. Данный метод предопределил дальнейшие направления исследований по расчету требуемых пределов огнестойкости.

Метод определения требуемых пределов огнестойкости по М.Я. Ройтману и В.М. Ройтману. Основу дальнейшего определения требуемых пределов огнестойкости директивным подходом заложил М.Я. Ройтман и продолжил развитие детерминированных методов их оценки [71]. Выбор требуемой степени огнестойкости $Z_{иС}$ зависел от класса конструктивной пожарной опасности и назначения проектируемого здания, категории пожарной опасности (производственные здания), площади, этажности и наличия АУПТ. Основой для выбора требуемой огнестойкости

общественных зданий являлась их вместимость (человек), что уже говорит о некой взаимосвязи времени эвакуации людей и требуемых пределов огнестойкости; для жилых зданий – их размеры, видимо, подразумевались площади этажа и пожарного отсека, высота здания и этажность, что по существу тоже влияет на их вместимость.

При проектировании жилых зданий повышенной этажности требования к огнестойкости несущих конструкций ужесточались. К пределам огнестойкости I степени огнестойкости несущих стен, стен лестничных клеток и колонн принимались на 0,5 часа больше, чем в обычных зданиях той же степени огнестойкости.

Основным недостатком при определении требуемых пределов огнестойкости ранее и в настоящее время является недостаточный учет возможностей и действий подразделений пожарной охраны, а также учет внутренних СППЗ. При прогнозировании вероятных пожаров и их распространении в объеме квартир, этажей и пожарных отсеков не учитываются возможности пожарных подразделений. В случаях, когда сил и средств для тушения окажется недостаточно, пожар может нанести огромный ущерб. При достаточном количестве сил и средств и быстром введении первых пожарных стволов пожар не примет развитую форму, то есть требуемые пределы огнестойкости конструкций могут быть пересмотрены в сторону уменьшения в тех случаях, когда это обосновывается реальными возможностями пожарной охраны [72].

Расчетная формула для определения продолжительности пожара твердых материалов без учета его тушения в ЗиС при линейном распространении определялась:

$$\tau_{\text{пож}} = K_0 \left[\frac{N}{Z\beta_c V_M} + \frac{l(\text{или } D)}{2V_L} \right], \quad (1.3)$$

где V_M – массовая скорость выгорания веществ; Z – теплота сгорания (коэффициент недожога); β_c – коэффициент изменения массовой скорости горения; Q_H – низшая теплота сгорания веществ на пожаре; l – ширина и длина

помещения; D – диаметр круга, равный длине помещения; $V_{л}$ – линейная скорость распространения пожара. Требуемые пределы огнестойкости ($\Pi_{тр}$) приравнивались продолжительности пожара ($\tau_{пож}$).

Требуемый предел огнестойкости конструкций для случая, когда пожар тушится, по мнению автора диссертации, с учетом глубины тушения при использовании ручных пожарных стволов ($l_{туш}$) принимает вид:

$$\Pi_{тр} = K_0 \left[\frac{N}{z\beta_c V_M} + \frac{l(\text{или } D) - l_{туш}}{2V_{л}} \right], \quad (1.4)$$

Оценка продолжительности пожара имеет существенное значение для анализа проведения строительных конструкций в условиях «реального» пожара, расчета их требуемых пределов огнестойкости и дальнейшего выбора активных СППЗ, что отражено в последующих работах В.М. Ройтмана [29, 34, 37, 38, 42, 43].

В работе [73] рассматриваются три случая определения продолжительности пожара:

I. Свободное развитие пожара, когда не вводятся силы и средства для его тушения.

II. С учетом тушения пожара (рассмотрены производственные и складские ЗиС).

III. С учетом приведения продолжительности «реального» пожара к продолжительности стандартного температурного режима.

Авторы работы [73] считают, что нормируемые числовые значения требуемых пределов огнестойкости конструкций лишь косвенно и недостаточно зависят от факторов, которые определяют температурный режим и продолжительность возможного пожара. Не в полной мере учитываются такие факторы, как наличие и эффективность АУПТ, совсем не учитывается время прибытия и возможности подразделений пожарной охраны, недостаточно полно учитывают величину пожарной нагрузки и вид горючих материалов, фактическую площадь горения и отличие «реальных» температурных режимов пожара от стандартного.

Расчетная продолжительность горения с учетом тушения в [73] равна:

$$\tau_{\text{пож}} = \tau_{\text{н}} + \Delta\tau_{\text{о}}, \quad (1.5)$$

где $\tau_{\text{н}}$ – нормативное время тушения пожара (представлено значение только для производственных помещений); $\Delta\tau_{\text{о}}$ – время свободного развития пожара.

Принималось, что оптимальной технико-экономической величиной нормативного времени тушения $\tau_{\text{н}}$ для производственных зданий является 10–20 минут. Однако для каждого вида зданий величина $\tau_{\text{н}}$ должна быть обоснована специальными исследованиями и практикой пожаротушения. Для ВЖЗ величина $\tau_{\text{н}}$ не установлена, недостаточно и статистических данных по времени тушения пожаров в них.

Время свободного развития пожара $\Delta\tau_{\text{о}}$ в первом приближении следовало принимать 10 минут при наличии в горящем здании АУПТ или охране здания объектовой пожарной командой, 15 минут – в городах, 30 минут – в сельской местности.

При отсутствии нормативного времени тушения $\tau_{\text{н}}$ продолжительность пожара с учетом его тушения складывается из времени свободного развития пожара $\Delta\tau_{\text{о}}$ и времени его тушения $\tau_{\text{туш}}$:

$$\tau_{\text{пож}} = \tau_{\text{туш}} + \tau_{\text{св.р}}, \quad (1.6)$$

где $\tau_{\text{туш}}$ – время тушения пожара; $\tau_{\text{св.р}}$ – время свободного развития пожара.

Наиболее общим случаем является расчет требуемых пределов огнестойкости, который учитывает влияние средств тушения на продолжительность пожара. Расчет пределов огнестойкости с учетом тушения является необходимым во всех случаях для эксплуатируемых ЗиС, когда наименьший предел огнестойкости одной из несущих конструкций заведомо меньше свободной продолжительности горения на пожаре. Учет всей продолжительности пожара с учетом тушения пожара может понести за собой как занижение, так и завышение требуемых пределов огнестойкости несущих

конструкций. Например, когда тушение пожара в ВЖЗ превышает 5–6 часов при распространении пожара по фасаду здания.

Формула расчета требуемых пределов огнестойкости с учетом приведения продолжительности «реального» пожара к продолжительности стандартных огневых испытаний имеет вид:

$$P_{\text{тр}} = K_0 \left(\frac{\omega_1}{440} \right)^{0,87}, \quad (1.7)$$

где ω_1 – площадь между «реальной» температурной кривой и осями координат «реального» пожара; ω_2 – площадь между «стандартной» кривой и осями координат (рисунок 1.19).

В случае равенства $\omega_1 = \omega_2$ допускается, что воздействие на строительные конструкции «реального» и «стандартного» пожаров одинаково.

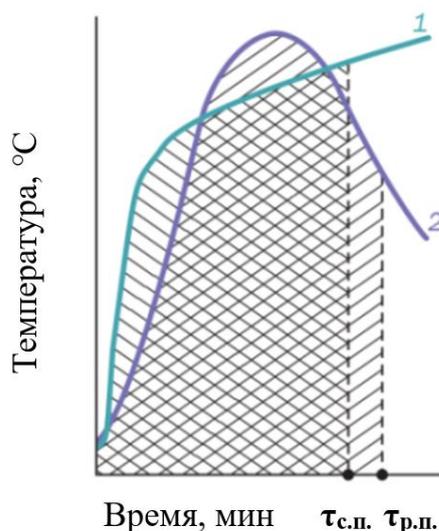


Рисунок 1.19 – Принципиальная схема оценки эквивалентной длительности «стандартного» пожара относительно «реального» на основе концепции равенства площадей [82]:

- 1 – температурная кривая «стандартного» пожара;
- 2 – температурная кривая «реального» пожара; $\tau_{\text{с.п.}}$ – время «стандартного» пожара, эквивалентное времени «реального» пожара $\tau_{\text{р.п.}}$.

В работе [73] температура воздушной среды принимается равной 600 °С, так как основные несущие конструкции практически не реагируют на более низкие температуры и, следовательно, их эффектом пренебрегают, проводя перпендикулярную прямую к оси ординат (температуры).

Дальнейшим этапом развития теории расчетов требуемых пределов

огнестойкости является введение и использование вместо продолжительности пожара $t_{\text{пож}}$ эквивалентной продолжительности пожара $t_{\text{экв}}$ [74–76] и авторами разработчиками нормативных документов [77–81].

Пределы огнестойкости устанавливаются на основе определения эквивалентной продолжительности пожаров и коэффициента огнестойкости. Коэффициент огнестойкости рассчитывают в зависимости от заданной предельной вероятности отказов конструкций в условиях «реальных» пожаров.

Требуемый предел огнестойкости (t_0 , аналогично $\Pi_{\text{тр}}$) рассчитывают по формуле:

$$t_0 = K_0 \cdot t_3, \quad (1.8)$$

где t_0 – требуемый предел огнестойкости; K_0 – коэффициент огнестойкости; t_3 – эквивалентная продолжительность пожара ($\Pi_{\text{экв}}$; $t_{\text{экв}}$).

Существуют различные толкования понятия «эквивалентная продолжительность пожара», которое нашло свое отражение в нормативных документах РФ и Европы и принципиально ничем не отличаются [39, 45, 78, 79]. Введение понятия «эквивалентная продолжительность пожара» позволяет связать воздействие на конструкции при стандартных испытаниях и «реальные» пожары [45]. То есть: «Время стандартного испытания будет эквивалентно времени «реального» пожара, если последствия их воздействия на конструкцию будут одинаковы». Эквивалентная продолжительность пожара определяется по моменту потери несущей (огнепреграждающей) способности соответствующей конструкции. Для металлических, огнезащищенных металлических, ряда железобетонных изгибаемых элементов с арматурой в растянутой зоне потеря несущей способности может определяться по критическому значению температуры прогрева металлических конструкций или арматуры.

Следовательно, речь идет об оценке значения фактического предела огнестойкости конструкции, подвергаемой воздействию «реального» пожара, но выраженного в единицах «стандартного» пожара [82]. При рассмотрении «реальных» температурных режимов пожаров условие пожарной безопасности

строительной конструкции по огнестойкости выражается в следующем виде без учета коэффициента огнестойкости K_o [45, 82]:

$$P_{\text{экв}} \geq P_{\text{тр}}, \quad (1.9)$$

В работе [82] рассматриваются три концепции к оценке показателя «эквивалентная продолжительность пожара» $P_{\text{экв}}$:

I. Равенства площадей под кривыми «температура – время» у температурных кривых «стандартного» и «реального» пожаров (рисунок 1.19 (наименее точная)).

II. Равенства «критических температур прогрева ключевого элемента конструкции, при прогреве по сравниваемым режимам «реального» и «стандартного» пожаров [45, 82, 85] (ограничивается невозможностью учета вклада в исчерпание огнестойкости конструкции на стадии затухания «реального» пожара, и погрешность данной концепции может достигать 30%).

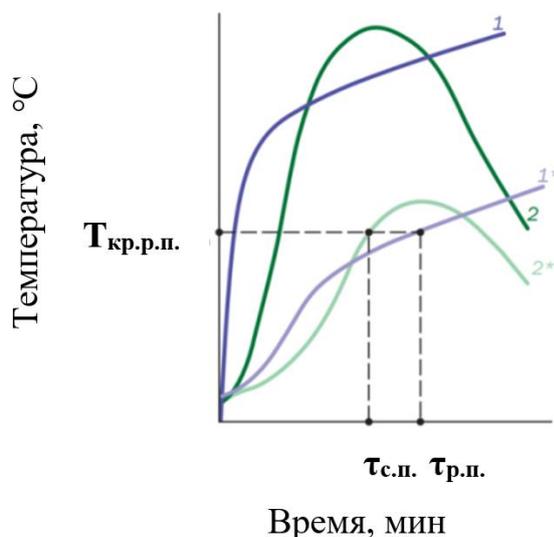


Рисунок 1.20 – Принципиальная схема оценки эквивалентной длительности «стандартного» пожара относительно «реального» при оценках огнестойкости конструкций на основе концепции равенства критических температур прогрева ключевого элемента конструкции [82]:

1 – температурная кривая «стандартного» пожара; 2 – температурная кривая «реального» пожара; 1^* – кривая прогрева ключевого элемента конструкции при «стандартном» пожаре; 2^* – кривая прогрева ключевого элемента конструкции при «реальном» пожаре

III. Равенства израсходованного ресурса огнестойкости конструкции в условиях пожара, при сравнении воздействия режимов «реального» и «стандартного» пожаров [45, 82, 85] (наиболее точная концепция).

Данная концепция формулируется так: «если за время стандартного и реального пожаров будут израсходованы равные доли ресурса огнестойкости, то соответствующие продолжительности сравниваемых режимов пожаров будут эквивалентны» [82].

В качестве параметров, характеризующих долю ресурса огнестойкости, можно использовать значения параметров, отражающих долю израсходованного ресурса огнестойкости не косвенно, а непосредственно: значение несущей способности конструкции Φ , величину деформации ползучести рабочей арматуры конструкции ξ , величину прогиба конструкции f и др.: $\Phi_{с.п.} = \Phi_{р.п.}$, если $f_{с.п.} = f_{р.п.}$, то $\tau_{с.п.}$ эквивалентно $\tau_{р.п.}$, (2) $\tau_{с.п.} = \tau_{р.п.}$.

Наиболее эффективным из рассмотренных подходов оценки «эквивалентной продолжительности пожаров» является кинетический подход, отражающий реальную природу прочности материалов строительных конструкций в условиях воздействия пожара [82].

Метод определения требуемых пределов огнестойкости конструкций (ПО, аналогично $P_{тр}$ и t_0) по И.С. Молчадскому [45]. Сводится метод к определению эквивалентной продолжительности пожара, без коэффициента огнестойкости K_0 :

$$ПО \geq t_{эКВ}. \quad (1.10)$$

Зная эквивалентную продолжительность пожара, можно принять требуемые пределы огнестойкости (ПО) [45]. Если $ПО < t_{эКВ}$, то конструкция потеряет свою огнестойкость.

Для обоснования требуемых пределов огнестойкости необходим правильный и обоснованный подход перехода от различных «реальных» пожаров к единому стандартному температурному режиму. Для перехода обязательным является равенство всех определяющих критериев. Многообразие температурных режимов «реальных» пожаров делает нецелесообразным проведение испытаний по этим режимам.

При этом с развитием пожарной науки и компьютерной техники в скором будущем возможно будет моделировать пожары с высокой степенью

достоверности и точности. Но для этого необходимо проведение в настоящее время натурных огневых испытаний на реальных объектах строительства или их моделях с учетом множества факторов, которые могут повлиять на развитие пожара. На данном этапе развития пожарной науки наиболее точно и правдоподобно моделируются процессы начальной стадии развития пожара. При повышении достоверности математического моделирования всей продолжительности возможных «реальных» пожаров станет возможным принимать требуемые пределы огнестойкости, исходя из продолжительности моделируемого «реального» пожара и влияния их температурного режима на прогрев конструкций (теплотехническую задачу), а также схему работы и условия разрушения (прочностную задачу).

При проведении стандартных огневых испытаний несущих железобетонных конструкций или металлических с огнезащитой испытания проводятся до потери несущей способности вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций R . Испытания останавливаются после того, как конструкция достигла значения требуемого (нормативного) предела огнестойкости. Это вполне логично, так как зачем расходовать топливо, если уже конструкция выполняет нормативные требования. Но при этом реальный предел огнестойкости конструкции может быть значительно выше.

Автором работы [45] сформулирована методика приведения «реальных» пожаров к стандартному режиму, исходя из наступления критической температуры (II концепция определения эквивалентной продолжительности пожара):

1. Рассчитываются температуры прогрева защитных слоев толщинами ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$) в конструкции при воздействии «реального» пожара (рисунок 1.21).

2. По точкам, соответствующим максимальным температурам прогрева слоев, строится кривая зависимости этих температур от толщины защитного слоя (рисунок 1.22).

3. По величине критической температуры $T_{кр}$ определяют толщину защитного слоя $\delta_{пр}$, при которой в условиях «реального» пожара конструкция может потерять свою огнестойкость.

4. Далее по толщине этого защитного слоя расчетом находят предел огнестойкости конструкции, то есть определяют длительность действия стандартного испытания, также разрушающего рассматриваемую конструкцию.

Предел огнестойкости конструкций, работающих на сжатие, например, колонны и несущие стены определяется достижением их несущей способности значений нормативной рабочей нагрузки [86]. Общая процедура расчета прогрева конструкций должна быть дополнена статистическим расчетом изменения прочности конструкций за время возможного пожара в помещении.

Методика расчета несущей способности железобетонных конструкций при «реальном» пожаре [45]:

1. Рассчитывается температурный режим пожара по вычисленной или известной пожарной нагрузке.

2. Прогрев сечения конструкции по методу определения фактического предела огнестойкости для железобетонных конструкций (закон теплообмена выбирается в соответствии с ориентацией конструкции).

3. Расчет несущей способности определяется до тех пор, пока не достигнет максимума среднее значение температуры в сечении конструкции, которое вычисляется по формуле:

$$T_{срmax} = \frac{\sum_{ij}^{MN} T_{ij}}{MN}, \quad (1.11)$$

где T_{ij} – температура в узле ij ; M, N – количество шагов пространственной расчетной сетки сечения колонны в направлениях ij .

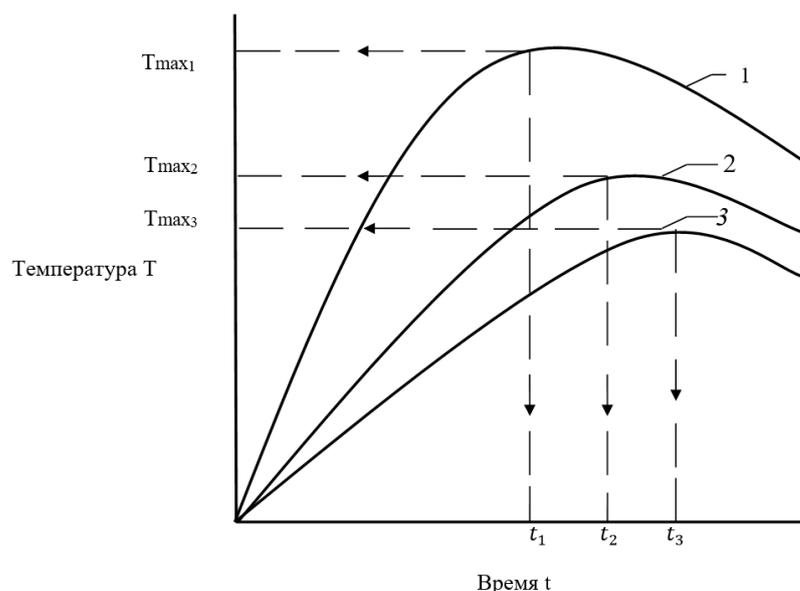


Рисунок 1.21 – Принцип определения максимальных значений температуры по толщине конструкции [45]:

1, 2, 3 – кривые прогрева защитных слоев, соответственно толщиной $\delta_1, \delta_2, \delta_3$;
 t – время прогрева слоев до максимальных значений температур T_{\max}

В затухающей стадии пожара продолжается снижение несущей способности железобетонных сжатых элементов конструкций. Поэтому расчет несущей способности таких конструкций в условиях «реальных» пожаров должен включать в себя, помимо тепловой и статической задачи в развивающейся и развитой стадиях пожара, определение потери несущей способности в затухающей стадии пожара.

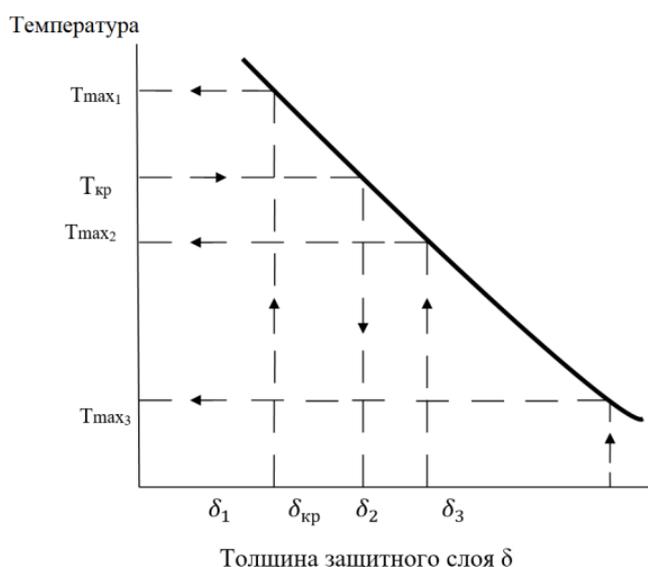


Рисунок 1.22 – Принцип определения критической толщины защитного слоя:

$\delta_{кр}$ – критическая толщина защитного слоя;
 $T_{кр}$ – критическое значение температуры

Реальное время потери огнестойкости конструкции И.С. Молчадским определяется как:

$$t = t_{\text{п}} + t_{\text{НСП}}, \quad (1.12)$$

где $t_{\text{п}}$ – условная продолжительность пожара (ч, мин); $t_{\text{НСП}}$ – продолжительность начальной стадии пожара (ч, мин).

Условная продолжительность пожара ($t_{\text{п}}$) величина приближительная и ориентировочная, которую весьма сомнительно применять для ВЖЗ (для жилых зданий принимается от 0,5 до 1 часа).

Максимальное значение требуемого предела огнестойкости для статически неопределимых конструкций при $t_{\text{п}} = 0,5 - 1$ ч составляет 120 – 180 минут. Начальная стадия пожара $t_{\text{НСП}}$ в 10 – 15 минут для основных несущих конструкций из железобетона или металлических конструкций с огнезащитой из бетона по вносимому вкладу в их прогрев ничтожна мала в виду небольшой мощности пожара.

Для изгибающихся несущих конструкций требуемые пределы огнестойкости ($\text{ПО}_{\text{из}}$) определяются по следующему соотношению:

$$\text{ПО}_{\text{из}} \geq t_{\text{НСП}} + 1,1t_{\text{п}}, \quad (1.13)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий процесс инерционности при нагреве конструкции.

Для сжатых несущих конструкций требуемые пределы огнестойкости ($\text{ПО}_{\text{сж}}$) определяются по следующему соотношению:

$$\text{ПО}_{\text{сж}} \geq t_{\text{НСП}} + t_{\text{п}} + t_{\text{з.п}}, \quad (1.14)$$

где $t_{\text{з.п}}$ – продолжительность затухающей стадии для объемного или локального пожаров.

Стадии развития пожаров в работе [45] определяются графически, по не вполне понятным и обоснованным зависимостям и не могут быть применены для ВЖЗ, температурные режимы в которых отличны.

В работе [32] авторы используют симбиоз методов определения требуемых пределов огнестойкости конструкций с учетом эквивалентной

продолжительности пожара, предложенными в РФ профессором И.С. Молчадским и В.М. Ройтманом. Отмечается перспективность использования компьютерного моделирования «реального» пожара полевым методом при определении эквивалентной продолжительности пожара.

Требуемые пределы огнестойкости по рассмотренным выше подходам и методам определяются с учетом коэффициента огнестойкости K_o , либо без него. В настоящее время еще нельзя говорить о достаточности накопленных данных, необходимых для назначения и обоснования коэффициента огнестойкости K_o . Кроме этого, при анализе литературы выявлено, что существует путаница в терминологии данного коэффициента, например, встречаются следующие его названия: коэффициент безопасности, коэффициент запаса или коэффициент надежности.

Коэффициент огнестойкости K_o в работе [73] является коэффициентом запаса и должен гарантировать надежность сохранения конструкцией своих рабочих функций в течение определенной части пожара либо всей его продолжительности, а для основных несущих конструкций – гарантировать возможность продолжения эксплуатации и после окончания пожара. В отраслевом стандарте [53], пособии к нему [87] и работах профессора А.Ф. Милованова для возможности эксплуатации ЗиС после пожара вводится понятие «огнесохранность». Согласно п. 4.11 [87], «при проектировании многофункциональных высотных зданий, комплексов и сооружений, относящихся к первому ответственному уровню надежности, отказы которых после пожара могут привести к тяжелым экономическим и экологическим последствиям, а также тех конструкций, восстановление которых потребует больших технических сложностей и затрат, необходимо обеспечить их огнесохранность после пожара».

Огнесохранность железобетонной конструкции – такое ее состояние, при котором остаточная прочность или необратимые деформации обеспечивают надежную работу после «стандартного» пожара. Расчет огнесохранности железобетонной конструкции после пожара ведется при расчетных нагрузках и

расчетных сопротивлений бетона и арматуры после огневого воздействия. При проектировании железобетонных конструкций, указанных в пп. 4.11, 11.1 [87], должна быть проверена их огнесохранность после пожара длительностью, эквивалентной пределу огнестойкости конструкции. При этом следует аналитически предусмотреть всевозможные последствия разрушающего воздействия огня на наружные слои бетона и арматуру. Возможно из-за того, что должна быть проверена их огнесохранность после пожара длительностью, эквивалентной пределу огнестойкости конструкции, требуемые пределы огнестойкости для ВЗ и ВЖЗ в РФ принимаются в 2 раза выше, чем за рубежом, согласно анализу их назначения, в нормах и СТУ.

Начиная с сформулированного профессором В.И. Мурашовым принципа определения требуемых пределов огнестойкости 1950 годов и вплоть до начала 2000 годов, коэффициент огнестойкости K_0 принимался без научного обоснования с учетом неопределенности на запас. Запас принимался ввиду недостаточности научных исследований по продолжительности пожара, надежности и совместной работы несущих строительных конструкций при пожаре в различных по назначению зданиях. А также не изученности влияния на коэффициент огнестойкости или взаимосвязи с ним следующих факторов:

- назначения ЗиС (класс функциональной пожарной опасности);
- назначения и вида несущих (горизонтальных и вертикальных) конструктивных элементов, их специфику совместной работы на пожаре под нагрузкой, а также влияние на общую устойчивость ЗиС (анализ и исследование поведения различных конструктивных систем ЗиС);
- капитальности (долговечности);
- огнесохранности и сохранения устойчивости ЗиС после пожара и возможности дальнейшей эксплуатации;
- малой изученности прочностных и теплофизических характеристик новых строительных материалов;
- нагрузок на несущие конструкции;

- малой изученности и сложности достоверного прогнозирования (моделирования) процесса пожара, всей его продолжительности в ЗИС различного назначения;
- малой изученности влияния на пожарную опасность и требуемую степень огнестойкости высоты ЗИС, этажности, вместимости (проектного количества людей), площади пожарного отсека, наличия АУПТ и категорий по взрыво- и пожарной опасности, то есть по сути количества пожарной нагрузки;
- количественных значений пожарной нагрузки ЗИС различных классов функциональной пожарной опасности;
- возможностей оперативных пожарных подразделений (время прибытия, время разворачивания сил и средств, время локализации и ликвидации (тушения) пожара, а также влияния введенных пожарных стволов на «реальный» температурный режим пожара и несущие конструкции).

Не исключается также возможность при достаточных фактических количественных значениях пожарной опасности различных ЗИС, развития системы пожарного страхования в РФ и возможности рисковать своим имуществом собственниками, выбора другого подхода определения требуемых пределов огнестойкости, при котором надобность в коэффициенте огнестойкости будет исключена [72].

В нормативных документах [80, 81, 88] коэффициент огнестойкости K_0 зависит и определяется от характеристики безопасности β , которая зависит от вероятности отказов конструкций при пожаре P_n .

Коэффициент огнестойкости вычисляют по формуле

$$K_0 = 0,527 \cdot \exp(0,36\beta), \quad (1.15)$$

где β – характеристика безопасности, зависящая от величины вероятности отказов конструкций при пожаре – P_n .

Значение предельной вероятности отказа конструкции в условиях пожаров P_n рассчитывают по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{P_{\text{доп}}}{P_0 \cdot (1 - P_A) \cdot (1 - P_{\text{п.о}})}, \quad (1.16)$$

где $P_{\text{доп}}$ – допустимая годовая частота отказов конструкций (вертикальные и горизонтальные несущие конструкции, противопожарные преграды, ригели, перекрытия, фермы, балки, перегородки и прочие строительные конструкции), при этом, про колонны видимо забыли, либо отнесли к прочим строительным конструкциям; P_0 – вероятность возникновения пожара, отнесенная к 1 м² площади помещения; P_A – вероятность выполнения задачи (тушения пожара) АУПТ; $P_{\text{п.о}}$ – вероятность предотвращения развитого пожара силами пожарной охраны.

Для расчета K_o авторами следующих работ [80, 81, 87] предлагается формула и таблица Л.4 стандартов [33, 80, 87]:

$$K_o = 0,415 - 0,4 \log P_{\Pi}, \quad (1.17)$$

Определение коэффициента огнестойкости в зависимости от предельной вероятности отказа конструкции в условиях пожаров имеет под собой хотя бы какое-то научное обоснование вероятностным методом.

Подобный подход к определению коэффициента огнестойкости вероятностным методом предусматривается в британском стандарте [89]. Коэффициент огнестойкости определяют в зависимости от требуемой надежности (вероятности отказа) строительной конструкции для относительных дисперсий расчетного и фактического пределов огнестойкости 0,15.

В качестве коэффициента огнестойкости (запаса) принимается расчетное время эвакуации в ВЗ (приложение Ж [58]). Наибольший предел огнестойкости несущих конструкций составляет REI 180 с примечанием, что предел огнестойкости должен быть не менее чем на 30 минут больше значения расчетного времени эвакуации людей из ВЗ. В принципе, при соответствующем обосновании расчетами, позволяет применять в ВЗ строительные конструкции с пределами огнестойкости значительно меньше 180 минут. Естественно, при

условии минимизации расчетного времени эвакуации людей при пожаре, что предопределяется, в основном, объемно-планировочными решениями эвакуационных путей и выходов [30].

ВЗ должны быть защищены от прогрессирующего обрушения в случае локального разрушения несущих конструкций в результате возникновения аварийных чрезвычайных ситуаций: природных, антропогенных и техногенных.

Основное средство защиты зданий от прогрессирующего обрушения – резервирование прочности несущих элементов, обеспечение несущей способности колонн, ригелей, диафрагм, дисков перекрытий и стыков конструкций; создание неразрезности и непрерывности армирования перекрытий, повышение пластических свойств связей между конструкциями, включение в работу пространственной системы ненесущих элементов.

Все вышеперечисленные меры несомненно влияют в целом на огнестойкость несущих конструкций (каркас) в сторону ее повышения. При этом требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций никак не увязаны с расчетами от прогрессирующего обрушения.

Если допускать при назначении требуемых пределов огнестойкости, что у отдельных несущих конструкций наступает потеря огнестойкости в пределах этажа, как это допускается при расчетах на прогрессирующее обрушение, то необходимо производить статические расчеты поведения всего несущего каркаса ВЗ с перераспределением нагрузок. Меры, направленные против прогрессирующего обрушения, влияют на повышение фактических пределов огнестойкости основных несущих конструкций (каркаса) ВЗ, которые значительно могут превышать их требуемые пределы огнестойкости.

Коэффициент огнестойкости должен учитывать эксплуатационные требования: обеспечение капитальности и долговечности здания. Капитальность зданий характеризуется степенью огнестойкости (предел огнестойкости) и долговечности его основных конструктивных элементов [90].

Требования по капитальности и долговечности предъявляются ко всем зданиям, но с экономической точки зрения качественно они различаются.

Долговечность ЗиС – предельный срок службы ЗиС, в течение, которого они не утрачивают необходимых эксплуатационных качеств. Долговечность ЗиС определяется сроком службы его основных конструкций (например, фундаментов, несущих конструкций или несущего каркаса).

Долговечность – способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы (п. 2.1.3 [91]), тем более, что по положению части 2 статьи 1 [20] выполнение требований пожарной безопасности к ЗиС, в том числе и по обеспечению требуемых пределов огнестойкости, должно осуществляться в течение всей продолжительности эксплуатации вплоть до их сноса (утилизации).

Практических точных инженерных расчетов долговечности ЗиС пока еще не существует. В связи с этим степени долговечности конструкций, указываемые в строительных нормах, условны, усреднены и используются главным образом для экономических предположений. Только с помощью методов конечных элементов возможно рассчитать усталость и ресурс конструкций с трещинами. Стоит отметить, что в процессе эксплуатации ВЖЗ осуществляется мониторинг несущих конструкций с помощью систем мониторинга несущих (инженерных) конструкций (СМИК) [23] и при необходимости их ремонт. Должны быть учтены эксплуатационные особенности применения строительных конструкций: климатические особенности, внутренний микроклимат в здании и изменения, происходящие в структуре материалов.

ВЖЗ относятся к повышенному уровню ответственности, 1 степени долговечности (более 100 лет) и 1 классу капитальности. Класс конструктивной пожарной опасности учитывается и назначается с учетом фактической степени огнестойкости равным С0.

При проектировании, выборе и обосновании безопасности принятых конструктивных решений зданий повышенной ответственности при расчетах принимается запас по коэффициентам надежности по ответственности.

Коэффициенты надежности учитывают возможные неблагоприятные отклонения значений нагрузок, характеристик материалов и расчетной схемы строительного объекта от реальных условий его эксплуатации, а также уровень ответственности строительных объектов (п. 2.2.13 [91]). Вводится 4 типа коэффициентов надежности: коэффициенты надежности по нагрузке Y_f , коэффициенты надежности по материалу Y_m , коэффициенты условий работы Y_d , коэффициенты надежности по ответственности сооружений Y_n . Они учитывают расчетные значения усилий в элементах строительных конструкций и основании ЗиС (статья 16 [35]). Поэтому данные коэффициенты никакого отношения не имеют к коэффициенту огнестойкости K_o . Возникает вопрос в целесообразности применения коэффициента огнестойкости при определении требуемых пределов огнестойкости.

В работе [92] коэффициент безопасности (огнестойкости) строительной конструкции при пожаре определяется из соотношения среднего значения пределов огнестойкости (\bar{t}_{ogi}) и эквивалентной продолжительности пожара $\bar{t}_{экви}$:

$$K_o = \frac{\bar{t}_{ogi}}{\bar{t}_{экви}}. \quad (1.18)$$

Так как вероятность отказов конструкций при пожаре может изменяться в широких пределах при одном и том же коэффициенте безопасности (огнестойкости), то для определения надежности строительных конструкций или вероятности их безотказной работы при пожаре допускается распределение случайных величин $t_{ог}$ и $t_{экви}$ по нормальному закону.

Коэффициент огнестойкости K_o может носить определенный запас и учитывать человеческий фактор, возникающий при строительстве и связанный с отклонениями от технологии строительства (например, использование

меньшего количества вяжущего – бетона, либо более дешевой марки и многие другие).

Если же принимать коэффициент огнестойкости K_o для ВЖЗ, то целесообразно от вероятности отказов конструкций при пожаре, но в отечественной практике отсутствуют необходимые для этого статистические данные. И как показывает проведенный статистический анализ пожаров в ВЖЗ, принимаемых, как правило, в большинстве случаев строительства требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций в 180–240 минут, достаточно, потери несущей способности их и в целом потери устойчивости зданий при пожаре не происходило.

Зарубежный опыт определения и назначения требуемых пределов огнестойкости. При определении необходимых требуемых пределов огнестойкости в западных странах основная концепция состоит в том, что они должны гарантированно обеспечить безопасную эвакуацию людей из здания при пожаре. Проблема сохранения здания как имущественной ценности относится к системе страхования и решается в каждом конкретном случае посредством соглашения между собственником и страховой компанией [30].

По зарубежным нормам, как и по отечественным, требуемая степень огнестойкости для зданий «обычной этажности» определяется в зависимости от их функционального значения, этажности и площади застройки. В некоторых случаях, например, в Великобритании и Швеции, отсутствует пожарная классификация зданий, а нормируется сразу класс огнестойкости всех конструкций помещения или этажа в зависимости от функционального назначения здания, его высоты, площади застройки и объема [93].

В Европе [78] эквивалентная продолжительность «стандартного» пожара (стандартного температурного режима) определяется по формуле, которая, по сути, отражает только продолжительность пожара в зависимости от количества пожарной нагрузки и вентиляции:

$$t_{e,d} = (q_{f,d} k_b w_t) k_c, \quad (1.19)$$

где $q_{f,d}$ – расчетная удельная пожарная нагрузка, которая определяется достаточно оригинально методом Гретенера в зависимости от нормативной пожарной нагрузки ($q_{f,k}$), коэффициента полноты сгорания (m), учета риска возникновения пожара от площади помещения (δ_{q1}) и функционального назначения здания (δ_{q2}) и наличия активных СППЗ (δ_n): АУПС, АУПТ, наличия на объекте пожарной охраны, которые, как правило, направлены на защиту людей: ($q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$);

k_b – коэффициент перерасчета в зависимости от теплотехнических характеристик материалов конструкций;

w_t – коэффициент вентиляции;

k_c – корректировочный коэффициент.

В США существует два основных документа, которыми руководствуются при определении требований к требуемым пределам огнестойкости конструкций несущего каркаса [55, 56]. В обоих документах требования к пределам огнестойкости определяются в зависимости от высотности и этажности здания, групп помещений с применяемой в них пожарной нагрузкой. В отличие от российских 5 степеней огнестойкости зданий с соответствующими им пределами огнестойкости строительных конструкций, в США в обоих рассматриваемых документах применяются 5 типов конструкций, 4 из которых делятся на два подтипа каждый. Указанным типам конструкций соответствуют пределы огнестойкости в часах [93]:

1. Тип конструкций I и II – это конструкции из негорючих материалов, кроме специально разрешенных случаев.

2. Тип конструкций III – это конструкции внешних стен из негорючих материалов и конструкции внутренних элементов здания из любых разрешенных к применению материалов.

3. Тип конструкция IV – это конструкции внешних стен из негорючих материалов и внутренние элементы здания цельной (solid) или слоеной (laminated) древесины без скрытых пространств.

4. Тип конструкций V – это конструкции из любых разрешенных к применению материалов.

В стандарте [94] максимальный предел огнестойкости составляет 120 минут.

Как отмечают авторы работы [95] «...ключевым этапом проектирования пожаробезопасных конструкций является достоверное подтверждение того, что огнестойкость конструкций (или каждого из ее элементов) превышает интенсивность пожара, которому она подвержена. Для этого применяется следующее соотношение, которое должно удовлетворять условию:

$$\text{Огнестойкость} \geq \text{Интенсивность пожара},$$

где огнестойкость – способность обрушению, распространению огня или другим отрицательным последствиям пожара определенной интенсивности; интенсивность пожара – степень разрушительного воздействия пожара и его опасных факторов, а также скорость его воздействия, которые способны привести к обрушению или другим негативным последствиям, вызываемым пожаром».

Основой конструктивно-модельного метода проектирования несущих конструкций зданий является требование, чтобы строительные конструкции могли выдержать температурную нагрузку от самого интенсивного пожара, который может возникнуть в течение срока жизни данного здания. Всеобщая концепция пожарной безопасности в США обеспечивает безопасность людей, гарантируя в то же время необходимую огнестойкость конструкций в реальных условиях пожара в здании.

Подход в Японии [57, 93] к назначению требуемых пределов огнестойкости также оригинален. Требуемые пределы огнестойкости определяются в зависимости от высоты зданий. Для несущих конструкций верхних этажей они ниже, чем для нижних. Это объясняется эвакуацией людей при пожаре и нагрузками на конструкции. В высотной части ВЗ и ВЖЗ, эвакуирующиеся люди при пожаре находятся меньше по времени и нагрузки на

вертикальные несущие конструкции ниже, отсюда требуемые пределы огнестойкости назначаются также с меньшими значениями.

В Белоруссии [58] требуемые пределы огнестойкости принимаются с учетом расчетного времени эвакуации людей из ВЗ.

Подводя итог анализа подходов и методов оценки требуемых пределов огнестойкости можно с уверенностью утверждать, что требуемые пределы огнестойкости – это совокупность требований к огнестойкости строительной конструкции, которые зависят от наиболее неблагоприятных для несущих строительных конструкций «реальных» температурных режимов пожаров в пределах этажа пожарного отсека и их фактических пределов огнестойкости с учетом долговечности ЗиС. Под наиболее «критичным реальным» температурным режимом пожара подразумевается наиболее продолжительный «реальный» пожар с максимально возможными температурами. Сценарий определения данного температурного режима определяется экспертным путем. Но существует проблема в определении множества всевозможных «реальных» температурных режимов пожара в ВЖЗ ввиду влияния множества факторов на процесс пожара и приведения их к одному.

Факторы, влияющие на требуемые пределы огнестойкости ВЖЗ. В работе [33] подтверждается мнение о том, что неясно, как нормативные требования по требуемым пределам огнестойкости отвечают критериям условий развития пожара, экономическим, социальным и другим особенностям различных классов функциональной пожарной опасности.

Согласно проведенного сравнительного анализа определения и назначения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ в отечественных и зарубежных нормах, следует, что в РФ они принимаются в зависимости только от высоты здания, тогда как за рубежом это только один из факторов. За рубежом, например, эти значения могут варьироваться и от других факторов:

- в США допускается снижение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций на 60 минут при АУПТ во всем здании;
- в Японии допускается снижение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций верхних этажей зданий ВЗ;
- в Белоруссии требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций зависят от расчетного времени эвакуации людей из здания;
- в Великобритании в зависимости от функционального назначения здания: например, для ВЖЗ составляют 90 минут.

В основу выбора требуемой огнестойкости зданий за рубежом положена их пожарная опасность, которая, как известно, зависит от вероятности возникновения пожара, количества горючей нагрузки и последствий от возможного пожара.

Безусловно, как показывает анализ реальных пожаров в ВЖЗ, высота здания (как параметр) влияет на четыре основные характеристики, определяющие пожарную опасность здания:

- фактическое время эвакуации людей в целом из здания;
- время спасения МГН из пожаробезопасных зон;
- время подачи пожарными подразделениями первых пожарных стволов к очагу пожара;
- характер развития пожара по фасаду здания и возможное влияние ветра на него внутри здания при вскрытии остекления.

Остальные показатели: пожарная нагрузка, объемно-планировочные решения квартир и этажей зданий, характер развития пожара внутри здания (за исключением случаев принятия огнестойких глухих, не открывающихся окон), в том числе с воздействием активных СППЗ, и другие влияют на все жилые дома независимо от их высоты.

Класс функциональной пожарной опасности не имеет каких-либо количественных или качественных величин, только показывает назначение здания, дает представление о функциональных процессах, проходящих в

здании, количестве людей и как основной показатель не может рассматриваться. Класс конструктивной пожарной опасности для ВЖЗ принимается С0. Площадь этажа в пределах пожарного отсека, как правило, принимается не более 2000 м² и может повлиять только на площадь пожара.

Основным показателем, который должен учитываться при назначении и определении требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций – это пожарная нагрузка (реальная для ВЖЗ, значения которой неизвестны, только в ранее действующих нормах существовало ограничение на их жилые помещения не более 50 кг/м² в эквиваленте на древесину [48, 50]), видимо, по ранним работам жилых зданий обычной этажности. При определении требуемых пределов огнестойкости, например, для производственных ЗИС учитывается категория здания по взрывопожарной опасности, что подтверждает необходимость учета в первую очередь пожарной нагрузки [96].

Ранее в п. 4.1.4 [97] при проектировании допускалось обоснованное увеличение или уменьшение предела огнестойкости противопожарной стены или перегородки, учитывающее величину пожарной нагрузки в помещениях, разделяемых этой стеной или перегородкой, соответственно, при температурном режиме «реального» пожара, а также возможность обеспечения тушения пожара за время достижения предела огнестойкости противопожарной стены.

Кроме этого, с повышением высоты ЗИС увеличивается нагрузка на несущие конструкции, которая снижается на них по высоте здания, то есть, например, нагрузка на колонны или пилоны на нижних этажах ВЗ гораздо выше, чем на верхних этажах.

Обеспечение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций, зависящее от количества пожарной нагрузки в здании и особенностей развития пожара, направлено в первую очередь на сохранение объекта как материальной ценности.

Пожарная безопасность людей (основного контингента людей – проживающих, МГН и пожарных) напрямую зависит от требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций здания и является одним из критериев их оценки. При условии, что пределы огнестойкости основных несущих строительных конструкций превышают расчетное время эвакуации, спасения и ликвидации пожара, требования к дальнейшему повышению огнестойкости здания направлены также на защиту имущества и сохранение самого здания.

В соответствии с п. 23 IV раздела [98], в качестве дополнительного противопожарного мероприятия, предлагается обеспечение нормируемых пределов огнестойкости ограждающих конструкций помещения, в котором находится вероятный очаг пожара. Для детских дошкольных учреждений и спальных корпусов школ-интернатов и интернатов (Ф1.1), школ, учебных корпусов школ-интернатов и интернатов, учреждений начального образования (Ф4.1), а также зданий зрелищных и культурно-просветительных (Ф2.1, Ф2.2) требуемая степень огнестойкости определяется от количества людей [39]. Следовательно, говорить о том, что время эвакуации не взаимосвязано с требуемыми пределами огнестойкости строительных конструкций, нельзя.

Сохранение объекта как материальной ценности – сфера деятельности страховых компаний и решения собственника объекта, то есть, если в случае возникновения пожара на объекте и отсутствия вреда третьим лицам, (распространения пожара на соседние здания) его собственнику дешевле не вкладывать значительную сумму денежных средств в СОПБ объекта и повышение значений требуемых пределов огнестойкости.

Наличие АУПС влияет на время сообщения о пожаре, причем для ВЗ предусматривается вывод сигнала «Пожар» на пульт пожарной охраны, активацию системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ), ПДВ и АУПТ. Активные СППЗ напрямую или косвенно влияют на развитие ОФП («реальные» температурные режимы пожара), время

деятельности пожарных подразделений по тушению пожара, продолжительность пожара, время эвакуации и спасения людей.

По проведенному анализу ранее в главе подходов и методов определения (оценки) требуемых пределов огнестойкости, а также представленным выше доводам следует выделить следующие факторы, влияющие на них (рисунок 1.23).

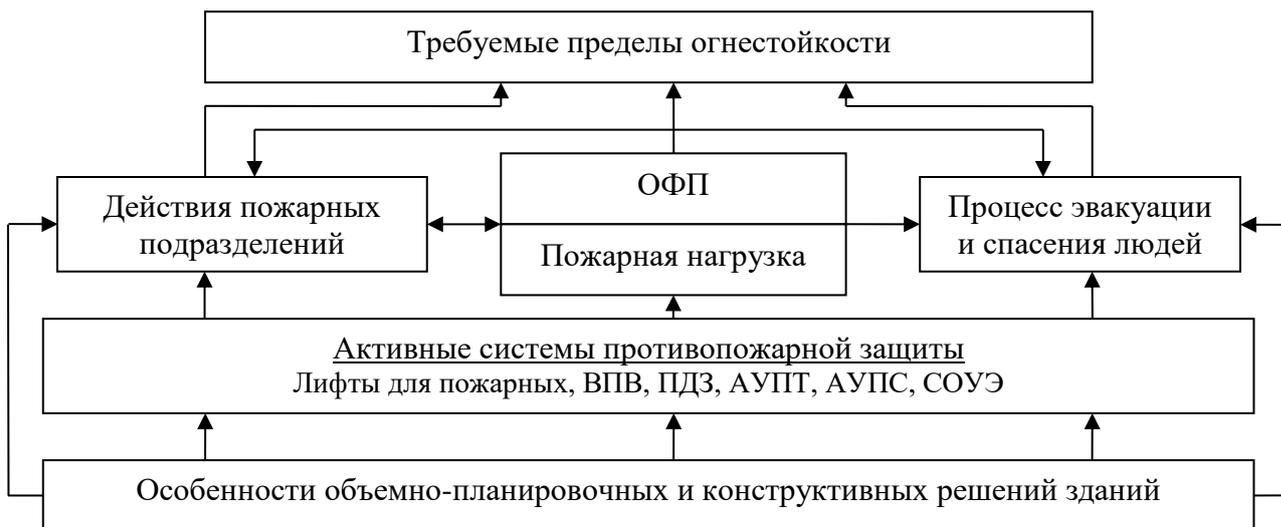


Рисунок 1.23 – Факторы, влияющие на требуемые пределы огнестойкости

1.5 Выводы по первой главе

1. Статистика пожаров в РФ в ВЖЗ показывает, что в среднем происходит 23 пожара в год и погибает 1 чел./год и также ежегодно уменьшается количество пожаров. Периодически происходят катастрофические пожары в ВЖЗ, которые приводят к большому числу погибших и пострадавших, значительному материальному ущербу и огромному общественному резонансу. С повышением этажности и высоты жилых зданий количество пожаров и погибших на них снижается. Обрушений основных несущих конструкций ВЖЗ, в результате которых наступала потеря устойчивости здания или гибель людей, в том числе и пожарных, не выявлено.

2. Особенности пожарной опасности ВЖЗ являются: возможность быстрого развития ОФП в объеме здания по коммуникациям и фасадам здания,

сложность тушения пожаров и продолжительное время эвакуации и спасения людей.

3. Основными проблемами обеспечения пожарной безопасности при проектировании и строительстве ВЗ являются: отсутствие единой нормативной базы, назначение требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций с завышенным запасом, сложность и продолжительность введения пожарных стволов и обеспечение требуемых расходов воды на тушение в высотную часть здания, организация эвакуации людей для обеспечения беспрепятственности их движения и спасения МГН и пострадавших, распространение пожара по вертикали здания при применении вентилируемых фасадов, проблемы обоснования параметров ПДВ и противопожарного водоснабжения.

4. Начиная с первых нормативных документов по пожарной безопасности в области строительства в СССР и РФ, требуемые пределы огнестойкости для I–III степеней огнестойкости снизились по каким-то естественным причинам в 1,5–2 раза. Анализ причин отказов в согласовании СТУ показывает, что необоснованность требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ является одной из существенных причин отказа их в согласовании на нормативно-техническом совете МЧС России. Максимальный требуемый предел огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ в зарубежных нормативных документах составляет R 180, тогда как в РФ принимается R 240 и только от высоты зданий.

5. Анализ существующих подходов и методов определения требуемых пределов огнестойкости позволил выделить следующие факторы, которые должны комплексно учитываться при определении требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ и ВЖЗ: количество и размещение пожарной нагрузки, динамика ОФП, действия активных СППЗ, а также действия пожарных подразделений.

Следовательно, необходимо проведение исследования по изучению влияния вышеперечисленных факторов на требуемые пределы огнестойкости ВЖЗ.

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

2.1 Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений высотных жилых зданий

Строительство ВЗ в РФ ориентировано преимущественно на ВЖЗ (или многофункциональные со встроенными апартаментами). Строится порядка 90% ВЖЗ, также 10% ВЗ – других классов функциональной пожарной опасности, тогда как в международном высотном строительстве жилыми возводят менее 10% небоскребов [99].

Высотность влияет на выбор формы и объемно-планировочные решения зданий. В РФ ВЖЗ строятся преимущественно до 120 м (30 – 40 этажей) многосекционными, а здания выше 150 м строятся преимущественно башенного типа с компактной центричной формой плана. Связано это с требованиями по инсоляции примыкающей застройки и выразительности зданий, влиянием ветровых воздействий. Башенный тип формы зданий зачастую требует поэтажных изменений планировочных решений. Определяющим требованием в проектировании ВЖЗ является необходимость естественного освещения всех комнат квартиры при их глубине до 6 м, что влияет на малую ширину зданий, но с другой стороны противоречит требованию развития ширины зданий с повышением его высоты для их устойчивости. В связи с невозможностью обеспечения требований по инсоляции в ВЗ предусматривают устройство апартаментов вместо квартир.

На объемно-планировочные решения ВЖЗ существенную роль оказывают [100]:

- конструктивные системы зданий;
- устройство вертикальных коммуникационных путей (лестничных клеток и лифтовых шахт);
- устройство технических этажей для инженерного оборудования (в том числе пожарного);

– требования пожарной безопасности по делению на пожарные отсеки, как правило, с площадью не более 2000 м², высотой не более 75 м и устройству пожаробезопасных зон.

Все вышеперечисленные причины оказывают влияние на стоимость строительства ВЖЗ.

В формировании планировочных решений ВЖЗ главную роль играют квартиры. Планировочная схема жилого дома в крупнопанельных конструкциях с узким шагом характеризуется ячеистостью помещений квартир и однородностью их по всей высоте здания, а в каркасно-панельных конструкциях с широким шагом – вариантноностью планировки квартир и возможной разновидностью их по высоте здания. Отдельно стоящие дома формируются по преимуществу из нескольких квартир на этаже, сгруппированных вокруг центрально размещенного лестнично-лифтового узла (центрального ядра жесткости).

Жилые ВЗ составляют в общем объеме мирового высотного строительства незначительную часть, их высота по статистике в пределах от 30 до 70 этажей (при преобладании 30 – 40-этажных) [99].

Анализ построенных и проектируемых ВЖЗ в РФ показывает, что в абсолютном большинстве средняя высота построенных зданий не превышает 150 м (рисунки 2.1, 2.2).

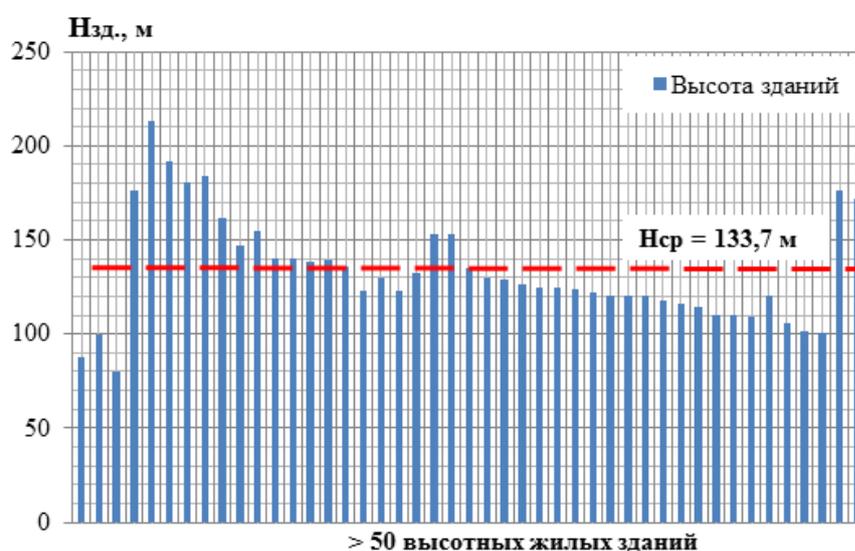


Рисунок 2.1 – Средняя высота построенных ВЖЗ в РФ на 2017 год

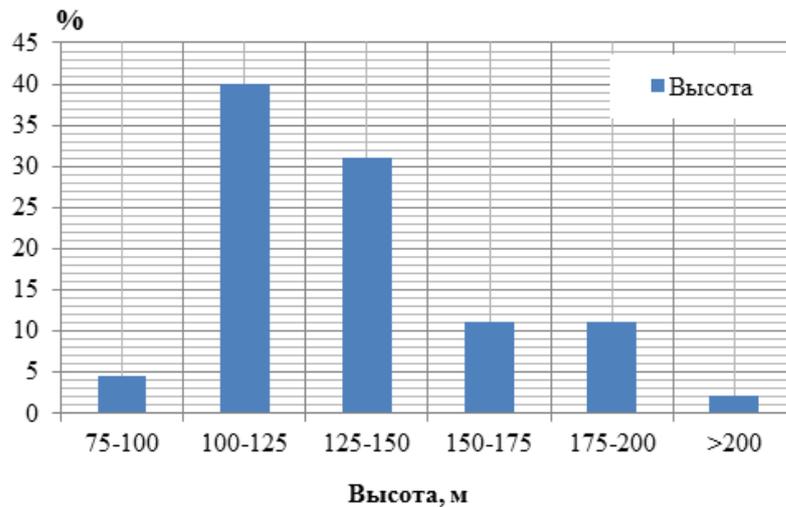


Рисунок 2.2 – Распределение высоты построенных ВЖЗ в РФ на 2017 год

В связи с интенсивностью ветровых воздействий здания высотой более 100 м проектируются в основном в форме башен. Такая форма обладает повышенной устойчивостью во всех направлениях благодаря развитому поперечному сечению и обтекаемостью объема. В целях снижения ветровых воздействий выбирают эффективную, в аэродинамическом отношении, объемную форму здания – цилиндрическую, пирамидальную или призматическую.

ВЗ башенного типа проектируют с компактной центричной формой плана, исходя из требований минимального ограничения инсоляции примыкающей застройки и необходимости формирования выразительного силуэта здания. Формы планов ВЖЗ – компактная и протяженная (рисунок 2.3). Целесообразным решением для компактных форм ВЖЗ является совмещение лестнично-лифтового узла с ядром жесткости здания.

В большинстве современных ВЗ, имеющих, как правило, достаточно большую глубину, при компоновке объемно-планировочного решения стремятся максимально открыть внутреннее пространство и освободить его от несущих элементов. Это продиктовано как необходимостью создания условий для свободной планировки этажей, так и требованиями противопожарной защиты вертикальных несущих конструкций. Последние, при относительно большом шаге, целесообразно располагать в угловых зонах помещений и

других местах с ограниченным доступом и обзором. При этом колонны, пилоны и другие элементы могут быть защищены от воздействия высоких температур достижением одно-, двух- или трехстороннего обогрева в случае пожара и декоративно оформлены.

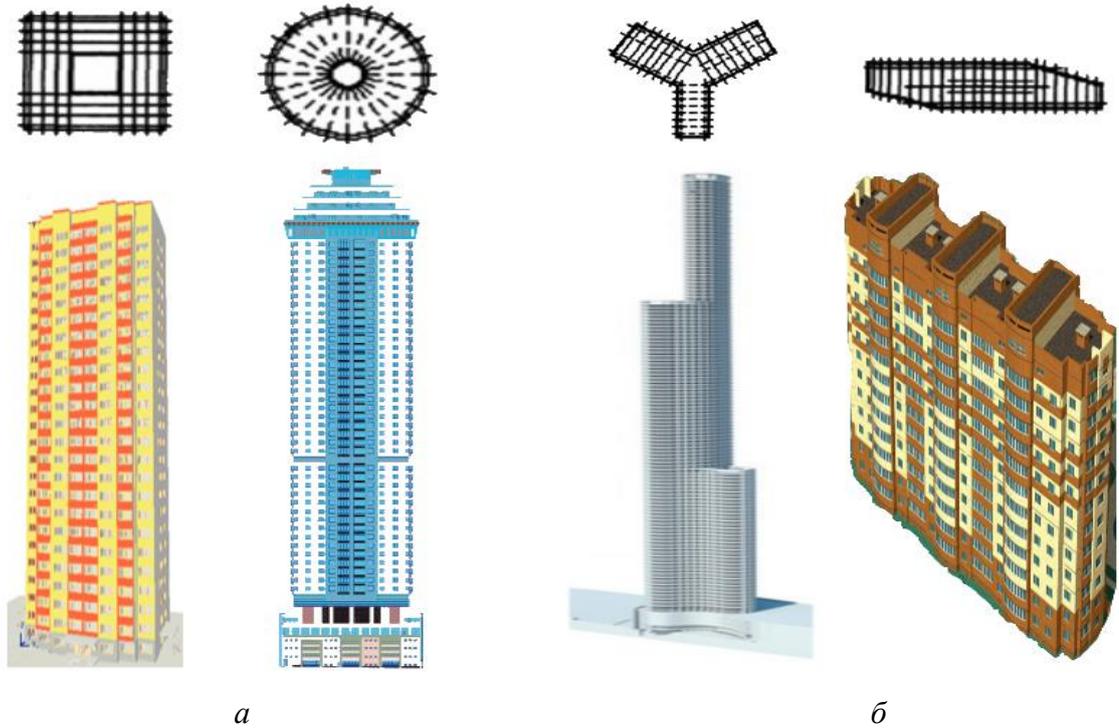


Рисунок 2.3 – Формы планов ВЖЗ: *а* – компактная; *б* – протяженная

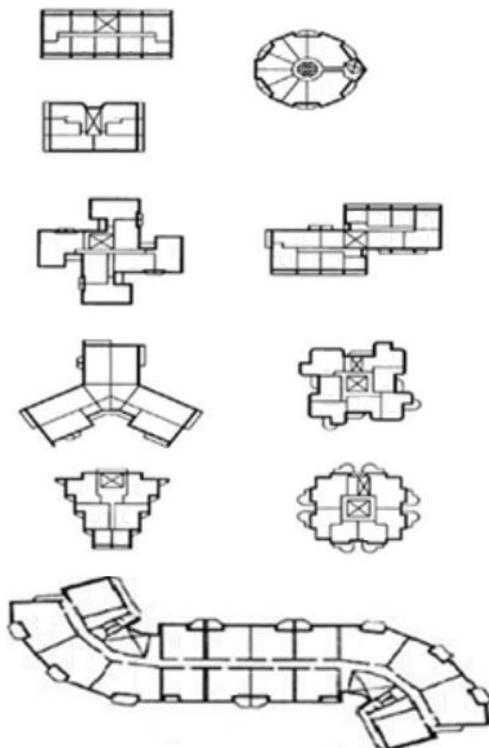


Рисунок 2.4 – Односекционные и многосекционные планировочные решения ВЖЗ

Количество проживающих в жилых зданиях соответствует планировочным решениям жилой ячейки и в среднем составляет 3 человека на одну квартиру.

По своей объемно-планировочной структуре ВЖЗ подразделяются на [101]: секционные (односекционные называются «точечные» или «башенные»), и коридорные, а также реже встречающиеся с атриумом (рисунок 2.4, таблица 2.1).

Многосекционные и коридорные объемно-планировочные схемы ВЖЗ наиболее распространены при строительстве высотой до 150 м.

В цокольном, первом и втором этажах ВЖЗ (в крупных и крупнейших городах на третьем этаже) допускается размещение встроенных и встроенно-пристроенных помещений общественного назначения, за исключением объектов, оказывающих вредное воздействие на человека.

Современные ВЖЗ чаще всего представляют собой комплексы сложной планировочной схемы, с огромным количеством встроенных помещений, требующие особого внимания при обеспечении противопожарной защиты.

Существенную роль на планировочные схемы ВЖЗ оказывают выбранные при проектировании конструктивные системы. Так при наличии «ядра жесткости» существенно меняются планировочные решения ВЖЗ [102] (Таблица 2.1).

Планировка квартиры относится к ее одной из основных характеристик, которая всегда значительно влияет на стоимость и привлекательность жилья, расположение мебели, вещей (горючей нагрузки).

Сегодня значительно возросли требования к комфортабельности и удобству жилья, появились новые виды планировок квартир. Это «новая» планировка в типовых домах, которая имеет увеличенную площадь комнат и кухни, а также более продуманное их расположение.

В большом количестве встречается «индивидуальная» планировка, характерная для жилых зданий, построенных по индивидуальному проекту. Все чаще в высотных новостройках появляются квартиры со «свободной»

планировкой, где каждый покупатель может реализовать свое собственное планировочное решение.

Таблица 2.1– Планировочные схемы ВЖЗ с размещением ядра жесткости

Тип планировочной схемы	Форма здания	Схема внутренней планировочной структуры этажей	Расположение квартир в плане этажа
Свободная (Зальная)	Компактная		Квартиры занимают весь этаж
	Протяженная		Квартиры занимают весь этаж
Коридорная (Коридорно-кольцевая)	Компактная		Квартиры с выходом в коридор
	Протяженная		Квартиры с выходом в коридор
Галерейная (с атриумом)	Компактная		Квартиры с выходом на галерею
	Протяженная		Квартиры с выходом на галерею
		–ядро жесткости	– многоцветное помещение (атриум)

Представления о качественном жилье в последние годы изменились очень существенно. Появилось такое понятие, как жилье повышенной комфортности. Просторные помещения, в частности холл или кухня, стали нормой, современные квартиры имеют большие лоджии.

На основе анализа литературы [99-103] и проектов особенностями планировочных решений квартир ВЖЗ являются:

1. Свободная планировка квартир.
2. Наличие многоуровневых квартир – пентхаусов (Рисунок 2.5).
3. Значительные площади квартир (более 150 м²).

Площадь квартир в подобных зданиях изменяется в широком диапазоне от 45 м² – для редко встречающихся однокомнатных квартир и до 700 м² – квартир, располагающихся на одном целиком этаже или нескольких этажах (пентхаус).

В крупных мегаполисах, таких как, Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, сегодня возводятся дома, квартиры, которые классифицируются на классы: «эконом», «бизнес», «премиум» или «элит». Разумеется, для классов «премиум» и «элит» вопрос о типовых планировках не стоит. Такие здания строятся по индивидуальным проектам, в которых виды планировки квартир носят индивидуальный, а зачастую и эксклюзивный характер. Требования к жилью высокого класса – это не только продуманная планировка и дизайн, но и оснащенность всеми возможными пассивными и активными СППЗ.

Состав и площади квартир ВЗ и их процентное соотношение принимается в соответствии с заданием на проектирование. Квартиры ВЖЗ имеют тот же перечень помещений, что и обычные жилые здания: спальни, гостиные, кухни, столовые, детские, рабочие кабинеты, за исключением того, что балконы переоборудуются под лоджии и встречаются сауны, бассейны, библиотеки, гардеробные и тренажерные залы.

В строительстве ВЖЗ в зависимости от оснований, этажности, объемно-планировочных решений, ветровых воздействий и сейсмичности могут применяться различные конструктивные системы. Конструктивная система – это взаимосвязанная совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость [99].

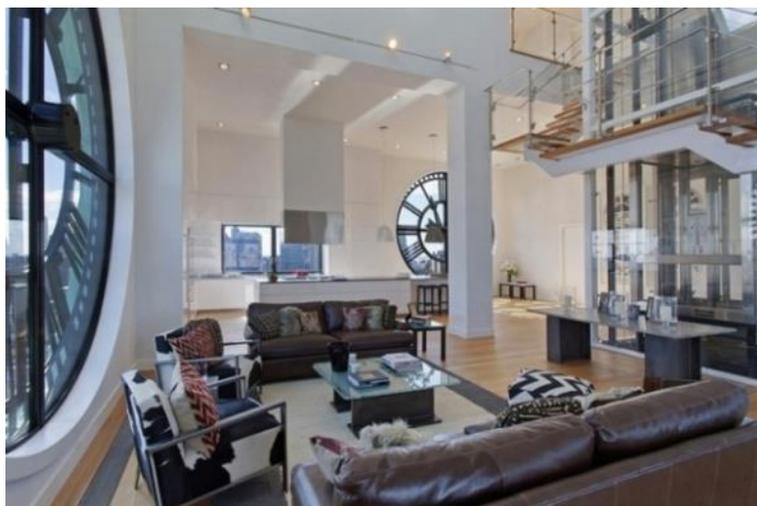


Рисунок 2.5 – Пример многоуровневой квартиры – пентхауса

В качестве основных несущих конструкций ВЖЗ рекомендуется применять [105–107]:

- монолитный железобетон с гибкой арматурой;
- монолитный железобетон с частичным или полным применением жесткой арматуры;
- стальные конструкции с огнезащитой (в РФ для ВЖЗ, как правило, огнезащита только из бетона).

В мировой практике наиболее применимы различные комбинированные конструктивные системы (рисунок 2.6), но в практике строительства ВЖЗ в РФ чаще всего встречаются (поперечно)перекрестно-стеновая, каркасная с диафрагмами жесткости и каркасно-ствольная системы.

Наибольшее распространение в мире и в РФ при проектировании и строительстве ВЖЗ до 60 этажей получила каркасно-ствольная [99,106]. В качестве основных несущих конструкций данной конструктивной системы ВЖЗ, на которые распределяются нагрузки и воздействия, являются вертикальный стержень («ядро жесткости», в котором часто размещают лифтовые шахты и лестничные клетки) на всю высоту здания и отнесенные несущие конструкции по внешнему контуру здания. Каркасно-ствольная конструктивная система называется также «труба в трубе» и обладает максимальной жесткостью среди выше перечисленных.

Остается неизученным и актуальным вопрос сравнительного технического, экономического и с точки зрения безопасности анализа конструктивных систем ВЗ с определением оптимальных областей применения каждой из них в виду немногочисленных исследований в данной области.

Применение железобетонных конструкций целесообразно в зданиях до 55 этажей, стальных оболочково-ствольных – до 100 этажей, оболочково-диафрагмовых – до 110 этажей. Наименьший расход материалов (бетон и сталь) и как следствие экономичными являются ствольно-подвесные и ствольно-оболочковые конструктивные системы [99]. При строительстве ВЗ затраты распределяются на несущие конструкции, фундамент и обеспечение огнестойкости – 37 %, фасад – 24 %, инженерные системы и оборудование – 29 % и лифты – 10 % [99,106].

Для ВЗ этажностью более 55-60 этажей явные экономические преимущества за стальными несущими конструкциями. Но, несомненно, преимущества за железобетонными несущими конструкциями перед стальными по обеспечению огнестойкости и устойчивости ВЗ при обеспечении их комплексной безопасности.

Основные несущие конструкции ВЖЗ принципиально ничем не отличаются от применяемых в зданиях высотой до 75 м, за исключением увеличения сечения защитного слоя бетона и арматуры по возросшим требованиям по несущей способности (требуемым пределам огнестойкости до 150 – 240 минут) и их устойчивости и геометрической неизменяемости.

Требования по обеспечению требуемых пределов огнестойкости всех перекрытий этажей в 240 минут видится с чрезмерным запасом и целесообразнее принимать повышенные требуемые пределы огнестойкости (от 120 минут) только для перекрытий, разделяющие ВЖЗ на пожарные отсеки по высоте.

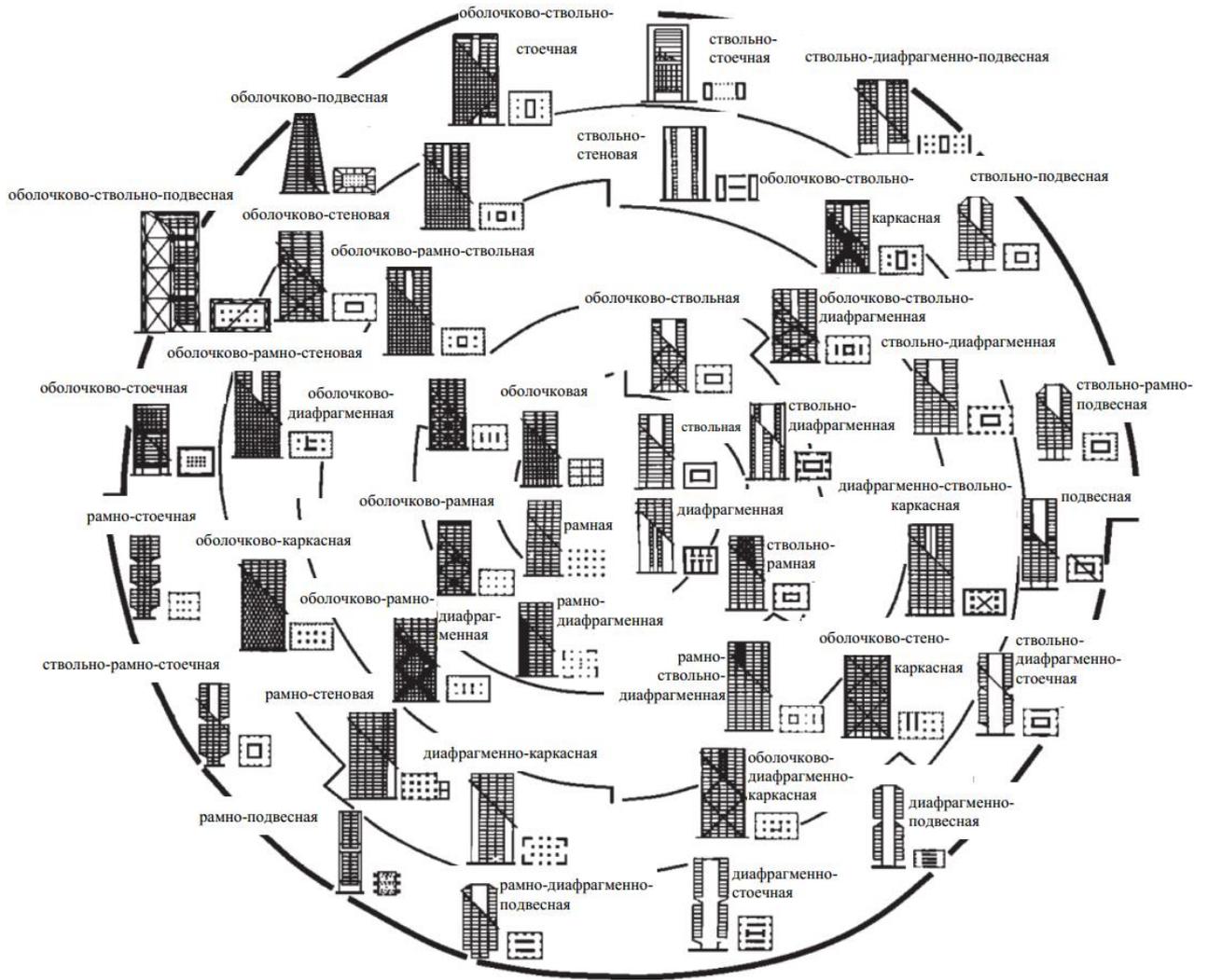


Рисунок 2.6 – Классификация конструктивных систем [99]

Кроме обеспечения огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ, необходимо учитывать возможность прогрессирующего обрушения здания, возможного в результате потери огнестойкости одного из ключевых элементов (стен, колонн, пилонов и т.п.) основных несущих конструкций. В рамках дальнейших исследований необходимо рассмотрение каждой конструктивной системы и назначение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЗ в том числе, исходя из их конструктивной системы.

Для моделирования «реальных» температурных режимов пожаров в работе использовались коридорный и секционный типы объемно-планировочных решений.

2.2 Исследование пожарной нагрузки современных квартир высотных жилых зданий

От количества и состава материалов горючей нагрузки зависит, какое количество тепла будет выделено (пожарная нагрузка), и продолжительность огневого воздействия (температуры, тепловых потоков) на конструкции.

Пожарная нагрузка в условиях эксплуатации ВЖЗ и в процессе жизнедеятельности людей состоит из огромного количества горючих строительных веществ, материалов и изделий (вещей и мебели). При решении частных вопросов все это многообразие по возможности необходимо учитывать. Для решения общих вопросов и решения задач, связанных с огнестойкостью, выбирается базовый материал, который, не изменяя главную физическую картину исследуемого процесса, позволит избежать практической неопределенности при анализе действительной пожарной нагрузки. Статистический анализ ВНИИПО показывает следующее: значительное число пожаров характеризуется тем, что горючими материалами являются древесина и ткани, особенно в жилом секторе, где в 70,09 % случаев древесина была основным горючим материалом [108]. Но в современных реалиях жизни, происходит качественное изменение горючей нагрузки в сторону применения полимерных материалов. Приведенная статистика все равно убедительно показывает, что за базовый материал следует принимать древесину и изделия из нее [109].

В современных ВЖЗ пожарная нагрузка не должна превышать 50 кг/м^2 [50-52]. Еще в работе [110] 1986 года отмечалось, что удельная пожарная нагрузка в жилых зданиях малой этажности достигает 50 кг/м^2 . Но это характерно для малоэтажных жилых домов со стесненными планировочными решениями, где площади квартир значительно меньше квартир ВЖЗ.

В работах [111,112] показано, что значение пожарной нагрузки в среднем по квартире для одно-, двух-, трех- и четырехкомнатных квартир составляло от 528 МДж/м^2 и до 609 МДж/м^2 , что менее 50 кг/м^2 в эквиваленте древесины.

В исследовательской работе [113] приводятся результаты исследований квартир в 74 жилых домах. Средняя площадь гостиных комнат составляла 28 м^2 с отклонениями в $\pm 9 \text{ м}^2$. Среднее значение пожарной нагрузки составляло 600 МДж/м^2 со стандартными отклонениями $\pm 300 \text{ МДж/м}^2$. Анализ результатов отечественных и зарубежных исследований пожарной нагрузки в жилых домах показывает близкие значения (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Сравнение пожарной нагрузки в жилых зданиях

Назначение здания, пожарного отсека (помещений)	Диапазон величин, МДж/м ²	Средняя удельная пожарная нагрузка, МДж/м ²	Примечание	Источник в списке литературы
Жилое здание:	668 - 1152	910	Общая площадь пола 760 м^2 ; 4041 МДж/м^2 Бельевой шкаф; (13 обследованных зданий)	[114]
Подвал	-	900	-	[115]
Однокомнатное	-	609		[111,112]
2-х комнатное	-	577		
3-х комнатное	-	528		
4-х комнатное	-	528		
Обычный жилой дом	-	500	-	[115]
		400		[116]
		510		[117]
		724		[118]
Квартира		335		[37]
Ф 1	181 - 650	235	-	[97]
Многоквартирный жилой дом (Ф1.3)	206 - 1020	350	до 100 м^2 (коэффициент колебания от средней – 1,7)	[119, 120]
	180 - 835	300	более 100 м^2 (коэффициент колебания от средней – 1,67)	
Одноквартирный жилой дом (Ф1.4)			-	
Дом	313 - 800	500		[121]
Подвал	450 - 1800	900	-	[122]
Санузел	10 - 20	10	-	[123]
Дом	-	500	-	[119]

Продолжение таблицы 2.2

Жилые помещения	-	500	± 20 %	[119]
Жилые помещения	-	780	948 (квантиль 80 % распределения Гумбеля)	[78]
Квартиры (жилые здания повышенной этажности)	349 - 614	482	-	[124]
Квартиры (жилые здания)	407 - 470	439	-	[108]

Оригинально определяется пожарная нагрузка в [78], так как при её расчете учитываются наличие активных СППЗ и вероятность возникновения пожара, что в принципе логично, исходя из понятия пожарной нагрузки (количества тепла выделяемое при сгорании 1 кг горючей нагрузки, на значение которого, например, может повлиять действие АУПТ).

В настоящей диссертации пожарная нагрузка рассчитывалась путем детального изучения дизайн-проектов квартир в ВЖЗ и комплексах, таких, как «Эдельвейс», «Нежинский ковчег», «Новокузьминский», «Квартал на Ленинском 116» и многие другие (пример, рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 - Пример планировка из дизайн-проекта 3-хкомнатной квартиры 43-этажного здания ЖК «Эдельвейс» на ул. Давыдовская 3, г. Москва

Для определения значений пожарной нагрузки в жилых зданиях различной высоты использовался метод определения усредненных показателей

пожарной нагрузки, так как данный метод в помещениях различных ЗИС используется для предварительной и приближенной оценки [37,125,126]. Для более точного определения использовался метод суммирования теплового потенциала горючих материалов, так как принимает во внимание конкретные архитектурно-планировочные и конструктивные решения помещений, их отделка, меблировка [73].

Метод заключается в детальном рассмотрении планировочных решений жилых зданий и того имущества, которое размещается и используется в помещениях. Суммируя тепловой потенциал горючих материалов в каждом помещении и разделив его на площадь помещения, получаем искомое значение пожарной нагрузки в конкретном помещении.

Удельная пожарная нагрузка q (МДж/м²) определяется из соотношения:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{S} \quad (2.1)$$

где Q – пожарная нагрузка (МДж) i -го элемента сгораемого содержимого помещения (имущество, отделка, сгораемые конструкции и т.д.) $Q_i = M_i \cdot H_i$, где:

M_i – масса i -го горючего вещества или материала, кг;

H_i – количество тепла, выделяемого при горении одного килограмма i -го вещества или материала, которые определяются по справочным данным [127-129] МДж/кг;

S – площадь размещения пожарной нагрузки, м².

С целью упрощения оценки пожарной нагрузки в помещениях принимаются следующие допущения [124]:

- горючая нагрузка равномерно распределена по всей площади помещений;
- вся горючая нагрузка участвует в процессе горения на пожаре;
- вся горючая нагрузка в помещениях выгорает в течение пожара;
- пожарная нагрузка измеряется как сумма значений теплоты сгораний различных веществ и материалов, но на практике в процессе решения задач по

огнестойкости в целях упрощения она приводится к теплоте сгорания древесины.

Сравнивая значения полученной удельной пожарной нагрузки в объемах квартиры ВЖЗ (495,7 МДж/м², в эквиваленте древесины при низшей теплоте сгорания 13,8 МДж, 35,92 кг/м²) со значениями удельной пожарной нагрузки в жилье (180 - 835 МДж/м²) из различных отечественных и зарубежных источников, получаем сопоставимые и схожие результаты.

Для отечественных легковых автомобилей среднего класса (размером 1,9×5,0 м) в подземной автостоянке содержание горючих материалов характеризуется следующими показателями, представленными в таблице 2.3.

Удельная пожарная нагрузка в следующих интервалах составит: от $5281 / 1,9 \cdot 5 = 555,9$ МДж/м² и до $7733 / 1,9 \cdot 5 = 814$ МДж/м².

При низшей теплоте сгорания древесины хвойных пород нормализованной плотности (влажностью 12% и средней плотностью 492,67 кг/м³) 13,8 МДж/кг [130] получим значение удельной пожарной нагрузки в интервалах **40,3 – 58,9 кг/м²**.

Таблица 2.3 – Пожарная нагрузка отечественных легковых автомобилей среднего класса

Наименование материала	Количество материала, кг	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Пожарная нагрузка, МДж
Бензин в баке	40,2-55	41,9	1639-2305
Смазочные масла	5,0-7,0	40,5	202-284
Пенополиуретан	40-80	24,3	972-1944
Полиэтилен	2,5-3,6	47,1	118-170
Резина	60-78,9	33,5	2010-2643
Отделка салона (полихлорвинил, картон, искусственная кожа)	25-28,5	13,6	340-387,6
Итого			5281-7733

В основном, как показывает качественный и количественный анализ дизайн-проектов, горючая нагрузка в квартире представлена в виде мебели, отделочными строительными материалами и крупногабаритной бытовой техникой (97%), далее – одеждой и предметами интерьера (2,9%) и менее 1% –

продуктами питания (0,1 %). В 83% горячая нагрузка состоит из следующих веществ: дерево – 83%, полимерные материалы (пластмасса) – 14%, ткани – 2,9 % и продукты питания – 0,1 % (рисунок 2.8).

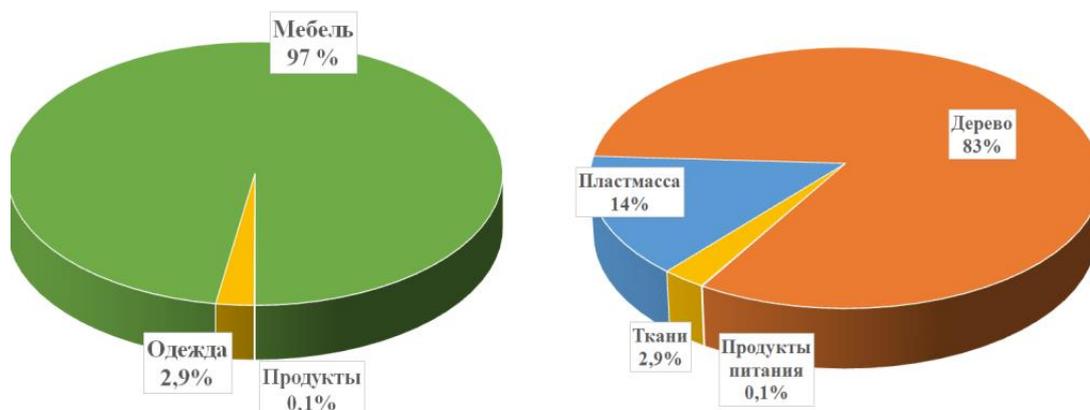


Рисунок 2.8 – Качественный состав горючей нагрузки в квартире ВЖЗ

Большая площадь квартир в ВЖЗ, а также современные тенденции моды при дизайне современных квартир различных стилей: неоклассика, ар-деко, минимализм, лофт и их комбинации – выделяются большими не заставленными и просторными объемами помещений. Даже по сравнению с многоэтажными жилыми зданиями и жилыми зданиями повышенной этажности большая площадь сказывается на величине удельной пожарной нагрузки, которая снижается с увеличением её значений (рисунок 2.9, таблица 2.4).



Рисунок 2.9 – Удельная пожарная нагрузка в исследуемых квартирах ВЖЗ

Таблица 2.4 – Сводные данные по расчетам пожарной нагрузки для всех квартир

Номера квартир	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	<i>n</i>
Площадь обследуемых квартир, м ²	32,8	59,98	67,1	70,5	77,5	81,8	100,4	107,8	112	124,4	141,2	124,4	141,2	<i>n</i>
Пожарная нагрузка, МДж/м ²	414,2	423,3	505,8	664,8	398,2	471,7	382,5	597	515,3	419,3	445,4	419,3	445,4	<i>n</i>
Удельная пожарная нагрузка (древесина), кг/м ²	46,72	32,3	34,18	36,65	43,3	28,86	37,34	30,39	30,01	27,7	30,67	27,7	30,67	<i>n</i>

Среднее значение удельной пожарной нагрузки: 495,7 МДж/м² со стандартным отклонением $SD = 122,7$ МДж/м². Среднее значение удельной пожарной нагрузки (в переводе на древесину хвойных пород нормализованной плотности): 35,92 кг/м².

Обработка полученных численных значений пожарной нагрузки определялась в соответствии с [131].

Среднее арифметическое выборочной совокупности (\bar{X}) – сумма всех значений пожарной нагрузки в квартире (x), деленная на число наблюдений в выборках (квартирах) (n):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.2)$$

Стандартное отклонение (SD) выборки – степень рассеивания индивидуальных значений вокруг выборочного среднего арифметического:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - x_i)^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

Сопоставление ориентировочных значений пожарной нагрузки жилых зданий различной высоты (рисунок 2.10, таблица 2.5), позволяет сделать выводы об её снижении с увеличением высоты, при этом для ВЖЗ значение удельной пожарной нагрузки меньше в 2-2,5 раза по сравнению с жилыми зданиями обычной этажности по вышеупомянутым причинам.

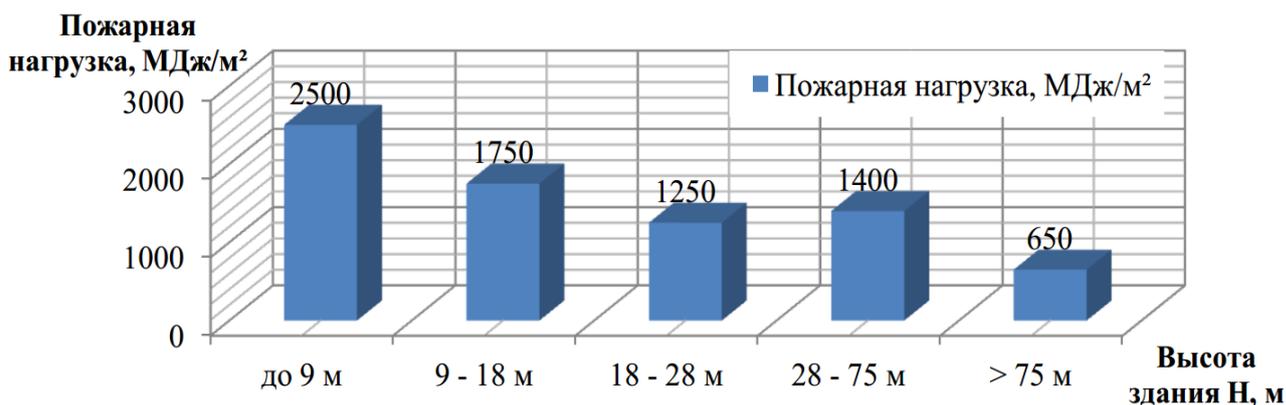


Рисунок 2.10 – Сопоставление средних значений пожарной нагрузки в квартирах жилых зданий различной высоты

Наибольшие значения удельной пожарной нагрузки в пределах квартир ВЖЗ получены в кладовых, гардеробных и библиотеках, за пределами квартиры – на парковках, серверных, дизель-генераторных помещениях и встроенных помещениях вспомогательного назначения.

Не изученным остается вопрос количественных значений пожарной нагрузки при строительстве ВЖЗ (строительные леса, строительные вещества и материалы, строительное оборудование, временные силовые кабели и провода и многое другое).

Таблица 2.5 – Ориентировочные показатели, влияющие на пожарную опасность жилых зданий

Показатель	Здания до 3-х этажей	Здания 3-6 этажей	Здания 6-9 этажей	Здания повышенной этажности	ВЖЗ
Удельная пожарная нагрузка, МДж/ м ²	3000-2000	2000-1500	1500-1000	1800-1000	1000- 300
Высота, м	до 9	9-18 м	18-28 м	28-75 м	более 75
Число людей на этаже	более 70	более 50	более 50	более 40	более 30
Количество людей в здании	до 70	до 100	до 250	до 380	более 500
Время подачи первого ствола (в т.ч. от ВПП), мин	от 3,5	от 7	от 11-12	от 12-20	более 20

Продолжение таблицы 2.5

Время боевого развертывания, мин	от 5	от 8	от 10	от 15-20	более 25
Параметры (скорость, время) движения пожарных	изучено и описываются линейными функциями	- // -	- // -	- // -	не изучено
Скорость ветра	влияет для зданий V степени огнестойкости	влияние мало	влияние мало	не изучено	не изучено
Температура окружающей среды	влияет для зданий с печным отоплением	влияние мало	влияние мало	не изучено	не изучено

В среднем значения удельной пожарной нагрузки по квартирам составило $495,7 \text{ МДж/м}^2$ со стандартным отклонением $\pm 22,7 \text{ МДж/м}^2$, при этом в отдельных частях квартир (вещевые и книжные шкафы, гардеробные) варьируются в широком диапазоне от 300 до 1200 МДж/м^2 . Поэтому возможно локальное воздействие более жесткого «реального» температурного режима пожара на отдельную несущую строительную конструкцию.

2.3 Компьютерное моделирование развития опасных факторов пожара и «реальных» температурных режимов пожара

Развитие компьютерной техники позволяет решать дифференциальные уравнения для сложных моделей за время гораздо меньшее, чем требовалось еще буквально 10-15 лет назад. В настоящее время в мире множество программных комплексов, позволяющих моделировать пожар в 3-хмерном виде (некоторые из которых представлены на сайте www.firemodelsurvey.com). Наиболее широкое распространение полевого математического моделирования (решения дифференциальных уравнений) пожара в США и в нашей стране получил программный комплекс Fire Dynamics Simulator (FDS), обращающийся в свободном доступе и прошедший определенную верификацию и валидацию по определению «реальных» температурных режимов пожаров, созданный NIST (Национальный институт стандартов и технологий) [132]. В программном

комплексе FDS решаются современными численными алгоритмами сложные системы нестационарных уравнений фундаментальных законов физики законов сохранения массы, импульса и энергии.

Численные методы решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса (полевого метод моделирования развития пожара, CFD) позволяют наиболее точно моделировать пожар во всех стадиях его развития, в том числе в стадии его затухания [133].

Температуры обновляются во времени по неявной схеме Кранка-Николсона [132], основанной на численных приближениях для решений в промежуточной точке $(x, t + \tau/2)$. Для моделирования потоков излучения применен дискретный метод расчета радиационного теплопереноса [134]. Данный метод основан на расчете излучения в выбранных характерных направлениях в помещении между стенами (или поверхностями, ограничивающими расчетную область) с последующим расчетом потерь тепла излучением в уравнении энергии для каждого контрольного объема. Два типа моделей сгорания использованы в программном комплексе FDS: модель сгорания для DNS (прямое численное моделирование – «direct numerical simulation») и модель сгорания для LES (большое вихревое моделирование – «large eddy simulation»). В модели радиационного теплообмена осуществляется решение уравнения радиационной теплопередачи в нерассеивающей серой среде. В модели пожара в программном комплексе FDS система уравнений аппроксимирована на одной или более линейных сетках. Горючие материалы и строительные конструкции представлены прямоугольными объектами, соответствующими основной сетке. Всем поверхностям горючих материалов, строительных конструкций присваиваются теплофизические характеристики. Основной принцип определения температуры в помещении при пожаре связан с законом сохранения энергии. Сохранение энергии для каждой рассматриваемой зоны выражается в том, что энергия, добавленная в зону, равна энергии, потерянной зоной. Энергия, произведенная пожаром и

добавленная в эту зону, равна энергии, потерянной зоной через излучение и конвекцию, плюс энергия, потерянной зоной через проемы помещения.

Проведенные натурные огневые испытания на фрагментах зданий как за рубежом, так и в нашем Отечестве, показывают, что мощность, температурный режим и продолжительность пожара в здании зависит напрямую от количества горючей нагрузки и размеров проёмов, через которые осуществляется вентиляция.

Еще в сентябре 1981 г. во ВНИИПО были проведены эксперименты на установке фрагмента ВЗ (таблица 2.6) [135]. Всего проведено три опыта в безветренную погоду, которые различались лишь величиной удельной горючей нагрузки. В качестве горючей нагрузки использовалась предварительно просушенная древесина в виде брусков размером 40×40×100 мм с влажностью 10-15 %. Все опыты проводились в безветренную погоду со скоростью ветра близкой к 0 м/с.

Приведенные выше эксперименты показывают в первую очередь влияние горючей нагрузки в виде древесины на температурный режим пожара, но не учитываются многие другие факторы: проемность (вентиляция), способ размещения горючей нагрузки в плане помещения и другие (рисунок 2.11). Кроме этого, не фиксировался прогрев строительных конструкций в экспериментах ВНИИПО и полная стадия затухания пожара.

Таблица 2.6 – Исходные параметры при проведении опытов и их продолжительность

№ опыта	Влажность древесины	Масса, кг	Удельная горючая нагрузка, кг/м ²	Атмосферное давление, мм рт. ст.	T, °C	Влажность, %	Время выгорания горючей нагрузки τ_{Σ} , мин
I опыт	14,7	500	25	752	23	75	58
II опыт	14,2	750	37,5	761	23	75	64
III опыт	14,85	1000	50	750	24	63	70

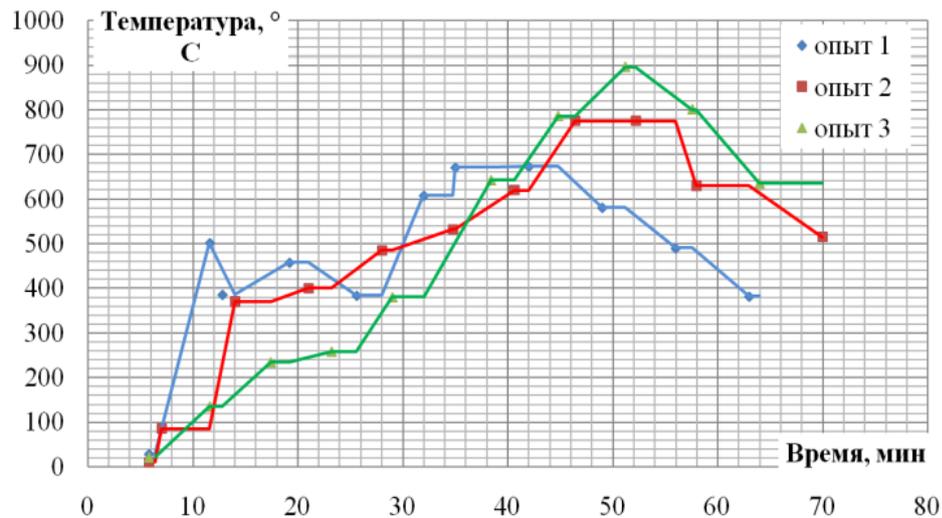


Рисунок 2.11 – Температурные режимы по результатам эксперимента на фрагменте ВЗ

Согласно обследованию квартир жилых зданий и анализу проектной документации, выполненными специалистами лаборатории № 6 НИИЖБ, количество горючей нагрузки в них составило не более 50 кг/м^2 [31,136]. В поселке Некрасовка на экспериментальном полигоне «НИИЖБ им. А.А. Гвоздева» были проведены натурные огневые испытания железобетонных перекрытий в составе трехэтажного фрагмента жилой секции дома. Горючая нагрузка представляла собой штабеля из деревянных брусков в количестве 50 кг/м^2 . Во время опытов производились измерения температур в очаге пожара и смежных помещениях с помощью термопар. По результатам испытаний было установлено, что продолжительность выгорания данной горючей нагрузки составила 50-60 минут, затем наступала стадия затухания, которая почему-то также полностью не зафиксирована. Максимальная температура в очаге пожара не превышала $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Стандартный температурный режим более «жесткий», чем «реальные» температурные режимы в проведенных испытаниях. А предельного состояния по несущей способности (R) железобетонных конструкций не наступает (рисунок 2.12).

По результатам обследования строительных конструкций жилых зданий после пожаров, специалистами «НИИЖБ им. А.А. Гвоздева» установлено, что время активной фазы выгорания горючей нагрузки, как правило, не превышает 1 ч в пределах квартиры. Возможность распространения пожара по фасаду на

другие этажи и за пределы квартиры не рассматривалась, а также не фиксировалась температура в помещениях и несущих конструкциях после 70 минут.

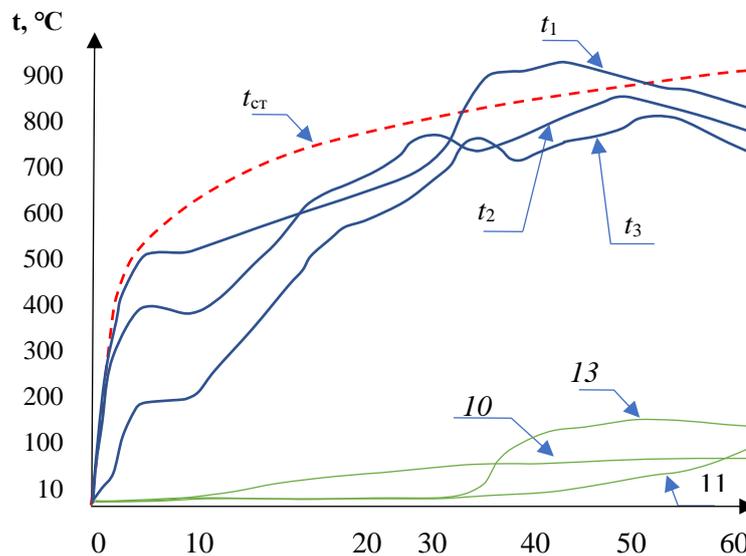


Рисунок 2.12 – Температурные режимы по результатам экспериментов НИИЖБ [136]:
 $t_{ст}$ – стандартный температурный режим; t_1, t_2, t_3 – показания термопар в пространстве помещения; 10, 11, 13 – показания термопар в смежных помещениях

На основании проведенных опытов, авторы [136] полагают, что целесообразно принять максимальный предел огнестойкости 180 мин (R180) независимо от высоты здания. Только в отдельных случаях принимать максимальное значение предела огнестойкости R240 с соответствующим обоснованием. Показатель R180 имеет большой запас, как минимум двух кратный по отношению к возможной продолжительности пожара в пределах квартиры жилых зданий.

В данных исследованиях учитывается роль пожарной нагрузки на температурный режим свободно развивающегося пожара и никак не учитываются такие факторы, как возможности пожарных подразделений, статические нагрузки на несущие конструкции и возможное влияние скорости ветра.

Пожары в ВЖЗ отличаются от пожаров в многоэтажных жилых зданиях тем, что на развитие пожара в них будут оказывать ветровые воздействия через

открытые оконные проемы или после их вскрытия от воздействия пожара и наличие активных СППЗ.

Поэтому, ввиду большой стоимости проведения натуральных огневых испытаний, а также получения множества «реальных» температурных режимов пожара отличных от стандартного в рамках настоящего исследования принято использование компьютерного моделирования с помощью FDS.

Возрастание скорости ветра по высоте ВЗ проиллюстрировано рисунком 2.13.

Для оценки изменения скорости ветра по высоте используются различные модели: спираль Экмана, логарифмический закон, степенной закон [103, 137].

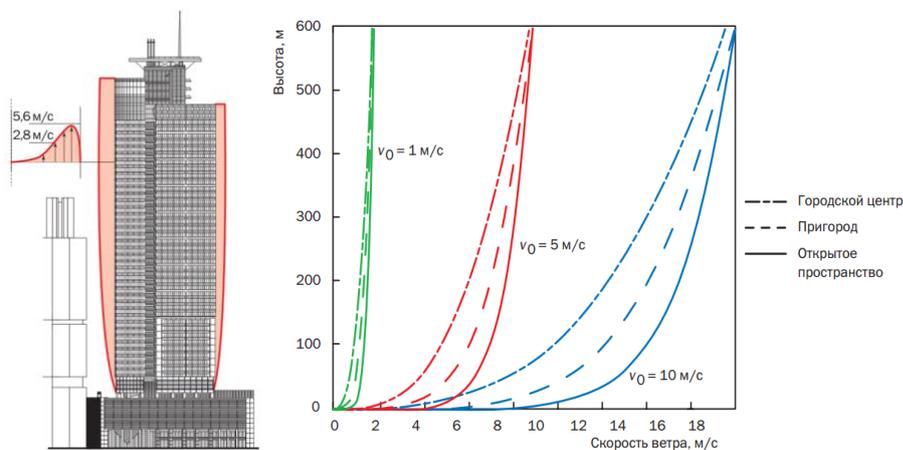


Рисунок 2.13 – Пример эпюры скоростей восходящих воздушных потоков у фасадов ВЗ за счет разности температур и изменения скоростей ветра в зависимости от типа местности [103,137]

Так в работе [103] 1984 г. Э. Симиу, Р. Сканлана и К. Daniels описали степенной закон изменения скорости ветра (v_h) с высотой (h) здания формулой:

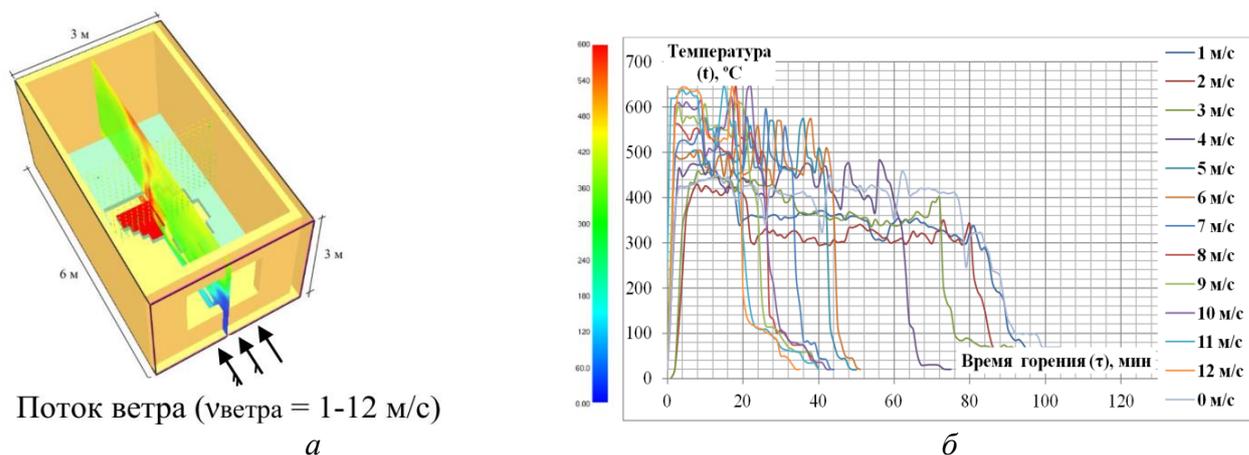
$$v_h = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha, \text{ м/с} \quad (2.4)$$

где v_0 – скорость ветра, м/с, измеренная на высоте $h_0 = 10 - 15$ м;

α – коэффициент, зависящий от типа местности ($\alpha=0,33$ для центров крупных городов).

Например, для г. Москва значения скорости ветра будут колебаться в среднем в интервале от 1 до 12 м/с [138]. На основании этого было произведено

моделирование в FDS на простейшей модели помещения с целью изучения влияния скорости ветра на температурный режим в помещении размерами $6 \times 3 \times 3$ м, приточным проёмом $1,77 \times 1,47 \times 0,25$ м и постоянной, равномерно распределенной и расположенной на одном уровне горючей нагрузкой в 50 кг/м^2 со свойствами древесины (рисунок 2.14).



Поток ветра ($v_{\text{ветра}} = 1-12 \text{ м/с}$)

Рисунок 2.14 – Модель помещения с равномерно распределенной пожарной нагрузкой с постоянным потоком ветра в оконный проем и полученные температурные режимы:

а – моделирование выгорания пожарной нагрузки в помещении; *б* – температурные режимы

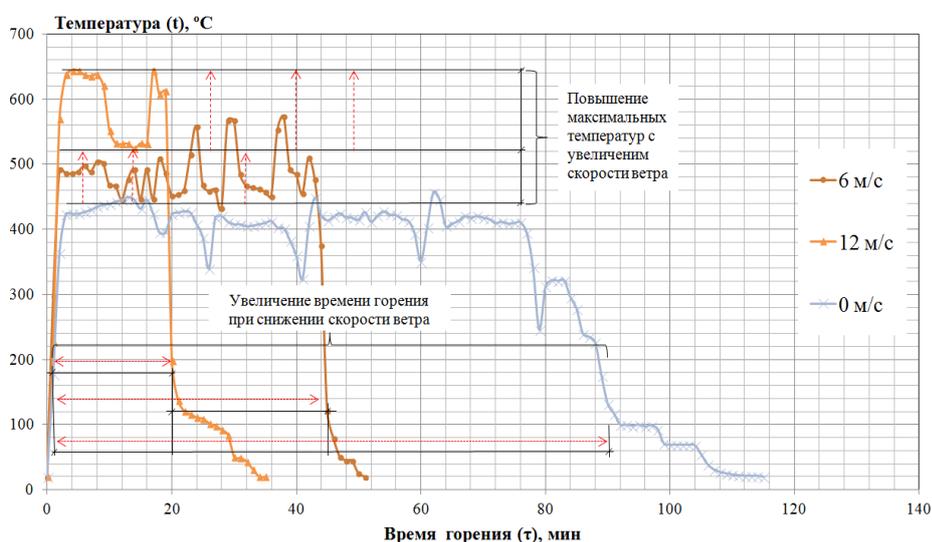


Рисунок 2.15 – Зависимости максимальных температур и продолжительности горения от скорости ветра

Полученные температурные кривые показывают (рисунок 2.14, 2.15), что с увеличением скорости ветра, поступающего перпендикулярно через оконный проём, максимальная температура в помещении достигает больших значений, а время выгорания горючей нагрузки снижается. Отсюда следует, что скорость

ветра необходимо учитывать при определении «реальных» температурных режимов пожара ВЗ и, возможно, при расчете распространения ОФП при вскрытии остекления. Увеличение максимальных температур и продолжительности пожара (рисунок 2.15) может повлиять на огнестойкость строительных конструкций.

Влияние активных СППЗ на температурный режим пожара. Моделирование по полевой модели (*FDS*) с целью определения параметров «реальных» температурных режимов по полученному значению пожарной нагрузки осуществлялось для наиболее часто встречаемых двух-, трёх- и четырехкомнатных квартир. При изучении влияния применяемых активных СППЗ (АУПТ и ПДВ) на температурные режимы пожара была выбрана часто применяемая при существующих конструктивных решениях коридорная планировочная схема (рисунок 2.16) при пожарной нагрузке 50 кг/м^2 в виде древесины согласно анализа объемно-планировочных решений ранее в разделе 2.1 настоящей главы.

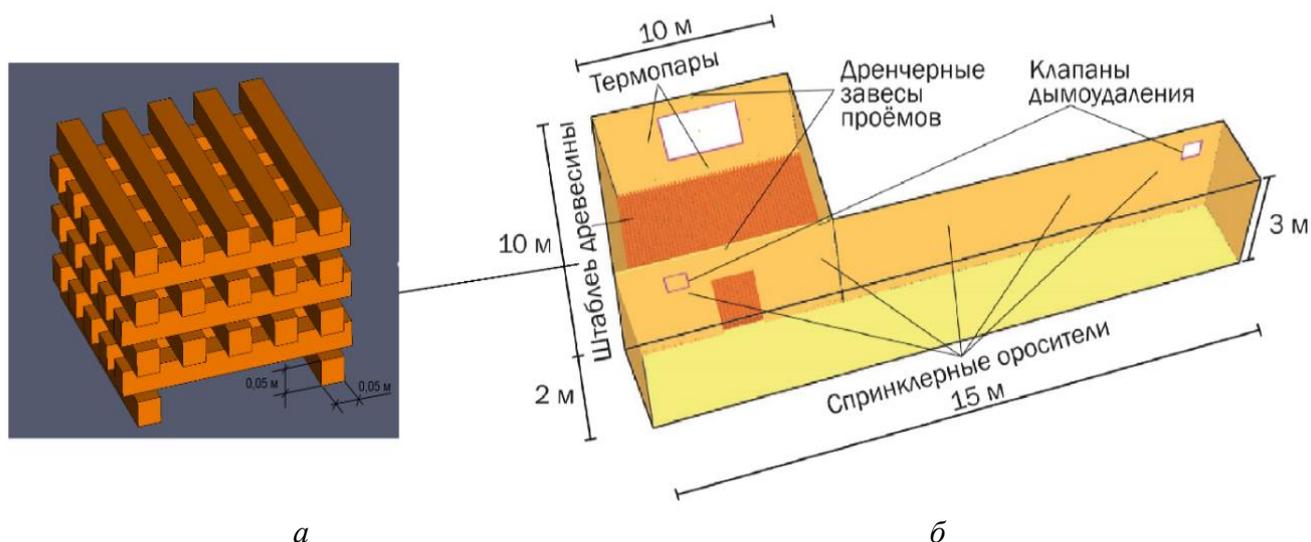


Рисунок 2.16 – Модель помещения с деревянным штабелем и коридором с активными СППЗ:

a – штабель древесины; *б* – равномерное распределение штабеля по площади помещения

Помещение очага пожара принималось размерами $10 \times 10 \text{ м}$ (площадью 100 м^2), с целью упрощения и согласно анализа планировочных решений

квартир ВЖЗ, средняя площадь которых около 112,7 м²; оконный проем размерами 2×1,5 м и дверной проем размерами 2,0×1,0 м в изначально открытом положении; размеры коридора согласно требованиям норм 15×2 м высота помещения и коридора 3 м. В качестве горючей нагрузки принималась древесина в виде брусков, уложенных на уровне пола по всей длине помещения в штабель [139]. Размеры деревянного бруска составляют 10×0,05×0,05 м и пример их расположения представлен на рисунке 2.16.

Средние значения плотности древесины нормализованной влажности (12% влажности) для наиболее распространенных хвойных пород древесных растений, произрастающих в РФ [140], приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Значения плотностей древесины разных пород в РФ

Порода	ρ_{12} , кг/м ³	Район произрастания
Лиственница даурская	643	Дальний Восток
	613	Якутия
Лиственница сибирская	673	Север, Урал
	653	Западная Сибирь
	634	Восточная Сибирь
Сосна обыкновенная	505	Кольский п-ов
	525	Урал
	475	Западная Сибирь
	465	Восточная Сибирь
Ель обыкновенная	484	Север Европейской части
	455	Центральная часть
Ель сибирская	436	Восточная Сибирь
	386	Западная Сибирь
	455	Дальний Восток
Кедр	426	Урал
	455	Алтай
	445	Восточная Сибирь
Пихта сибирская	406	Алтай
	356	Западная Сибирь
	346	Восточная Сибирь
Среднее значение плотности	491,8 кг/м³	

Размеры вычислительной сетки принимались при моделировании горения штабеля равными 5×5×5 см, а в коридоре 10×10×10 см, ввиду размеров его составных деревянных брусков.

Анализ нормативных документов в части пожарной безопасности (в том числе и СТУ) и технических требований к активным СППЗ ВЖЗ показывает, что наиболее частыми решениями (мероприятиями) являются (рисунок 2.16):

- устройство дренчерных завес над входным дверным проемом и над оконными проемами;
- устройство АУПТ спринклерного типа в приквартирных поэтажных коридорах и холлах;
- устройство систем ПДВ: дымоудаления из поэтажных коридоров (холлов), подземных паркингов и атриумов (при их устройстве) с учетом компенсации удаляемого воздуха; подпора воздуха в незадымляемые лестничные клетки типов Н2 и Н3, либо их сочетание Н2+Н3, лифтовые шахты, пожаробезопасные зоны и так называемые и встречаемые в практике проектирования «коридоры безопасности» (по сути «пожаробезопасные зоны», устроенные в проходных коридорах).

В РФ требования к системам АУПС и АУПТ в ВЖЗ регламентируются [22, 23, 141]. Имеются нормативные документы требования, которых [50, 54] носят рекомендательный характер в целях повышения уровня обеспечения пожарной безопасности, зачастую усложнением СОПБ и, возможно, «перестраховываясь» в виду малой изученности и относительно небольшого опыта проектирования и строительства ВЖЗ. Система АУПС предусматривает передачу информации о пожаре на службу «01» (по радиоканалу)» в диспетчерскую, при наличии таковой, а также на пульт «ФКУ ЦУКС» и ближайшую ПСЧ [22,23,50,54].

«Жилые помещения квартир в жилых зданиях высотой в три этажа и более следует оборудовать автономными оптико-электронными дымовыми пожарными извещателями» согласно Таблицы А.1 [141], для ВЖЗ – аналоговыми дымовыми извещателями АУПС адресного типа с передачей сигнала беспроводным (безканальным) путем. По [22, 50] пожарные извещатели, устанавливаемые в помещениях каждой квартиры, должны подключаться к поэтажному лучу АУПС через промежуточное приемно-

контрольное устройство. Промежуточное приемно-контрольное устройство должно выдавать звуковой сигнал «Пожар» непосредственно в квартиру, и его необходимо устанавливать при входе каждой квартиры.

Основные требования при проектировании системы пожаротушения: интенсивность подачи огнетушащего вещества должна составлять не менее $0,08 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ [141], а расход воды должен составлять не менее 1 л/с на погонный метр, то есть требования к устройству АУПТ, к расходам и интенсивностям подачи воды для ВЖЗ не идентичны в зависимости от высоты жилых зданий. В отличие от других жилых зданий, в ВЖЗ все встроенные и встроенно-пристроенные нежилые помещения: автостоянки, вспомогательные, технические и общественные помещения, мусоросборные камеры и ствол мусоропровода оборудуются, как правило, спринклерными АУПТ [22, 50].

Над входными дверями квартир снаружи (квартирах, холлах) часто в практике строительства предусматривают установку спринклерных оросителей, подключенных к стоякам ВПВ (п. 7.10.2. [50]). Как альтернатива данному техническому решению, устройство противопожарных дверей с пределом огнестойкости EI 45-60 во входных проемах квартир.

В целях предотвращения выхода пожара и его распространения по фасаду здания встречаются решения по устройству АУПТ над оконными проемами.

Как показывает анализ полученного «реального» температурного режима с действием АУПТ (рисунок 2.18) над проемами помещения 100 м^2 (условной упрощенной квартиры с усредненной площадью), воздействие на него систем автоматического тушения незначительно и оказывает влияние на снижение средней температуры в помещении не более, чем на $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Данные решения по устройству АУПТ направлены скорее на локализацию и нераспространение пожара за пределы квартиры. Поэтому целесообразно обеспечивать продолжительность работы АУПТ по времени, равному пределу огнестойкости ограждающих строительных конструкций квартир.

Динамика развития пожара и влияние на температурный режим АУПТ с тонкораспыленной водой в пределах этажа ВЗ с помощью FDS рассмотрены в работах [142,143]. Результаты этих работ показывают, что применение АУПТ с тонкораспыленной водой обеспечивает снижение температур в начальной стадии развития пожара до 350-400 °С и безопасность железобетонных конструкций. Соответственно, их устройство может позволить снизить требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ.

Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении рассмотрена в работе (таблица 2.8) [144].

Таблица 2.8 – Результаты расчета эквивалентной продолжительности пожара различными методами [144]

Вид конструкции	Проёмность, м ^{0,5}	Результаты расчета t _{экв} , мин		
		FDS 6	ГОСТ Р 12.3.047-2012	EN1991-1-2-2009
Перекрытие	0,1	47	69	62
	0,17	76	93	54
	0,26	162	90	45
Стена	0,1	47	240	62
	0,17	76	204	54
	0,26	162	192	45
Колонна	0,1	47	180	62
	0,17	76	138	54
	0,26	84	126	45

Результаты расчета эквивалентной продолжительности пожара с использованием FDS 6 и Еврокодов [78,79] дают более-менее сравнимые значения при проемности до 0,17 м^{0,5}. Значения по стандарту [81] более высокие и для стен с минимальной проемностью 0,1 м^{0,5} достигают 240 минут. Как отмечают авторы работы [144], причины этого кроются не вполне ясной методологии получения кривых температурных режимов в [45, 80,81].

Моделирование «реального» температурного режима проводилось при работе систем вытяжной механической ПДВ с дымовыми клапанами $0,5 \times 0,5$ м и расходом $6,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Пожарная безопасность систем вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования ВЖЗ, а также систем противодымной защиты должна соответствовать требованиям, установленным в СП [22,145,146]. При выявлении несоответствий между требованиями, приоритетным является выполнение положений [22].

В составе противодымной защиты ВЖЗ должна быть предусмотрена система приточно-вытяжной ПДВ, обеспечивающая расчетные режимы совместного действия при различных сценариях развития пожара в одном из помещений в пределах одного пожарного отсека.

В зависимости от объёмно-планировочных решений ВЖЗ приточно-вытяжная механическая ПДВ в пределах пожарного отсека должна предусматривать выполнение следующих целей:

- обеспечение безопасной эвакуации людей;
- обеспечение деятельности пожарных подразделений по тушению пожара.

Для выполнения этих целей предусматривается выполнение следующих задач (рисунок 2.17):

- удаление продуктов сгорания из поэтажных коридоров, холлов, встроенных помещений (отдельных пожарных отсеков, как правило, на нижних этажах) других классов функциональной пожарной опасности, а также из многосветных помещений (атриум, пассаж);

- подача наружного воздуха для создания избыточного давления не менее 20 Па и не более 150 Па в незадымляемых лестничных клетках типа Н2, тамбур-шлюзах незадымляемых лестничных клетках типа Н3, шахтах лифтов для пожарных (лифтов для спасения МГН), лифтов, имеющих режимы «пожарная опасность», «перевозка пожарных подразделений» и тамбур-шлюзах при

лифтовых холлах на уровнях подземных этажей, перед входами в многосветные помещения, а также в пожаробезопасных зонах (безопасных зонах для МГН).

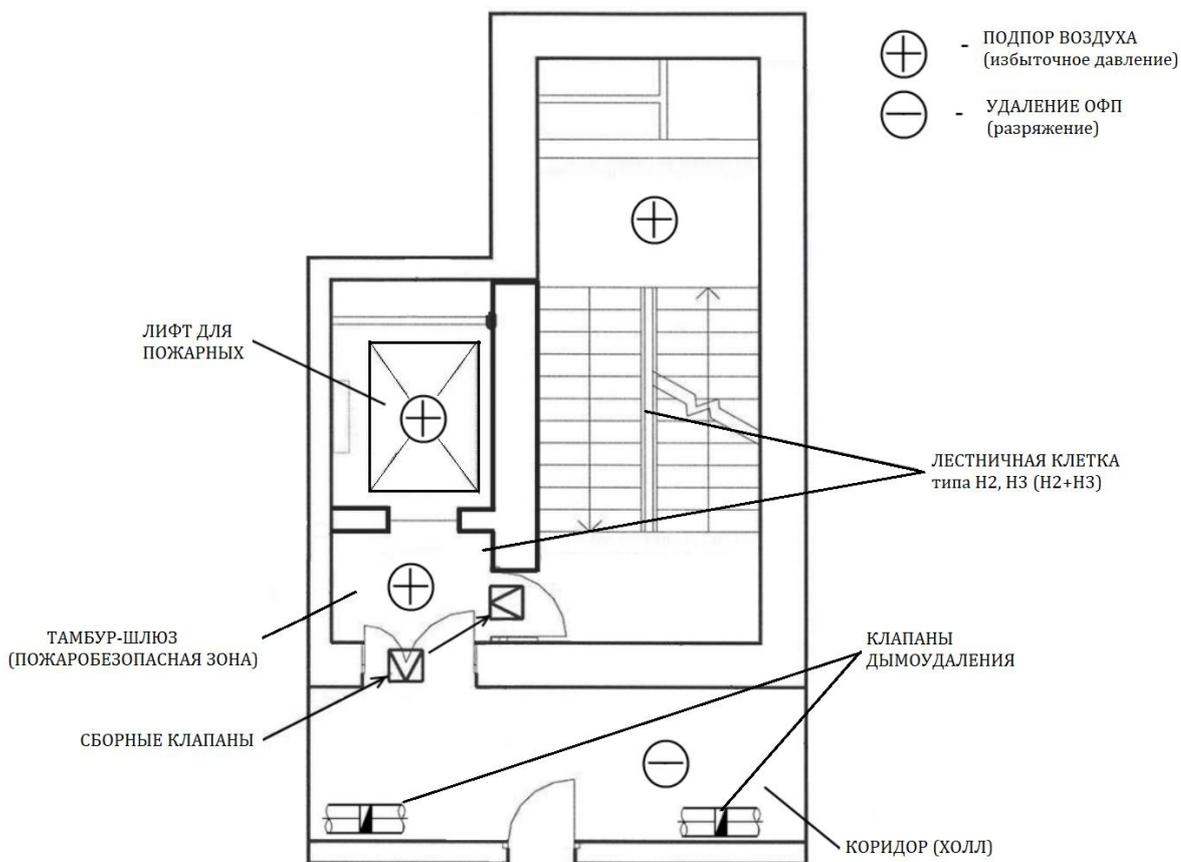


Рисунок 2.17 – Условное размещение систем механической ПДВ

По требованиям [24] п.4.4.12 в зданиях высотой более 28 м Ф 1.3 следует предусматривать незадымляемые лестничные клетки не менее 50%, как правило, типа Н1 и не более 50% типов Н2 и Н3. Данные требования не всегда получается выполнить ввиду особенностей некоторых архитектурных объемно-планировочных решений проектов ВЖЗ, поэтому в рамках СТУ применяются решения по комбинированию незадымляемых лестничных клеток типов Н2+Н3.

Расчетные параметры систем приточно-вытяжной ПДВ подлежат определению в соответствии с [145]. Расход дыма, удаляемого системами вытяжной ПДВ, определяется по расчету с учетом удельной пожарной нагрузки, геометрических характеристик объемно-планировочных элементов, положения проемов и расчетных параметров наружного воздуха.

При проведении расчетов параметров систем ПДВ применяются методики, изложенные в [147,148]. Расчеты параметров систем приточной ПДВ проводятся: а) при закрытых дверях на всех этажах, кроме основного посадочного – для лифтовых шахт; б) при открытых дверях на путях эвакуации из коридоров и холлов или непосредственно из помещений на этаже пожара в лестничную клетку или при открытых дверях из здания наружу и закрытых дверях коридоров и холлов всех этажей – для незадымляемой лестничной клетки; в) при закрытых дверях на этаже пожара – для тамбур-шлюзов. Давление в нижней части пожарного отсека не должно быть меньше 20 Па, а в верхней части – не более 150 Па. За рубежом давление принимается от 12,5 Па до 60 (67) Па.

Массовый расход продуктов горения, удаляемых из коридора через клапаны дымоудаления ($G_{\text{пг}}$, кг/с), определялся по формуле [148]:

$$G_{\text{пг}} = AV_{\text{п}}H_{\text{п}}^{3/2} = 0,96 \cdot 1,2 \cdot 2,1^{3/2} = 3,51 \text{ кг/с, где:}$$

$$A \text{ – размерный коэффициент, } A = 0,96 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^{5/2};$$

$$V_{\text{п}} \text{ – ширина дверного проема из коридора в лестничную клетку, м;}$$

$$H_{\text{п}} \text{ – высота дверного проема из коридора в лестничную клетку, м.}$$

Сечение клапанов дымоудаления $a_{\text{кл}} \times b_{\text{кл}} = 0,5 \times 0,5$ м, коридор прямоугольный (15 м), высота коридора 3 м, размеры дверей из помещения в коридор (1,0×2,0 м), расстояние по вертикали от уровня пола до нижней границы клапанов дымоудаления 2,0 м, расстояние от помещения с очагом пожара до дымового клапана (х) 2 м, температура внутреннего воздуха ($T_{\text{в}}$) 20°С, удельную пожарную нагрузку (g_0) принимаем по максимальному значению для жилых зданий 50 кг/м², предельная толщина дымового слоя ($h_{\text{д}}$) 1,0 м, площадь коридора ($a \times b = 15,0 \times 2,0$ м) 30 м².

Максимальная среднеобъемная температура в горящем помещении при пожаре, регулируемом вентиляцией $T_{0\text{макс}}$:

$$T_{0\text{макс}} = T_{\text{в}} + 940 \exp(0,0047g_0 - 0,141) = 293 + 940 \exp(0,0047 \cdot 50 - 0,141) = 293 + 940 \cdot 1,09856 = 1325,65 \text{ К.}$$

Температура газов, поступающих из горящего помещения в коридор, (T_0) составит:

$$T_0 = 0,8T_{0\text{макс}} = 0,8 \cdot 1325,65 = 1060,52 \text{ К.}$$

Температура продуктов горения $T_{\text{пг}}$, удаляемых из коридора прямолинейной формы составляет:

$$\begin{aligned} T_{\text{пг}} &= (0,0368x^2 - 3,9259x + 119,81) + T_{\text{в}} \\ &+ \frac{1,22(T_0 - T_{\text{в}})(2h_{\text{д}} + \frac{F_{\text{кор}}}{l_{\text{кор}}})}{l_{\text{кор}}} \left(1 - \exp\left(\frac{-0,58l_{\text{кор}}}{2h_{\text{д}} + \frac{F_{\text{кор}}}{l_{\text{кор}}}}\right) \right) \\ &= (0,0368 \cdot 2^2 - 3,9259 \cdot 2 + 119,81) + 293 + \frac{1,22(1060,52 - 293)(2 \cdot 1 + 30/15)}{15} \left(1 - \right. \\ &\left. \exp\left(\frac{-0,58 \cdot 15}{2 \cdot 1 + 30/15}\right) \right) = 112,11 + 293 + 249,7(1 - 0,114) = 626,34 \text{ К.} \end{aligned}$$

Плотность продуктов горения ($\rho_{\text{пг}}$): $\rho_{\text{пг}} = \frac{353}{626,34} = 0,564 \text{ кг/м}^3$.

Площадь проходного сечения одного дымового клапана $F_{\text{кл}}$ составит:

$$F_{\text{кл}} = (a_{\text{кл}} - 0,03)(b_{\text{кл}} - 0,05) = (0,5 - 0,03)(0,5 - 0,05) = 0,2115 \text{ м}^2.$$

Скорость продуктов горения в клапане $V_{\text{кл}}$:

$$V_{\text{кл}} = \frac{G_{\text{пг}}}{F_{\text{кл}}\rho_{\text{пг}}} = \frac{3,51}{0,2115 \cdot 0,564} = 29,4 \text{ м/с.}$$

Расход продуктов горения:

$$L = F_{\text{кл}} \cdot V_{\text{кл}} = 0,2115 \cdot 29,4 = 6,2 \text{ м}^3/\text{с.}$$

При моделировании пожаров полевым методом «реальных» температурных режимов по различным сценариям возможно получение множества различных температурных режимов (зависимостей «температура - время») и получение которых требует значительных трудозатрат и расчетного времени. Выбор экспертным путем наиболее критичных и неблагоприятных по своим последствиям сценариев развития пожара также вызывает определенные трудности и неопределенности ввиду сложности и малой изученности развития всей продолжительности пожара до стадии затухания. Хотя выбор экспертным путем наиболее критичных и неблагоприятных сценариев развития пожара

позволяет снизить количество возможных моделируемых сценариев, но при этом также остается проблема приведения к одному «реальному» температурному режиму в целях упрощения дальнейших теплотехнических расчетов несущих конструкций. В настоящее время расчет пределов огнестойкости при «реальных» температурных режимах ведется при свободном развитии пожара в течение всей продолжительности пожара до выгорания пожарной нагрузки, не принимая в учет действия активных СППЗ, что может повлиять как на завышение требуемых пределов огнестойкости, либо их недооценке.

Для приведения к одному «реальному» температурному режиму автором применен следующий подход. По пиковым (максимальным) значениям температур всех рассчитанных сценариев развития пожара построен наиболее «критичный реальный» температурный режим пожаров (рисунок 2.18), то есть, наиболее «критичный реальный» температурный режим пожаров – это «реальный» температурный режим, полученный по максимальным пиковым значениям температур температурных режимов наиболее опасных по своим последствиям сценариев развития возможных пожаров. По полученному температурному режиму были произведены расчеты огнестойкости на примере железобетонной колонны.

Подобный подход применялся при принятии в начале XX века в США стандартного температурного режима [149] (называемого также «целлюлозным»), полученным путем сжигания древесины в объеме помещения и ранее произошедшим пожарам и измерений на них температуры в помещении. В 1916 и 1917 годах в США были организованы две конференции с целью принятия американских стандартов, регламентирующих проведение огневых испытаний строительных конструкций. По их результатам принятие стандарта ASTM C19 (позднее переименованный в E119), который был издан 24 февраля 1917 года [150]. В новом стандарте была описана кривая «температура-время», которая практически не изменилась с того времени.

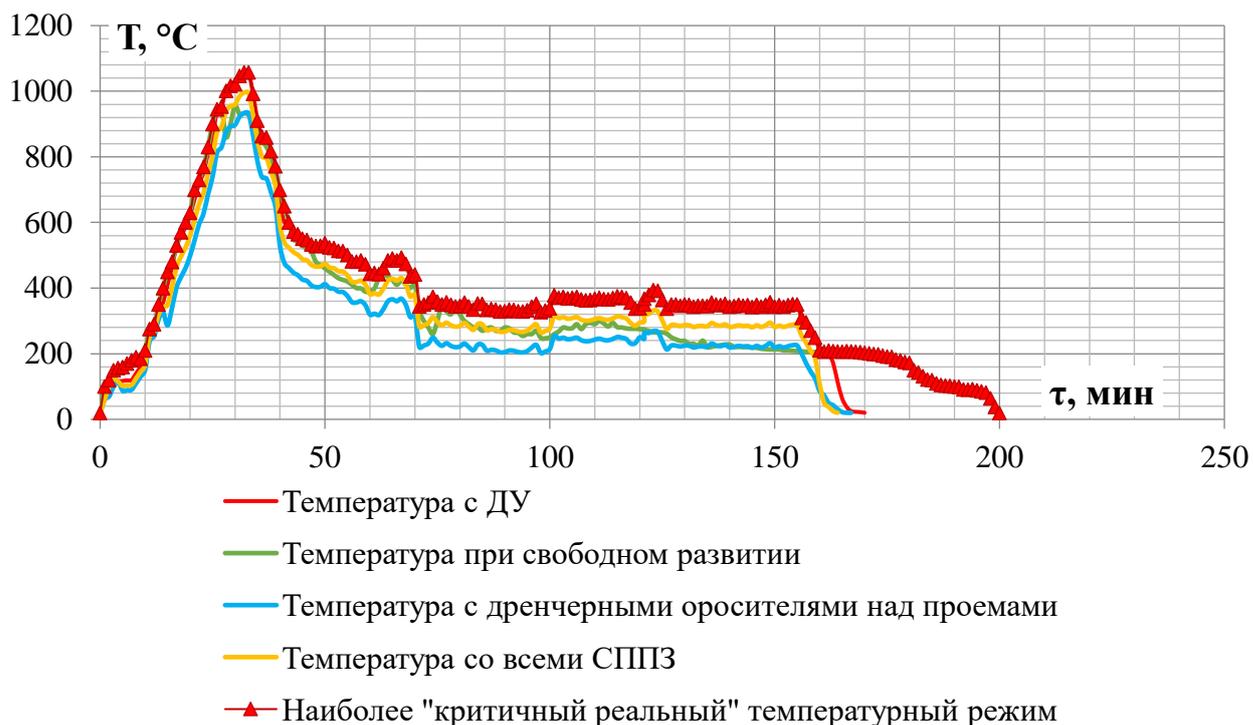


Рисунок 2.18 – Наиболее «критичный реальный» температурный режим в квартире ВЖЗ

На рисунке 2.19 представлены некоторые температурные кривые огневых испытаний, проведенных до 1917 года, а также показаны различия между ними. На конференциях были исследованы около дюжины таких кривых, по которым проводились огневые испытания. В результате чего была получена стандартная температурная кривая. С 1917 года огневые испытания строительных конструкций во всем мире претерпели ряд изменений, однако стандартную температурную кривую до сих пор применяют при проведении испытаний для строительных конструкций гражданских ЗИС во многих странах мира, в том числе и в РФ [46, 150].

Как видно из рисунка 2.19, стандартный температурный режим принимался по максимальным и усредненным температурам различных температурных режимов, по которым проводились испытания. Время испытаний принималось, по-видимому, по продолжительности ранее произошедших пожаров на различных объектах без учета стадии затухания пожара, в процессе которого возможно наступление потери огнестойкости строительной конструкции.

Проведенные в XX веке научные исследования в разных странах мира показали, что «реальные» температурные режимы пожара могут значительно отличаться от стандартного температурного режима, применение которого может привести к закладыванию в проект завышенных параметров пожарной безопасности (требуемых пределов огнестойкости) или к недооценке теплового воздействия [45,109,150].

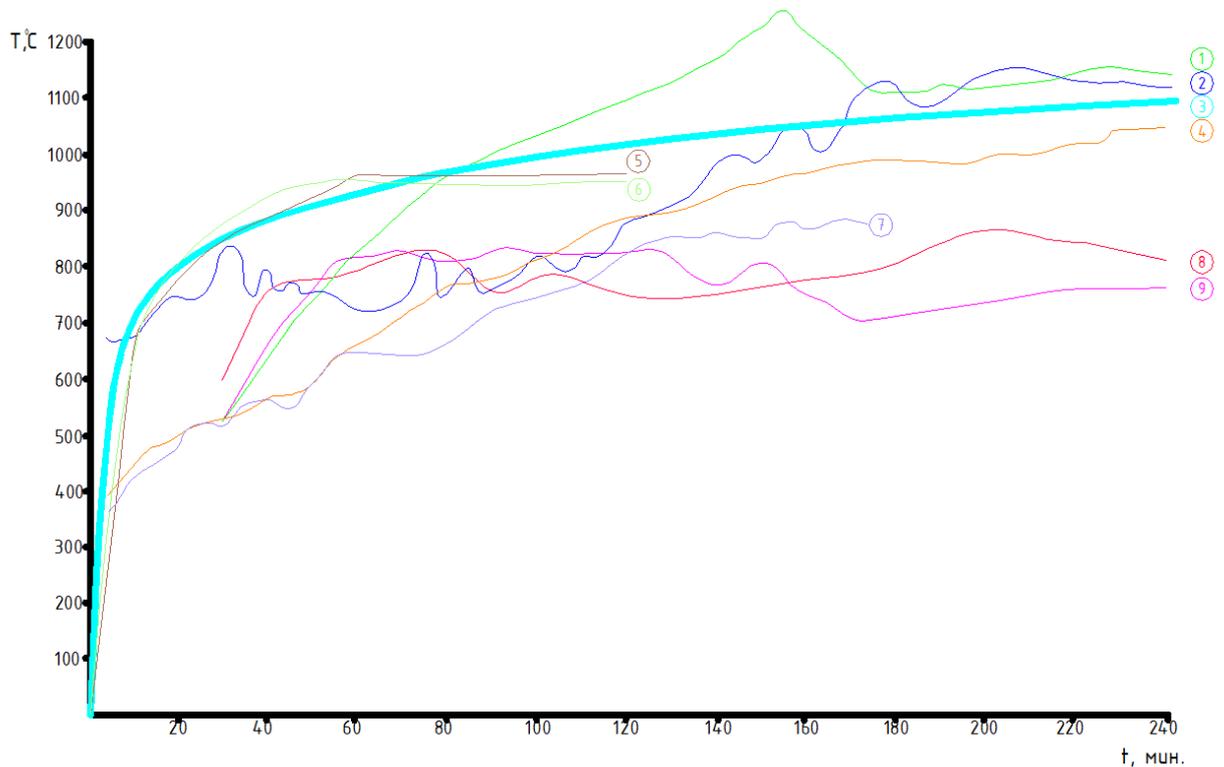


Рисунок 2.19 – Получение стандартной кривой (ASTM) при сравнении с ранее применяемыми температурными кривыми до 1917 г.:

- 1 – Температурная кривая Нью-Йоркских испытаний 1896 года (США);
- 2 – Температурная кривая испытаний, проводимых под руководством Вулсона (США);
- 3 – Стандартная температурная кривая ASTM стандарта C19, принятая в 1917 году (США);
- 4, 7 – Температурная кривая испытаний, проводимых британским комитетом противопожарной защиты (Великобритания);
- 5, 6 – Температурная кривая испытаний, проводимых под руководством Хамфри (США);
- 8, 9 – Температурная кривая испытаний, проводимых в Денвере (США).

Следующим этапом моделирования было рассмотрено влияние размещения горючей нагрузки на температурный режим пожара. Рассматривались следующие варианты расположения горючей нагрузки:

- равномерно по всей площади помещений (*а*);
- по всей площади и на уровне пола помещения штабеля (*в*);
- действительного расположения мебели в квартире по дизайн-проекту (*г*), рисунок 2.20). Данные подходы позволяют учитывать всю продолжительность пожара (в том числе и стадию затухания).

Также проведено моделирование в зависимости от мощностей тепловыделения с 1 м^2 (Q , кВт/м²) по справочным данным [151,152] для сравнения со стандартным температурным режимом (*б*), рисунок 2.20).

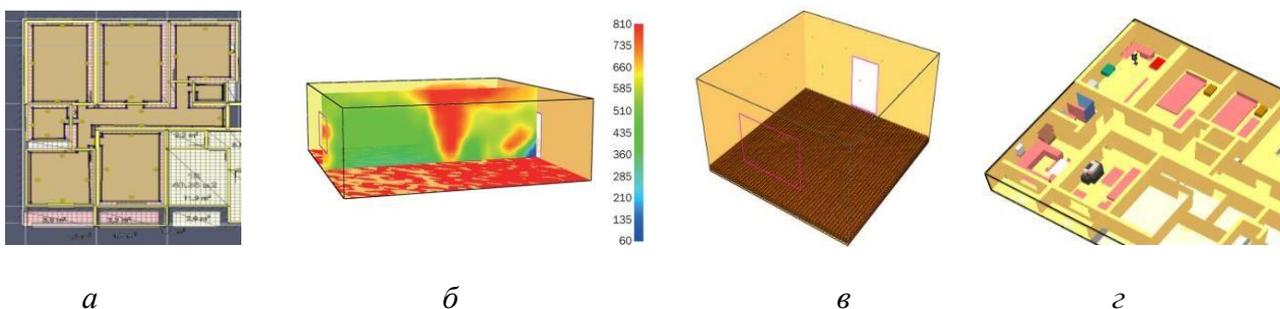


Рисунок 2.20 – Варианты расположения горючей (пожарной) нагрузки:
а – равномерно распределенная по площади пола ПН; *б* – на уровне пола мощность тепловыделения; *в* – равномерно распределенный по площади пола штабель; *г* – реальное размещение мебели

Расположение пожарной нагрузки различным способом значительно влияет на «реальный» температурный режим и время её выгорания.

При указанных на рисунке позиций, *а*) – равномерно распределенной по площади пола пожарной нагрузки и *в*) – равномерно распределенному по площади пола пожарной нагрузки в виде штабеля из брусков значения среднеобъемной температуры и средней температуры в при потолочном пространстве значительно ниже, чем при реальном размещении мебели – *г*). Поэтому при выборе данного расположения пожарной нагрузки при расчете огнестойкости несущих конструкций может привести к недооценке и принятию при расчетах менее «жестких» температурных режимов.

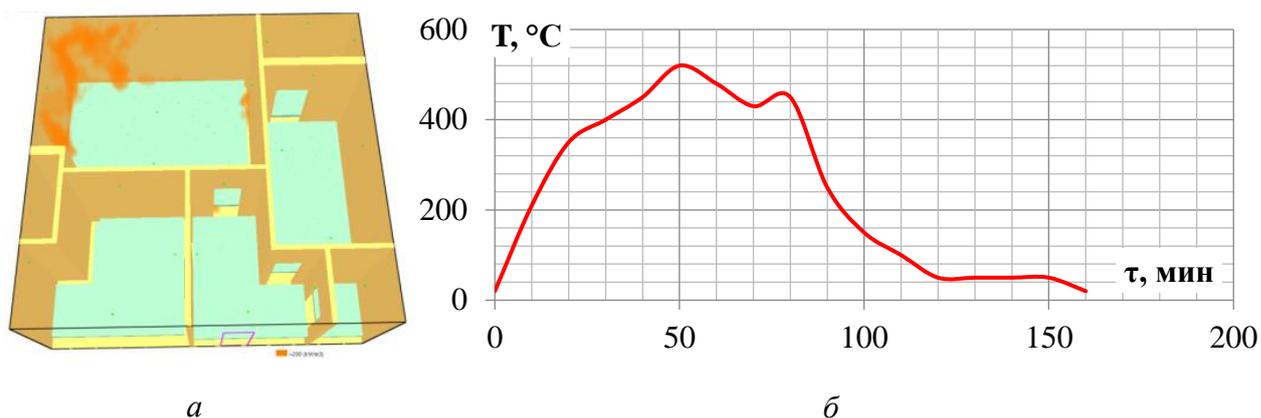


Рисунок 2.21 – Процесс выгорания при равномерном распределении пожарной нагрузки по площади пола (а) и полученная среднеобъемная температура в квартире (б)

Также при равномерно распределенной по площади пола пожарной нагрузки (рисунки 2.20 а, 2.21) и размещении очага пожара под ней образуется своего рода пласт, языки пламени которого и более высокие температуры в начальной стадии развития пожара сосредоточены вдоль стен и перегородок, что не отражает реального развития пожара. Поэтому ввиду того что «реальные» температурные режимы получаются ниже и далеки от действительного развития пожара, использование равномерно распределенной по площади пола пожарной нагрузки (а) вызывает большие сомнения при расчетах огнестойкости.

При размещении пожарной нагрузки (в виде «горелки» и задании в её исходных данных мощности тепловыделения, рисунок 2.20 б) на уровне пола не учитывается стадия затухания пожара (нисходящая температурная кривая – рисунки 2.22, 2.23).

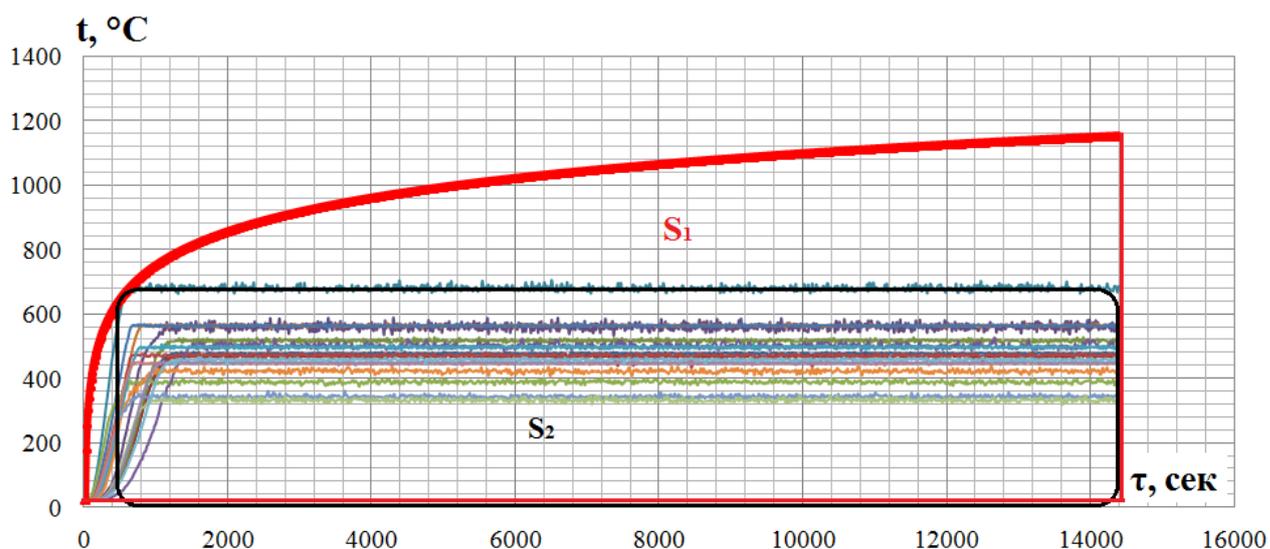


Рисунок 2.22 – Соотношение площадей фигур под «реальными» температурными режимами и стандартным температурным режимом по схожей с жильем пожарной нагрузкой:

S_1 – стандартный температурный режим; S_2 – «реальный» температурный режим;

- жилые помещения гостиниц; — I-II CO мебель + ткани; — III-IV CO мебель + ткани;
- кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25); — верхняя одежда: ворсовые ткани (шерсть + нейлон);
- мебель: дерево + облицовка (0,9 + 0,1); — гардеробы; — подсобные и бытовые помещения;
- I-II CO мебель + бытовые изделия; — III-IV CO мебель + бытовые изделия;
- I CO мебель + ткани (0,75 + 0,25); — III CO мебель + ткани (0,75 + 0,25); — резинотехнические изделия;
- вешала текстильных изделий; — мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2); — хранилища библиотек, архивы

Полученные температурные режимы по известным справочным данным показывают, что стандартный температурный режим имеет максимальные значения температур в 1,5-2 раза выше. Соотношение площадей под температурными режимами S_1/S_2 в интервале от 1,3 до 2,7 для наиболее близких по качественному составу пожарной нагрузки к жилым и вспомогательным помещениям ВЖЗ (рисунки 2.22, 2.23). Это также говорит об изначальном завышении фактических пределов огнестойкости основных несущих конструкций по результатам стандартных огневых испытаний и, возможно, о нецелесообразности использования коэффициента огнестойкости (K_o) для жилых зданий.

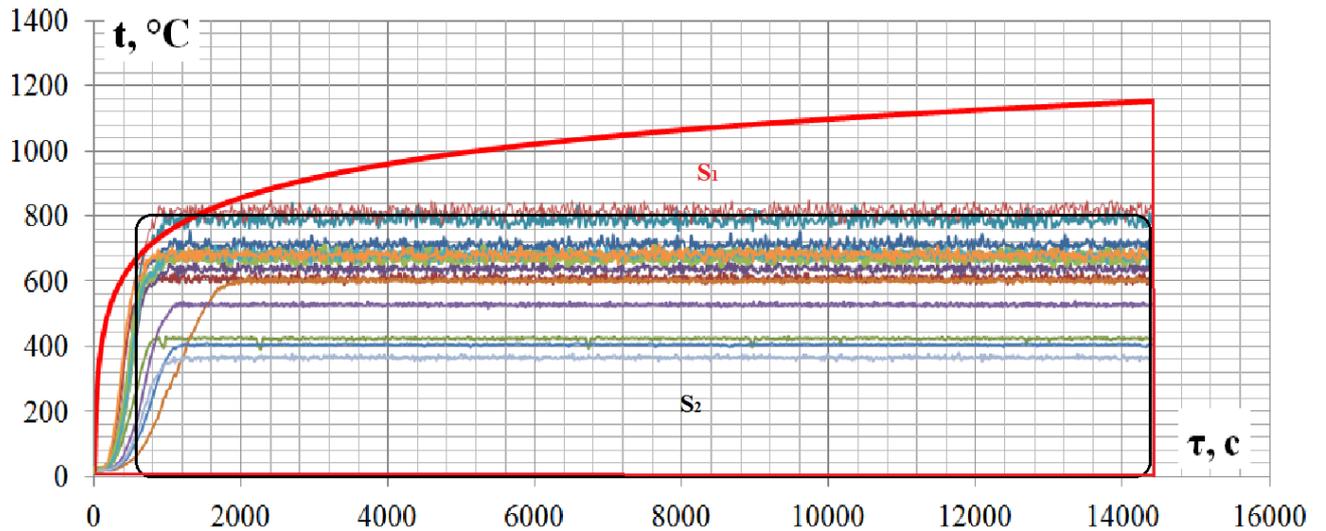


Рисунок 2.23 – Соотношение площадей фигур под «реальными» температурными режимами и стандартным температурным режимом:

S1 – стандартный температурный режим; S2 – «реальный» температурный режим;

- кабельный подвал/лоток: кабели АВВГ + АПВГ; — радиоматериалы: полиэтилен, полистирол, полипропилен, гетинакс;
- электротехнические материалы: текстолит, карболит; — электрокабель АВВГ: ПВХ-оболочка + изоляция;
- электрокабель АВВГ: ПВХ-оболочка + полиэтилен; — телефонный кабель ТВП: ПВХ + полиэтилен;
- пищевая промышленность: пшеница, рис, гречка и мука из них; — кабели + провода: 0,75 (АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25 (КПРТ, ПР, ШРПС);
- автомобиль: 0,3 (резина, бензин) + 0,15 (ППУ, искусственная кожа, ПВХ) + 0,1 (эмаль);
- подсобные и бытовые помещения; — стоянка легковых автомобилей;
- стоянка легковых автомобилей с 2-уровневым хранением; — спортзал

Моделирование пожаров в одно-, двух-, трех- и четырехкомнатных квартирах осуществлялось с действительным расположением мебели и предметов интерьера с материалами, из которых они выполнены: дерево, ткань, ПВХ, бумага и другие (рисунки 2.24 – 2.31). Задавались также теплофизические свойства ограждающих конструкций (железобетон, огнеупорный кирпич) квартиры (рисунок 2.24).

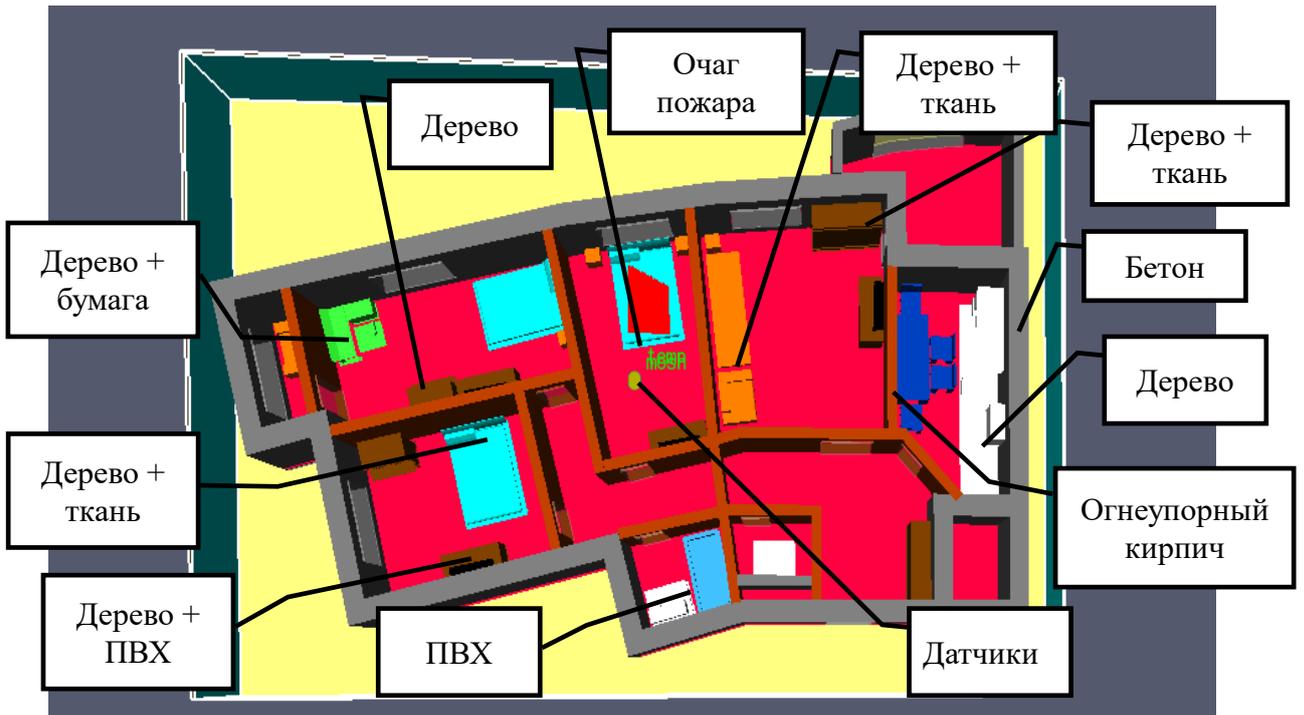


Рисунок 2.24 – Пример модели квартиры с задаваемыми материалами

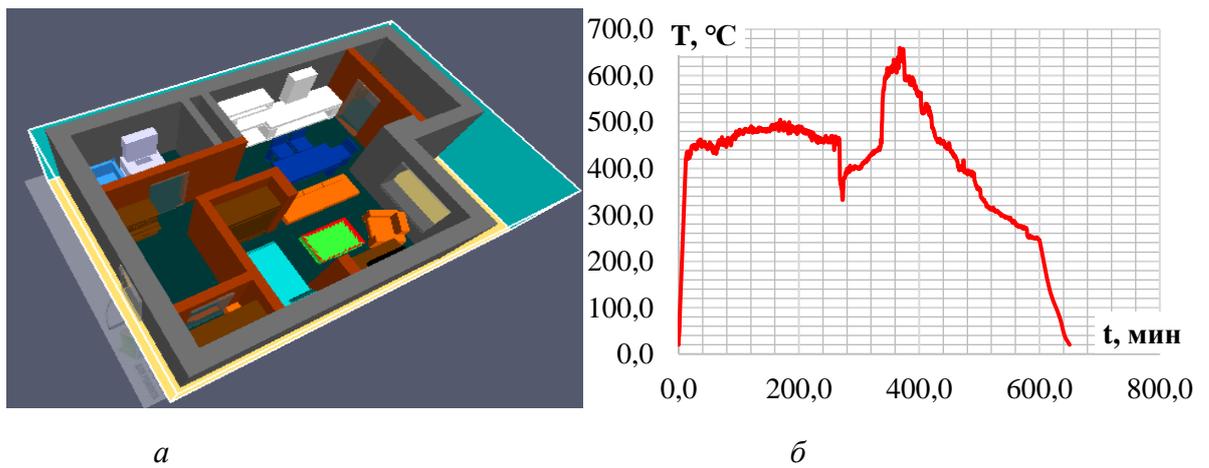


Рисунок 2.25 – Модель однокомнатной квартиры (а) и полученная среднеобъемная температура по результатам математического моделирования (б)

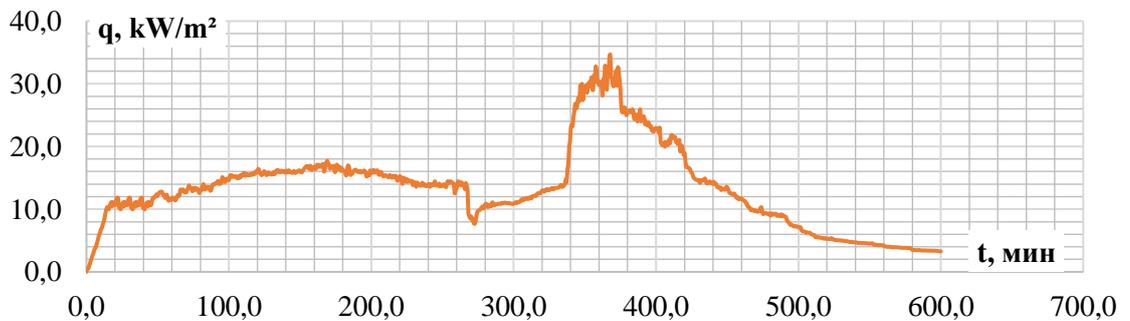


Рисунок 2.26 – Изменение потока теплового излучение в припотолочном пространстве однокомнатной квартиры

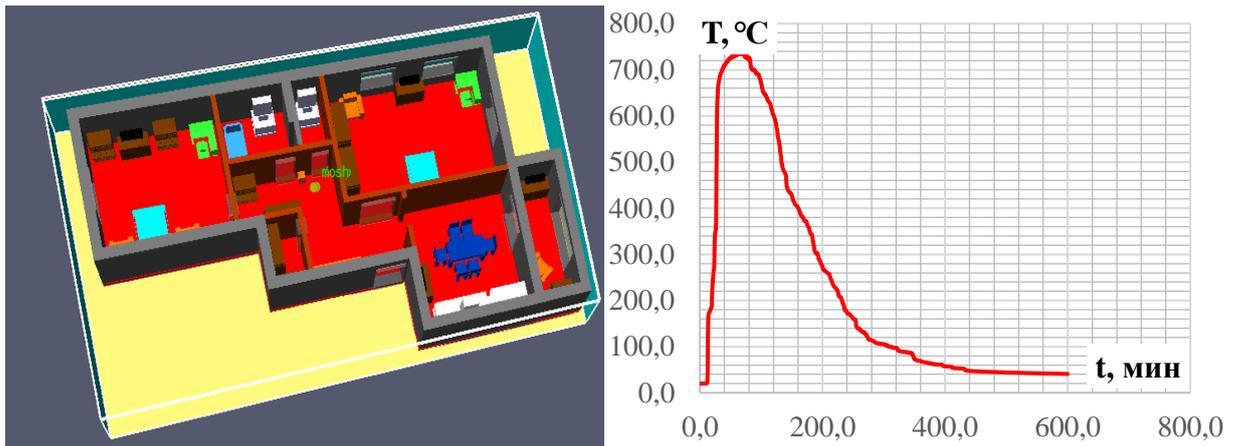
*a**б*

Рисунок 2.27 – Модель двухкомнатной квартиры (а) и полученная среднеобъемная температура по результатам математического моделирования (б)

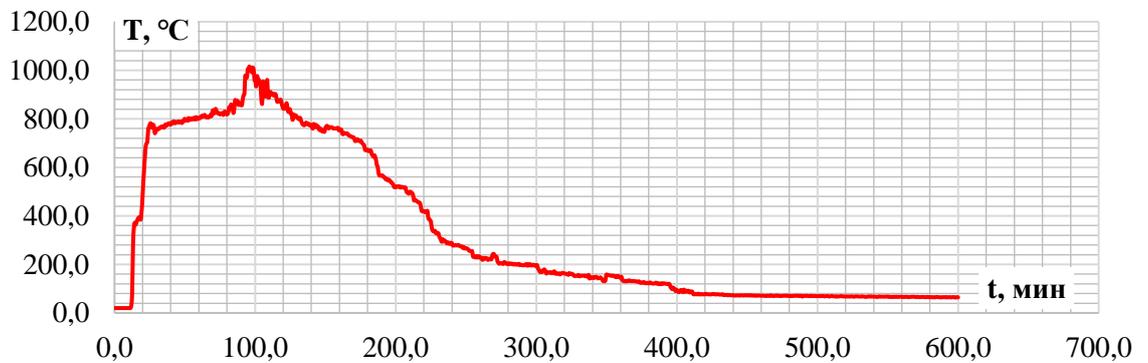


Рисунок 2.28 – Изменение средней температуры в припотолочном пространстве двухкомнатной квартиры

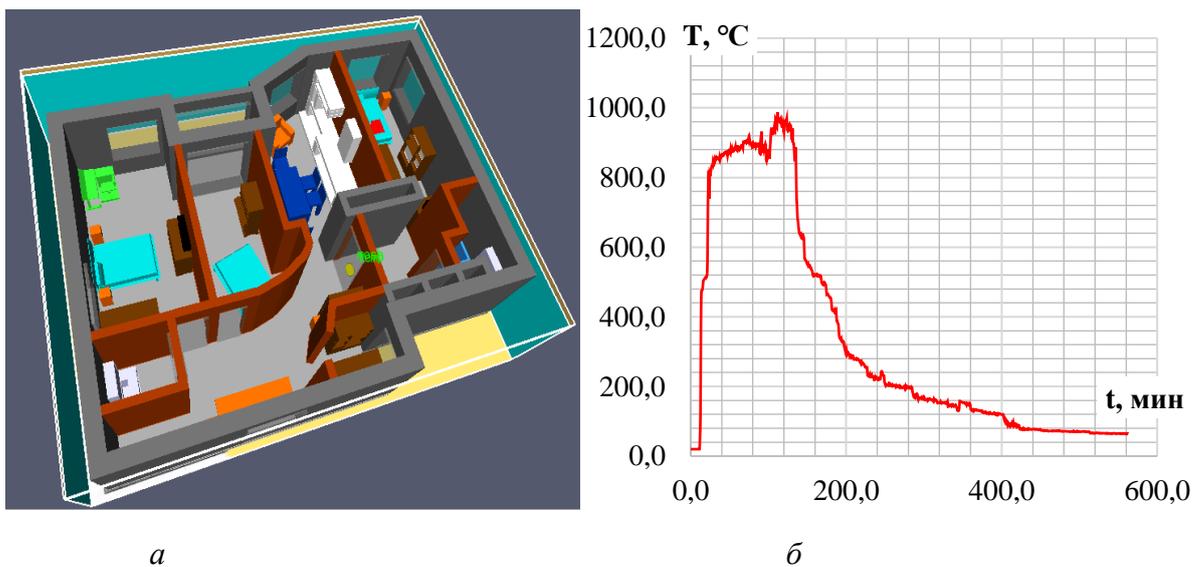
*a**б*

Рисунок 2.29 – Модель трехкомнатной квартиры и полученная среднеобъемная температура по результатам математического моделирования

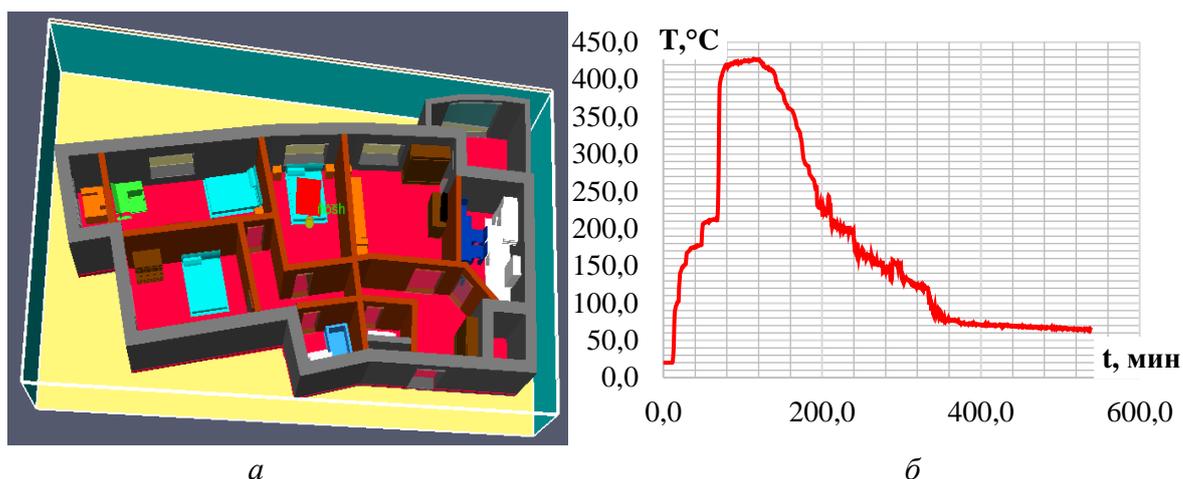


Рисунок 2.30 – Модель четырехкомнатной квартиры (а) и полученная среднеобъемная температура по результатам математического моделирования (б)

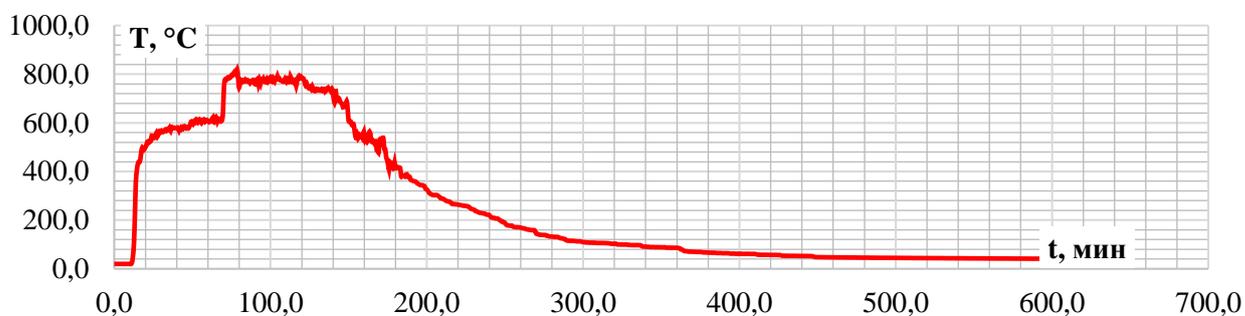


Рисунок 2.31 – Изменение средней температуры в припотолочном пространстве четырехкомнатной квартиры

По результатам моделирования получены зависимости «температура-время» для современных квартир ВЖЗ (рисунок 2.32). Значения средней температуры в припотолочном пространстве на 200 – 350 °С выше, чем среднеобъемная температура в целом в квартире.

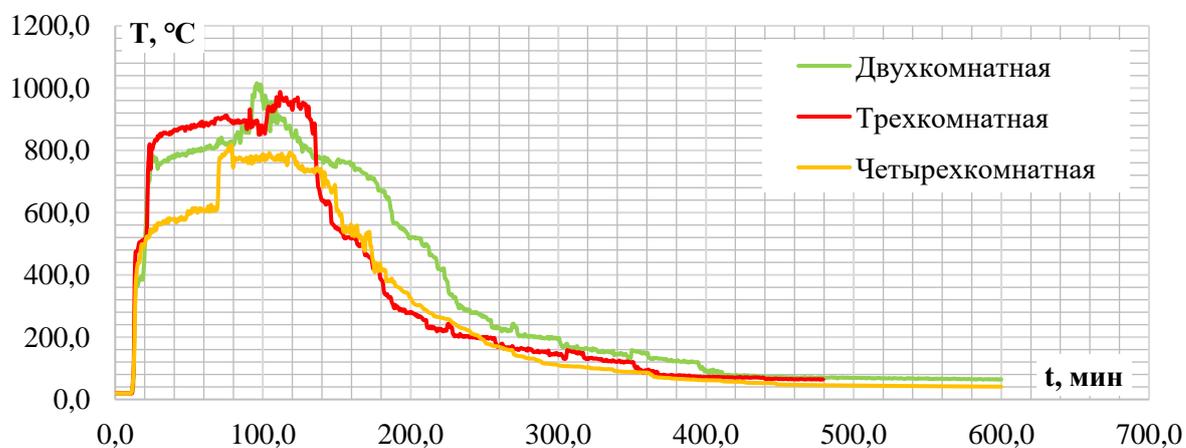


Рисунок 2.32 – Среднеобъемные температурные режимы для двух-, трех- и четырехкомнатных квартир

Время свободного выгорания пожарной нагрузки при действительном расположении мебели не превышает 240 минут. Требуемые пределы огнестойкости межквартирных противопожарных преград рассмотрены в работе [108], по которой для предотвращения распространения пожара за пределы квартиры необходимо предусмотреть междуэтажное перекрытие с требуемым пределом огнестойкости не менее REI 60, межквартирные несущие стены и входные двери – EI 60. Возможно и дополнительное дублирование защиты проемов АУПТ.

2.4 Теоретические основы влияния на «реальный» температурный режим пожара введенных пожарных стволов

Теоретические предпосылки влияния введенных стволов пожарных подразделений в отечественной литературе впервые встречается в [153]. В работе представлено снижение кривой температурного режима сразу же после введения первых пожарных стволов, что, возможно, справедливо для помещений небольшой площади и глубиной тушения большей площади и фронта пожара. Отмечается, что при введении пожарных стволов в стадии развития пожара или активации систем АУПТ при их устройстве значительно снижается температурный режим пожара и уменьшается материальный ущерб от пожара рисунок 2.33).

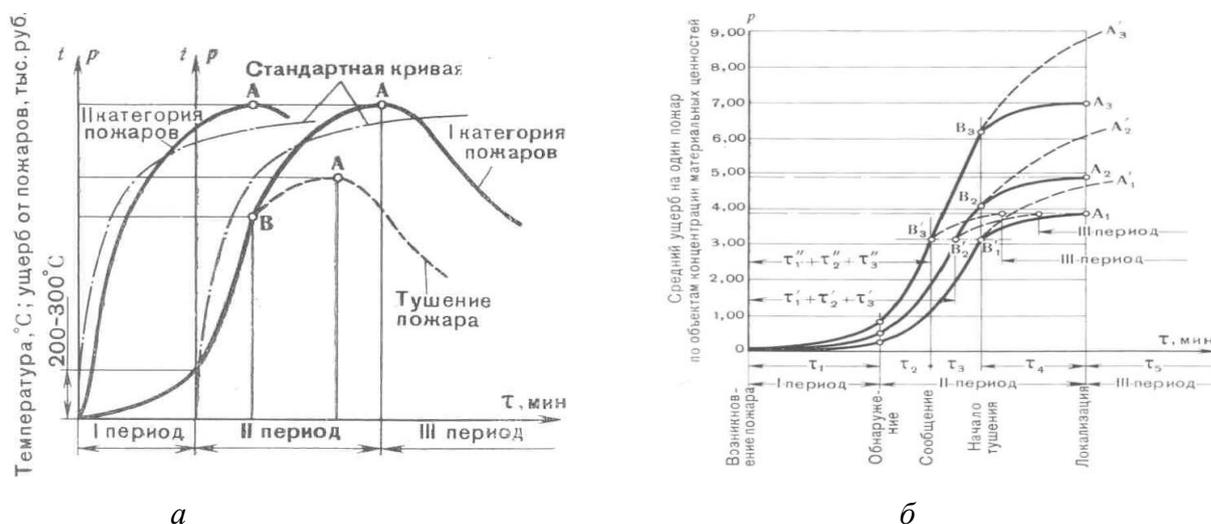


Рисунок 2.33 – Влияние тушения на «реальный» температурный режим пожара (а) и материальный ущерб в зависимости от стадии развития пожара (б) [153]

По мнению автора диссертации, снижение «реального» температурного режима в первом приближении начинает происходить в момент локализации пожара (рисунок 2.34), то есть при условиях, когда фактический расход подачи огнетушащих средств (Q_{ϕ}) больше или равен требуемому ($Q_{тр}$) $Q_{\phi} \geq Q_{тр}$, фактическая интенсивность подачи огнетушащих средств (I_{ϕ}) больше требуемой ($I_{тр}$) $I_{\phi} > I_{тр}$ и скорость роста площади пожара равна нулю ($v_{сп} = 0$).

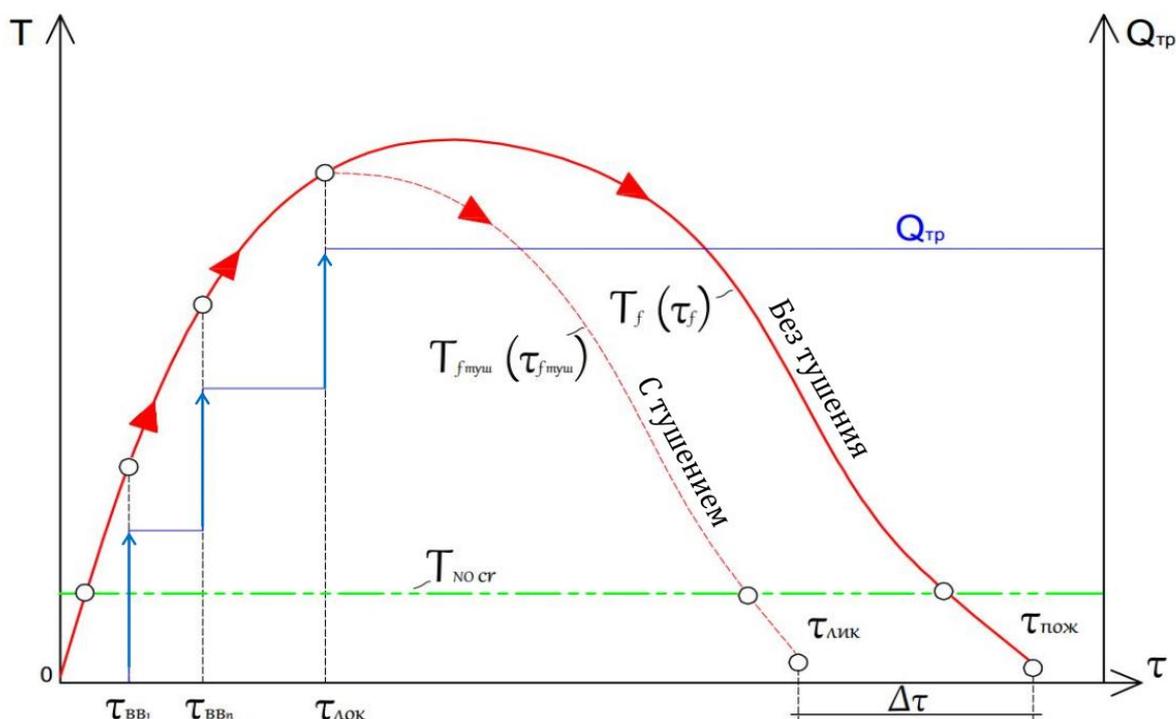


Рисунок 2.34 – Влияние тушения пожара на «реальный» температурный режим

Определение выше представленных параметров осуществляется по так называемой оперативно-тактической модели расчета сил и средств пожарных подразделений, которая в практике широко используется для разработки оперативных планов тушения пожаров.

В работе [154] в основу расчетов температурного режима пожара с учетом тушения положена методика, изложенная в работе [125]. Зависимость температуры от времени определяется выражением:

$$T_g = 250(10F)^{\sqrt[3]{F}} \cdot \exp(-F^2 t) \cdot (3(1 - \exp(-0,6t)) - (1 - \exp(-3t)) + 4(1 - \exp(-12t))) + C \cdot \sqrt{\frac{600}{F}}, \quad (2.5)$$

где $C = 0$ для тяжелых материалов ограждения $p > 16$ кН/м³.

$C = 1$ для легких материалов ограждения $p < 16 \text{ кН/м}^3$.

В момент времени t после наступления полного охвата помещения пламенем нисходящая ветвь температурной кривой определяется выражением:

$$\text{при } t > \tau: T_g = -600 \left(\frac{t}{\tau_1} - 1 \right) + T_\tau \quad (2.6)$$

где $T_\tau = T_g(\tau)$;

τ_1 – время начала тушения пожара, ч;

T_τ – зависимость температуры от времени, определяемая выражением (2.6).

Продолжительность развитой части пожара задается выражением:

$$\tau = \frac{G}{330F} \quad (2.7)$$

где G – удельная пожарная нагрузка (древесный эквивалент), кг/м^2 ;

F – параметр проемности, $\text{м}^{1/2}$.

График «реального» температурного режима пожара в помещении с учетом нисходящей ветви температурной кривой пожаротушения, полученной по выражению (2.7), представлен на рисунке 2.35.

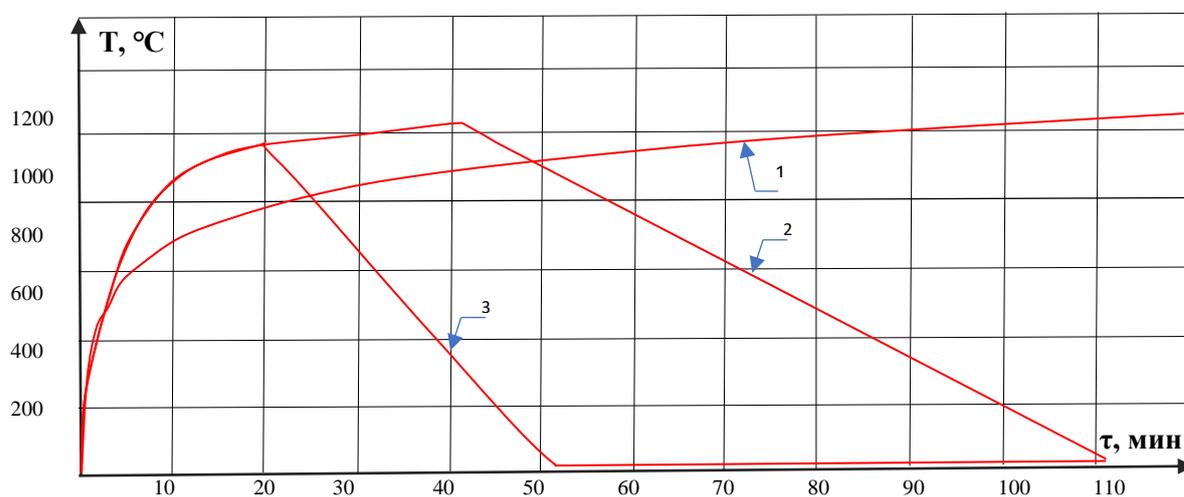


Рисунок 2.35 – Графики стандартного и «реального» температурного режима пожара в помещении с учетом нисходящей ветви температурной кривой пожаротушения:

- 1 – стандартный температурный режим пожара;
- 2 – «реальный» температурный режим пожара;
- 3 – график пожаротушения

В данных работах [153, 154] снижение температурной кривой «реального» пожара происходит также сразу после введения сил и средств пожарных подразделений.

По работе [37] расчетная средняя температура среды в помещении при «реальном» пожаре с учетом стадии затухания характеризуется в соответствии с температурно-временной зависимостью и напрямую зависит от стандартного температурного режима:

$$T_{fh}^r = T_f^{st} \cdot \Psi \quad (2.8)$$

где $T_{fh}^r(\tau)$ – температура среды в помещении при «реальном» пожаре на стадии его развития;

$T_f^{st}(\tau)$ – температура среды при стандартном температурном режиме;

Ψ – коэффициент режима пожара, характеризующийся временем наступления максимальной температуры в температурной кривой «реального» пожара t_m и скоростью снижения температуры среды в помещении в фазе затухания пожара V_c , относительно $T_{fh}^r(\tau)$.

2.5 Решение теплотехнической и статической задачи по «реальному» и стандартному температурным режимам пожара

Расчет огнестойкости по «реальному» и стандартному температурным режимам пожара проводился в качестве примера для типовой несущей конструкции – колонны. Колонна марки КРС-433-24 (рисунок 2.36) выполнена из тяжелого бетона класса В30 на известняковом щебне с арматурой 4Ø40 класса А400.

Расчетное сечение, расположенное на уровне $H_0/2$, изображено на рисунке 2.37:

- $h = 400$ мм.
- $b = 400$ мм.
- $a_H = a_B = c_1 = 50$ мм.

- Рабочая арматура в сечении – 4Ø40 А400.
- Бетон класса В30 на известняковом щебне с плотностью 2350 кг/м³ и влажностью $W = 2,0 \%$ (таблица 2.9).
- $H_o = 3300$ мм.

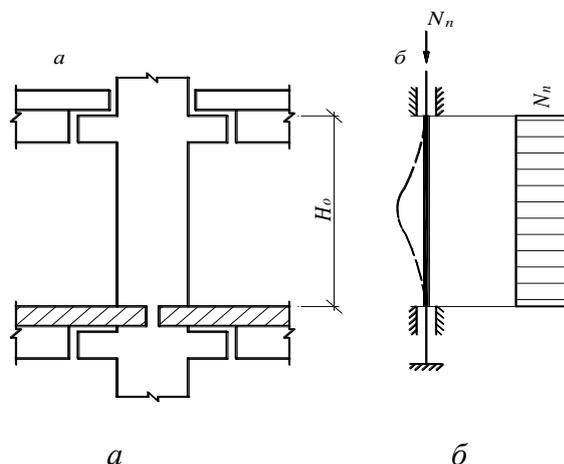


Рисунок 2.36 – Колонна связевого каркаса: *а* – схема опирания; *б* – схема нагружения

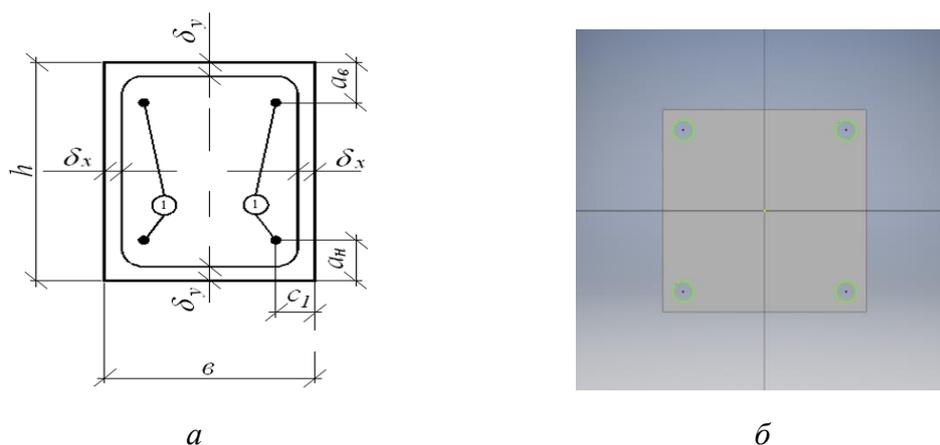


Рисунок 2.37 – Расчетное сечение колонны (*а*) и поперечное сечение колонны в ANSYS (*б*).

Теплофизические характеристики материалов конструкции, учитываемые в численной модели конструкции:

- Тяжёлый бетон В30, крупный заполнитель – известняк.

Начальное значение приведённой степени черноты – 0,545 [155];

Теплопроводность $\lambda_{tem} = \lambda_o + a_{\lambda}t_b = 1,14 - 0,00055t$, Вт/(м·°С) [156];

Теплоёмкость $c_{tem} = c_o + a_{ct}t_b = 710 + 0,84t$, Дж/(кг·°С) [156];

Влажность – 2%;

Плотность 2350 кг/м³;

– Арматурная сталь;

Плотность 7850 кг/м³ [157].

Таблица 2.9 – Расчётные значения теплопроводности и теплоёмкости для бетона и арматурной стали [157,158]

Бетон			Арматурная сталь		
Т, К	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(кг·К)	Т, К	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(кг·К)
293	1,13	727	293	63,9	450,64
373	1,08	794	373	60,1	489,04
473	1,03	3740	473	55,3	537
573	0,97	878	573	50,5	585
673	0,92	962	673	45,7	633
773	0,86	1046	773	40,9	681
873	0,81	1130	873	36,1	729
973	0,75	1214	973	31,3	777
1073	0,7	1298	1073	26,5	825
1173	0,64	1382	1173	21,7	873
1273	0,59	1466	1273	16,9	921

Прогрев железобетонной колонны считался по наиболее «критичному реальному» режиму пожара в квартирах ВЖЗ, полученного по результатам исследований, изложенных ранее в разделе 2.3, и приведённом на рисунке 2.18.

Принимались следующие начальные и граничные условия:

Начальная температура $T_{\text{нач}} = 20$ °С. Обогрев принят четырёхсторонний, как наиболее неблагоприятный.

Воздействие режимов пожара на конструкцию учитывается путем задания граничных условий 3-го рода. Изменение коэффициента теплоотдачи и температуры воздуха задается следующей формулой (2.9):

$$\alpha = 29 + (3.9 - 0.0023 \cdot T_c) \cdot (T_b^4 - T_c^4) / (T_b - T_c) \cdot 10^{-8} \quad (2.9)$$

Размеры конечных элементов принимались в программном комплексе «ANSYS Mechanical» – не более 1x1x1 см.

Результатами решения задачи прогрева железобетонной колонны в условиях стандартного режима пожара являются изотермы в поперечном сечении конструкции, представленные на рисунках 2.38, 2.39, а также

температурно-временная зависимость для арматурных стержней, представленная на рисунке 2.40.

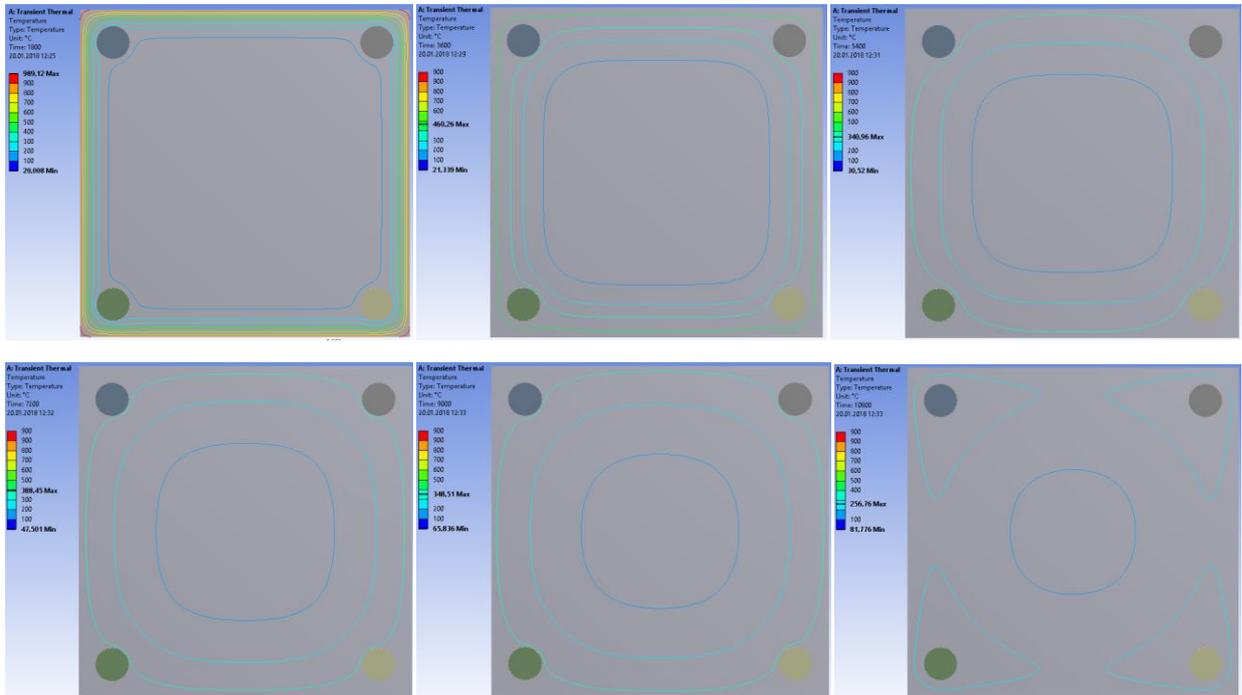


Рисунок 2.38 – Расположение изотерм в поперечном сечении железобетонной колонны сечением 400x400 на момент времени обогрева при «реальном» режиме пожара на 30, 60, 90, 120, 150 и 180 минутах

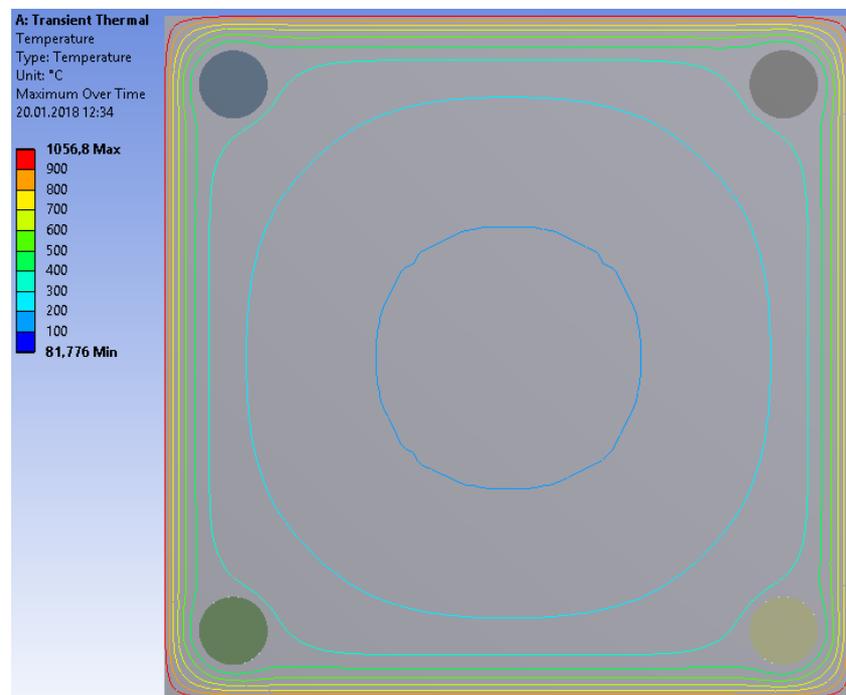


Рисунок 2.39 – Максимальная глубина расположения изотерм в поперечном сечении железобетонной колонны сечением 400x400 за весь период «реального» режима пожара

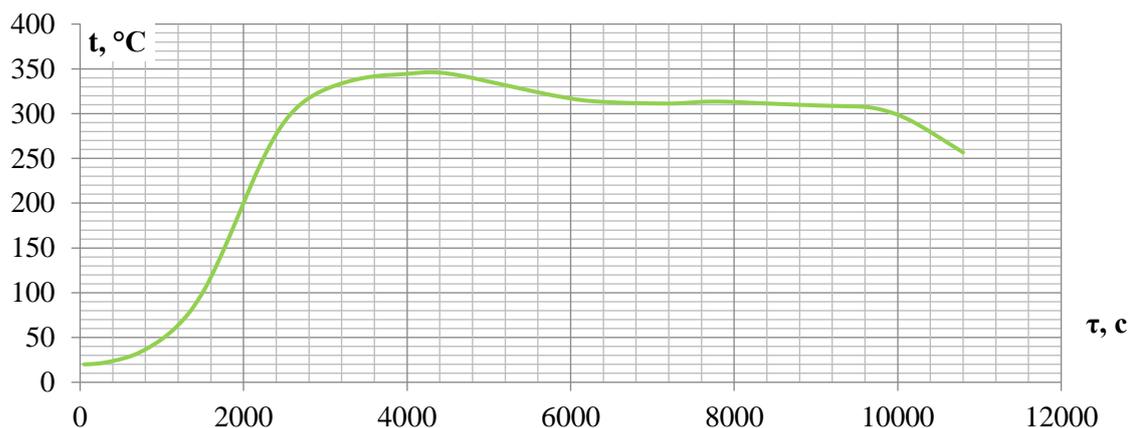


Рисунок 2.40 – Температура арматуры в условиях «реального» пожара

Далее произведен расчет прогрева данной железобетонной колонны при стандартном температурном режиме пожара.

В математическое описание нагрева конструкции входит дифференциальное уравнение, описывающее распространение тепла в твердом теле с известными теплофизическими свойствами, а также начальные и граничные условия. Принимается, что материалы обладают изотропными теплофизическими свойствами и внутренние источники отсутствуют.

Уравнение нестационарной теплопроводности:

$$\rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad}T) \quad (2.10)$$

При достижении температуры конечного элемента (КЭ) 100°C поступающая теплота начинает расходоваться как на нагрев самого конечного элемента, так и на испарение содержащейся в нем влаги, т.е.:

$$Q = m_{\Omega} \cdot C_p \cdot \Delta T + d \cdot m \cdot r, \quad (2.11)$$

где ΔT – величина интервала температуры, при котором происходит испарение в бетоне влаги; m_{Ω} – масса конечного элемента в области интегрирования элемента; C_p – удельный коэффициент теплоемкости; d – влажность (в сотых долях); m – масса конечного элемента; r – удельная теплота парообразования воды.

Для учета влажности конструкции используем эффективную теплоемкость c_p , которую вводим следующим образом:

$$m_{\Omega} \cdot c_p \cdot \Delta T = Q = m_{\Omega} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.12)$$

отсюда

$$c_p = d \cdot r / \Delta T + C_p \quad (2.13)$$

Считаем, что удельная теплота испарения воды r на интервале $100 + \Delta T$ не зависит от температуры и равняется 2260 кДж/кг.

Окончательно модель учета влажности выглядит следующим образом: при достижении средней температуры конечного элемента 100°C теплоемкость бетона скачкообразно увеличивается до величины эффективной теплоемкости, которая вычисляется по заданному значению ΔT .

Результатами решения задачи прогрева железобетонной колонны в условиях стандартного режима пожара являются изотермы в поперечном сечении конструкции, представленные на рисунке 2.41, а также температурно-временная зависимость для арматурных стержней, представленная на рисунке 2.42.

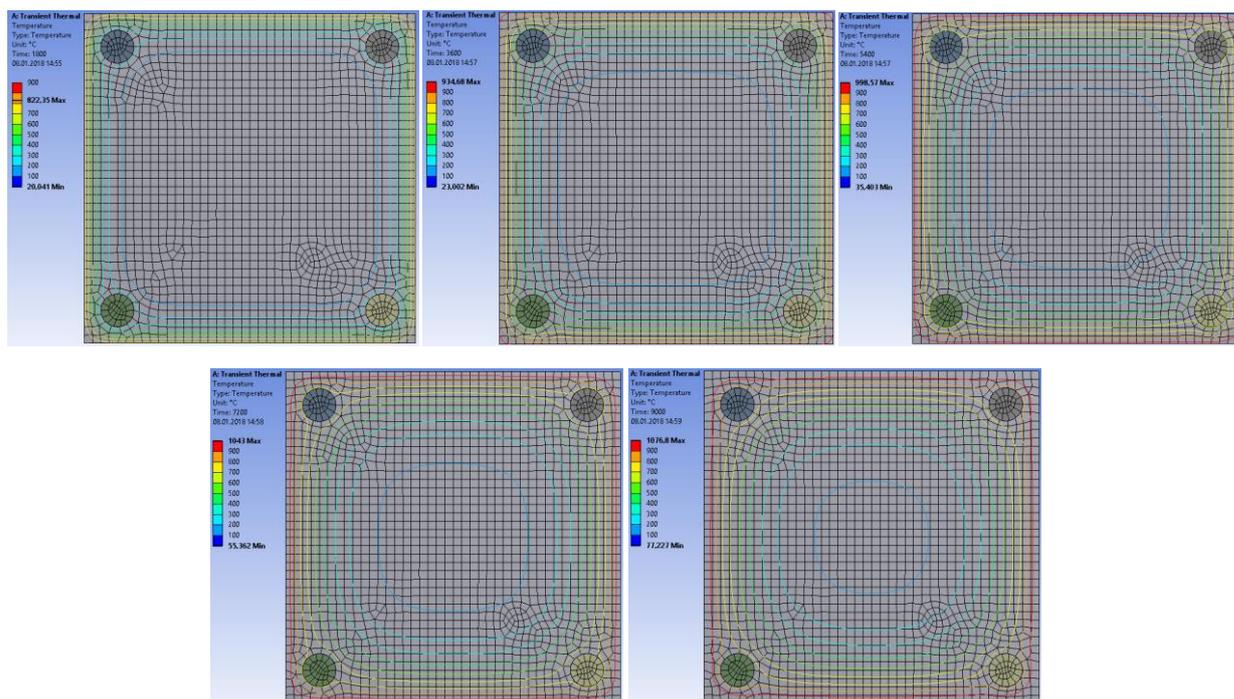


Рисунок 2.41 – Расположение изотерм в поперечном сечении железобетонной колонны сечением 400x400 на момент времени обогрева при стандартном режиме пожара 30, 60, 90, 120 и 150 минутах

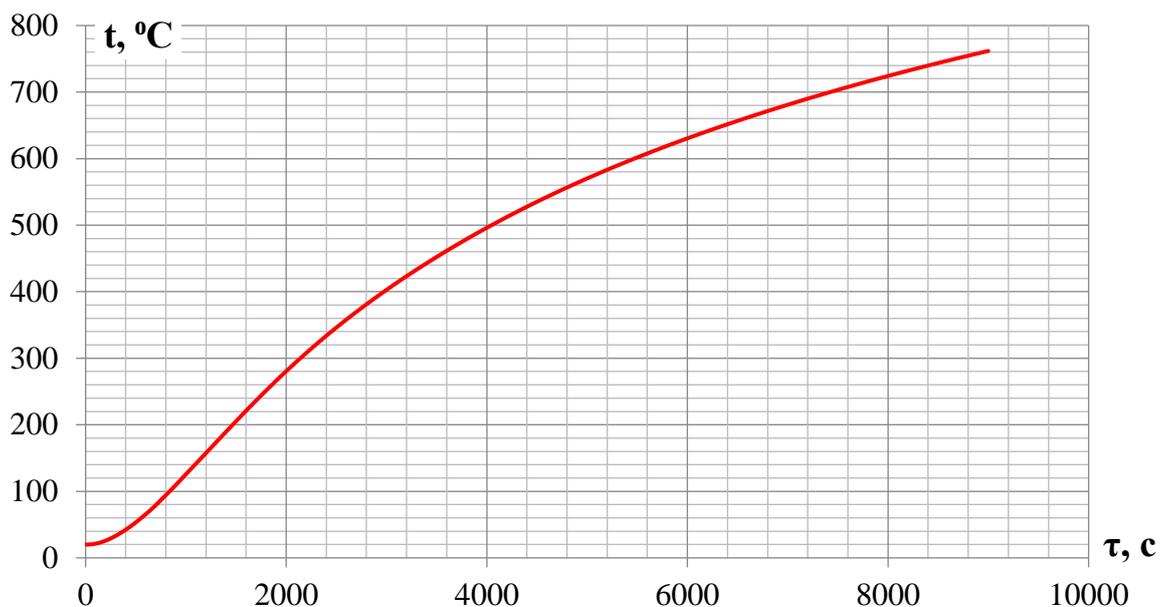


Рисунок 2.42 – Температура арматуры в условиях «стандартного» пожара

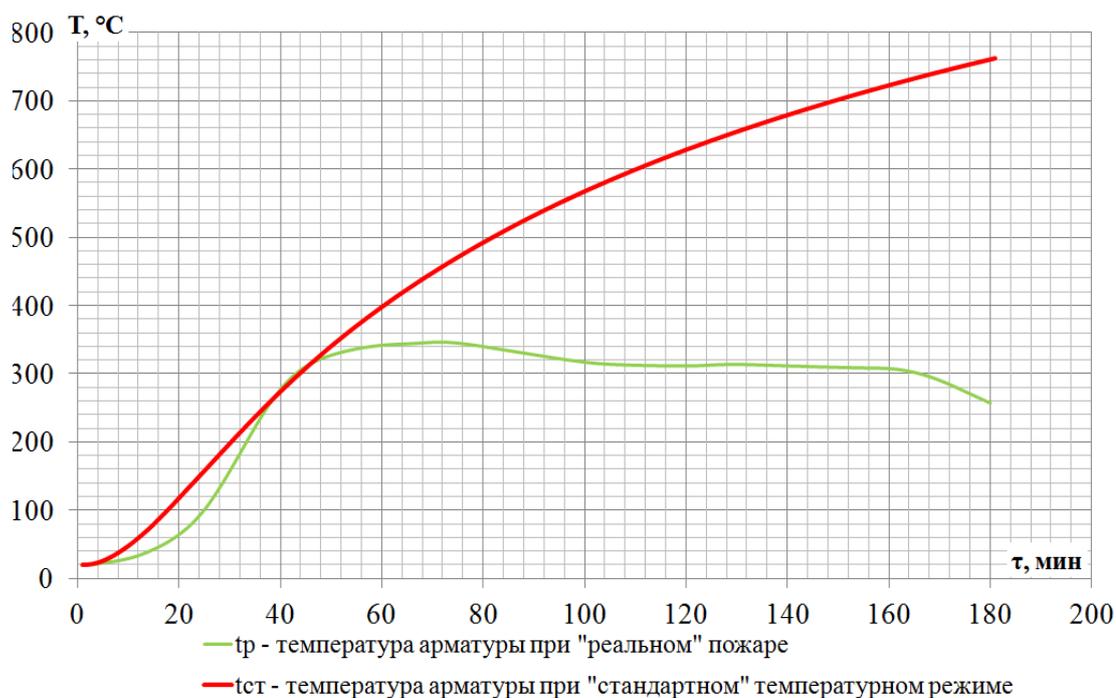


Рисунок 2.43 – Прогрев арматуры монолитной железобетонной колонны при температурных режимах «реального» и «стандартного» пожаров при четырехстороннем обогреве

Сравнив результаты расчета прогрева по стандартному режиму пожара и «реальному», получаем, что критическая температура прогрева арматуры 550 °C по стандартному режиму наступает на 96 минуте, а по «реальному» – не наступает (рисунок 2.43).

Расчёты статической задачи по «реальному» и стандартному температурным режимам пожара проводились по приведённым результатам расчётов теплотехнической части расчёта.

Теплотехническая задача:

- Для определения температуры арматуры используется численный метод решения задачи прогрева.

- Для определения толщины несущего слоя бетона δ_y , δ_x используется численный метод решения задачи прогрева.

Прочностная задача:

$$N_{p,tem} = \varphi [R_{bn}(b - 2\delta_x)(h - 2\delta_y) + S_{su1}A_{s1,tot}^I + S_{su2}A_{s2,tot}^I] \quad (2.14)$$

$$R_{su1} = \gamma_{s1,tem}R_{sn}, \quad R_{su2} = \gamma_{s2,tem}R_{sn}, \quad (2.15)$$

$$\lambda = l_o / (b - 2\delta_x) \quad (2.16)$$

Параметры в расчётных формулах:

$t_{bcr} = 900$ – критическая температура бетона, °С;

$A_{s1,tot} = 1257$ – площадь 4-х стержней арматуры, мм²,

$R_{bn} = 22$ – предел прочности бетона, МПа;

$R_{sn} = 400$ – предел прочности арматурной стали, МПа;

$$\gamma_{bt-известняк} = \begin{pmatrix} 20 & 1 \\ 200 & 1 \\ 300 & 0,95 \\ 400 & 0,9 \\ 500 & 0,85 \\ 600 & 0,65 \\ 700 & 0,3 \\ 800 & 0,15 \\ 900 & 0 \end{pmatrix}$$

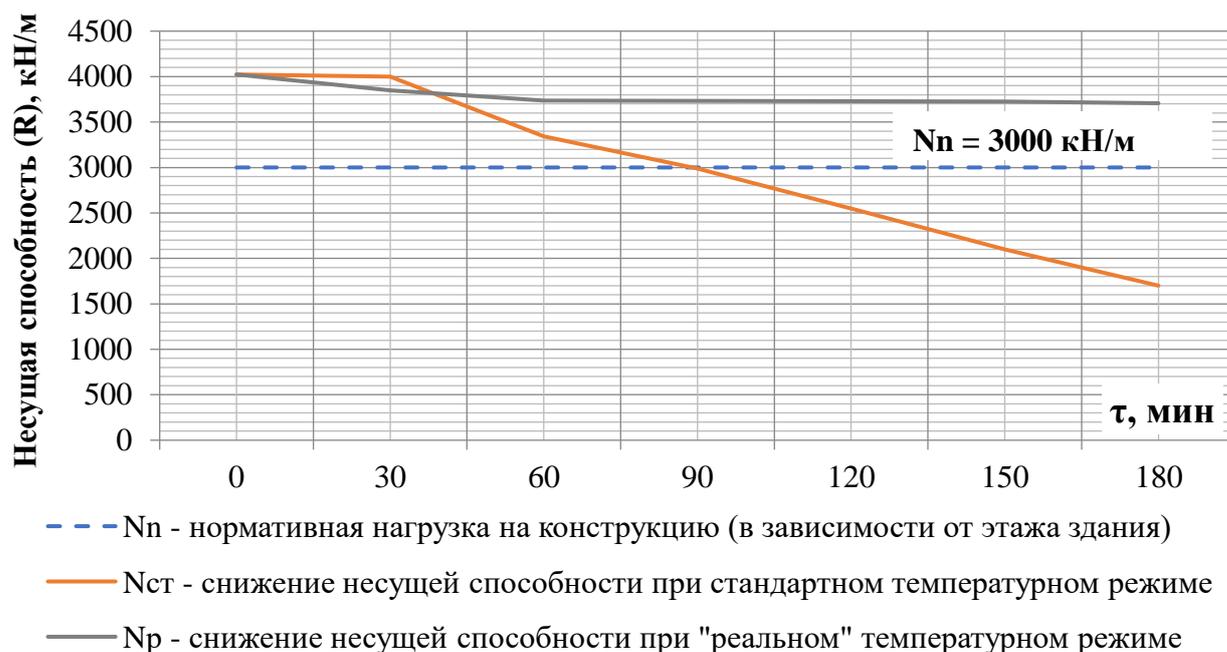


Рисунок 2.44 – Зависимости несущей способности колонны от времени пожара

По результатам расчета статической части по стандартному и «реальному» температурным режимам пожара получаем, что по стандартному режиму предел огнестойкости колонны по несущей способности (R) наступает при нормативной нагрузке 3000 кН/м на 85 минуте, а по «реальному» режиму пожара потери огнестойкости не наступает (рисунок 2.44).

2.6 Выводы по второй главе

1. Впервые проведено качественное и количественное исследование пожарной нагрузки в современных квартирах ВЖЗ. Площадь квартир в ВЖЗ превышает 65 – 90 м² (однокомнатные), что сказывается на величине удельной пожарной нагрузки, значение которой уточнено и составляет 495,7 МДж/м² (35,9 кг/м² в эквиваленте древесины). Горючая нагрузка в квартире представлена в виде мебели и отделочных строительных материалов (97%), далее – одежды и предметов интерьера (2,9%) и 1% продуктов питания (0,1 %). В 83% горючая нагрузка состоит из дерева, полимерных материалов (пластмасса) – 14%, ткани – 2,9 % и продуктов питания – 0,1 %.

2. На «реальный» температурный режим пожара существенное влияние оказывает способ размещения пожарной нагрузки и ветровые воздействия на ВЖЗ, которые увеличиваются с их высотой. Для приведения множества «реальных» температурных режимов возможно их объединение и построение наихудшего одного температурного режима по максимальным (пиковым) значениям температур. Компьютерное моделирование развития пожара в квартирах ВЖЗ показало, что температурные режимы «реальных» пожаров менее «жесткие», чем стандартный температурный режим.

3. Потеря огнестойкости по несущей способности колонны по наиболее «критичному реальному» температурному режиму пожара, исходя из полученной пожарной нагрузки, не наступает, тогда как для стандартного температурного режима предел огнестойкости по несущей способности наступает на 85 минуте.

4. Принимаемые требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ в 240 минут значительно завышены, а их значение для вертикальных несущих конструкций необходимо принимать не более 180 минут, для горизонтальных – не более 120 минут (за исключением перекрытий, разделяющих пожарные отсеки).

ГЛАВА 3. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ И ТРЕБУЕМЫЕ ПРЕДЕЛЫ ОГНЕСТОЙКОСТИ ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В 1956 г. В.И. Мурашев [69] предложил, что требуемые пределы огнестойкости несущих конструкций должны определяться от продолжительности пожара ($\tau_{\text{пож}}$) с учетом тушения его пожарными подразделениями и АУПТ. В последующих научных трудах М.Я. Ройтмана [44, 71, 72] и В.М. Ройтмана [34, 37, 38, 42–44] также учитывается продолжительность действий пожарных подразделений, но для промышленных ЗиС. При осмыслении представленных подходов и методов определения требуемых пределов огнестойкости в 1-ой главе настоящей работы, можно сделать вывод о том, что требуемые пределы огнестойкости несущих конструкций могут быть приняты равными времени ликвидации пожара:

$$P_{\text{тр}} \geq \tau_{\text{лик}}, \quad \text{либо} \quad P_{\text{тр}} = \tau_{\text{р.туш}} \quad (3.1)$$

где $\tau_{\text{лик}}$ – время ликвидации пожара;

$\tau_{\text{р.туш}}$ – расчетное время тушения пожара.

Существенным недостатком данного подхода является сложность точного прогнозирования действий пожарных подразделений, а тем более малой изученности данного вопроса для ВЖЗ.

Проблема тушения пожаров в ВЗ является одной из наиболее актуальных для пожарных подразделений в крупных мегаполисах РФ. Высотки имеют повышенную пожарную опасность по сравнению с обычными зданиями, и силы и средства пожарной охраны автоматически привлекаются по повышенному номеру вызова [159].

Основными критическими факторами при тушении пожаров в ВЗ пожарными подразделениями являются:

1. Возможное развитие пожара по фасаду на всю высоту здания с учетом ветрового воздействия.

2. Сложность обеспечения действий по тушению пожара, АСР и доставки средств пожаротушения к очагу пожара; значительное время, затрачиваемое на подъем пожарных к очагу пожара на верхние этажи ВЗ при невозможности использования лифта для пожарных.

3. Скопление эвакуирующихся людей в незадымляемых лестничных клетках, вследствие чего они могут помешать разворачиванию рукавных линий или вообще потребуются их спасение. Также разворачивание рукавных линий и встречный подъем по незадымляемой лестничной клетке пожарных повлияет на время эвакуации людей.

4. Отсутствие на вооружении ПСЧ в большинстве случаев необходимого оснащения пожарной техникой (от пожарных вертолетов, пожарных автомобилей с насосами высокого давления и подъемных механизмов до пожарных рукавов повышенной прочности).

5. Недостаточное время защитного действия дыхательных аппаратов сжатого воздуха для работы в условиях развитого пожара в ВЗ. Незадымляемые лестничные клетки с подпором воздуха при пожаре (типа Н2, Н3) в условиях реальных пожаров можно считать незадымляемыми лишь условно, поскольку незадымляемость их рассчитывается и обеспечивается при двух открытых дверях (этажа очага пожара и выхода из лестничной клетки). Натурные опыты и реальные пожары показали, что при эвакуации людей и передвижении личного состава к очагу пожара большинство дверей в лестничные клетки открыты, что приводит к задымлению лестничных клеток и прилегающим к ним коридоров и холлов [160].

По приведенным примерам и статистическому анализу пожаров в РФ и за рубежом в разделе 1.1 видно, что пожары в ВЖЗ происходят не с такой частотой, как в зданиях обычной этажности, но со значительным материальным ущербом, массовой гибелью и травматизмом людей, а также могут привести к общественному резонансу. Наибольшее количество причин пожаров, аварий и катастроф в ВЖЗ на различных этапах (строительства, эксплуатации или реконструкции) приходится на эксплуатацию и, как правило, связаны с

человеческим фактором. В процессе эксплуатации начинают накапливаться различные нарушения правил пожарной безопасности: выход из строя АУПС вследствие вандализма жильцов, отсутствие средств индивидуальной защиты и самоспасателей, блокирование люков между пролетами наружных лестниц на балконах и лоджиях и износ активных СППЗ. Впоследствии в случае пожара могут привести к трагическим последствиям и затруднению действий пожарных подразделений. Правила эксплуатации ВЖЗ значительно отличаются от правил для зданий меньшей этажности, ввиду их высокой пожарной опасности и наличия в них около 30 инженерных систем.

Учитывая сложности, которые могут возникнуть при тушении развившегося пожара и проведении спасательных работ в ВЖЗ, важно обеспечить максимально возможную быстроту извещения о срабатывании СППЗ, оперативность вызова пожарной охраны. От времени введения первого ствола пожарными зависит развитие ОФП, площадь пожара и последствия от него [161]. Вывод сигнала о срабатывании АУПС следует, кроме вывода на пульт диспетчерской здания (пожарного поста), в обязательном порядке дублировать в ПСЧ, в районе выезда которой находится здание, и центр управления силами и средствами МЧС субъекта РФ.

Для быстрого развертывания сил и средств, введения первого ствола и быстрой эвакуации и спасения пострадавших и МГН следует оборудовать здания лифтами для пожарных, соответствующие требованиям норм и число которых следует определять из расчета не менее одного на один пожарный отсек [162].

Во введенных в эксплуатацию ВЖЗ на технических этажах нередко устраивают опорные пункты пожаротушения, где должен храниться запас мотопомп, рукавов, огнетушителей, а также средств спасения, оправданность которых не подтвердилась практикой пожаротушения.

Рассматривались в работе [202] идеи возможного использования при наличии подъемников для ремонта и мытья фасадного остекления для нужд пожаротушения, и спасения пострадавших в случае необходимости, что крайне

вероятно ввиду высокой степени ответственности (вплоть до уголовной) руководителя тушения пожара за подчиненный личный состав.

Нельзя признать и достаточным меры по применению сухотрубов на балконах (незадымляемых воздушных зонах) незадымляемых лестничных клеток типа Н1 с нынешними автоцистернами (АЦ) и автонасосами (АНР) небольшой мощности и производительности.

Несмотря на развертывание сил и средств на пожарно-тактических учениях при отработке планов пожаротушения в ВЖЗ, все равно для введения огнетушащих веществ в очаг пожара требуется значительное время, а это влияет на размеры пожара. Очевидно, что решать проблемы пожаротушения только за счет оснащения городских пожарных депо дорогостоящими автомеханическими лестницами и подъемниками уже нецелесообразно, так как их применение на высоте более 60 м просто не эффективно ввиду больших ветровых воздействий и трудности попадания в ВЖЗ, например, при сплошном ленточном остеклении.

Главным недостатком в исследованиях по тушению пожаров в ВЗ является отсутствие параметров движения (скорости, времени) пожарных и времени развертывания сил и средств пожарных подразделений различными способами развертывания при ведении боевых действий по тушению пожаров в них. Последние работы ограничиваются рассмотрением зданий повышенной этажности или ВЗ с вентилируемыми фасадами [159,164]. Определению параметров движения пожарных в ВЗ не так много работ [163,165].

Основные задачи, решаемые при проектировании ВЖЗ, должны быть направлены на эффективность действий пожарных подразделений:

1. Обеспечение огнестойкости строительных конструкций в течение времени эвакуации и спасения людей, в том числе и МГН, а также тушения пожара. Способность несущих конструкций выдерживать наихудший расчетный сценарий развития пожара, принимая во внимание действия пожарных подразделений и активных систем пожаротушения.

2. Использование при развертывании сил и средств лифтов для пожарных, внутренних систем пожарного водоснабжения и пожарной автоматики с резервными источниками электроснабжения.

3. Ограничение распространения пожара за пределы квартиры, этажа и по фасаду здания, обеспечение незадымляемости лестничных клеток, шахт лифтов для пожарных.

Стоит отметить, что в настоящее время исследования в РФ в области тушения пожаров в ВЗ сильно отстают от зарубежных. Оперативные планы тушения и отчеты о проведении предварительного планирования действий пожарных подразделений по тушению пожара и проведению АСР при отступлении от действующих норм проектирования чаще всего основаны на опыте ведущих специалистов-практиков и не имеют под собой научной составляющей. Оперативные планы тушения должны составляться для 2-х или 3-х стадий жизненного цикла ВЗ – для стадии строительства, для стадии капитального ремонта (реконструкции) и для стадии эксплуатации, так как их пожарная опасность существенно отличается. Важно, чтобы время развертывания сил и средств сходилось со временем развертывания при пожарно-тактических учениях.

Анализ оперативных планов тушения пожара ВЗ ММДЦ «Москва-Сити» показывает (таблица 3.1), что время развертывания сил и средств пожарных подразделений различными способами развертывания при ведении боевых действий принимается ориентировочно и может отличаться от реальности в разы. Так, например, нет статистических данных по боевому развертыванию с применением специальных мобильных контейнеров с пожарно-техническим оборудованием (рисунок 3.1). Ни в одном оперативном плане не учитывается возможное распространение пожара по фасаду ВЖЗ, тогда как подобные пожары происходят не так уж и редко.



Рисунок 3.1 – Мобильные контейнеры с пожарно-техническим оборудованием

Таблица 3.1 – Анализ оперативных планов тушения пожаров ВЗ ММДЦ «Москва-Сити»

№ п/п	Наименование ВЗ	Краткая пожарно-техническая характеристика ВЗ	Анализ деятельности пожарных подразделений по разворачиванию сил и средств	Выводы
1.	Башня на Набережной «В» (Блок «В», Пресненская наб., д.10)	Здание 27-ми этажное, I степень огнестойкости с повышенными пределами огнестойкости R240, высота здания 124 м, с подземной автостоянкой для легковых автомобилей, площадь пожарного отсека в Ф5.2 не более 3000 м ² , в Ф4.3 – не более 1400 м ² . 2 ЛК типа Н2. Здание оборудовано АУПТ, АУПС, СОУЭ, ЦДВ, ВПВ и др. Расстояние до ПЧ 2 км, время следования 3 мин. Для МГН безопасные зоны. «Ранг пожара №2».	Для обеспечения деятельности пожарных и разворачивания по вертикали рукавных линий предусмотрено: - 2 лифта для пожарных, с переводом в режим «перевозка пожарных подразделений» из пожарного поста и с помощью ключа непосредственно в кабине лифта; - на кровле и прилегающей территории устроена вертолетная площадка для АСР; - опорные пункты пожаротушения (с запасом ПТВ); - устройство 2-х насосных станций с насосами-повысителями. Т _{разв. СиС} от ВПВ и подъема на этаж пожара с помощью лифта = 2 мин. Т _{предв. разв. СиС} = 1 мин. Q _{тр} = 3885 л, 12/8 основных/специальных пожарных машин, 56 чел. л\с, 9 звеньев ГДЗС. Высылаются АЛ – 90(100). Время разворачивания сил и средств принимается от ВПВ и не более 10 мин.	Подъем на этаж пожара с помощью лифтов для пожарных. Скорости движения пожарных с ПТВ ориентировочны и научно не обоснованы. Необоснованные критерии выбора сценариев развития пожара. Не рассмотрены варианты распространения пожара на фасад здания. Не учтено время защитного действия средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

Продолжение таблицы 3.1

2.	Башня «Москва» (Пресненская наб., д.8, стр.1) комплекса «Город Столиц»	Многофункциональный административно-деловой комплекс с апартаментами из 3-х зданий. I степень огнестойкости с повышенными пределами огнестойкости R240. Здание оборудовано АУПТ, АУПС, СОУЭ, ПДВ, ВПВ и др. Высота 274 м, 73 этажа, 3-х этажная стилобатная часть. 2 ЛК типа Н2 без естественного освещения. «Пожар №1 БИС».	- //- //- В лифтовых холлах при лифтах для пожарных предусмотрено устройство пожарных стояков с 2-мя патрубками и соединительными головками на каждом этаже. Наружу здания на уровне подъезда пожарных автомобилей выведены 2 патрубка $\varnothing 77$ мм. Развертывание сил и средств с помощью перекачки воды через промежуточные ёмкости. Применение для тушения пожара и АСР вертолета, АЛ-90(100), катера «Атаман». Скорость лифта для пожарных не менее 1,6 м/с, с 1-го этажа до последнего не более 1 мин. $Q_{\text{ф}} = 20$ тонн воды. Время развертывания сил и средств принимается с помощью перекачки и более 30 мин.	- //- //-
3.	Башня «Санкт-Петербург» (Пресненская наб., д.8, стр.1) комплекса «Город Столиц»	- //- //- «Пожар №1 БИС».	- //- //- Применение для тушения пожара и АСР вертолета, АЛ-90(100), катера «Атаман». Время развертывания сил и средств принимается с помощью перекачки и более 30 мин.	- //- //-
4.	«Город Столиц» (Краснопресненская набережная, участок 9)	- //- //- Продолжительность работы АУПТ 60 мин. Продолжительность работы ВПВ 3 часа. «Ранг пожара №3».	- //- //- Применение для тушения пожара и АСР вертолета, АЛ-90(100), катера «Надежда». Время развертывания сил и средств принимается с помощью перекачки и более 30 мин.	- //- //-

Продолжение таблицы 3.1

5.	Комплекс «Федерация», башня «А» и «Б» (Пресненская наб., д.12)	Многофункциональный офисно-рекреационный комплекс из 2-х частей, различной этажности и соединенные мостами-переходами. Установлен на стилобатную часть из 4-х подземных и 10 надземных этажей. Площадь застройки более 99500 м. кв., на одновременное пребывание более 10000 чел. Башня «А» - 93 этажа, 354 м, башня «Б» - 62 этажа, 242 м. Между башнями установлена «мачта» (ядро, с лифтовой шахтой высотой 448 м из ж/б и остекленного металлического каркаса). I степень огнестойкости с повышенными пределами огнестойкости R240.	По 2 лифта для пожарных, с переводом в режим «перевозка пожарных подразделений». Расходы воды на одновременное тушение пожара на 2-х этажах 8 струй по 5 л/с. Тушение осуществляется как от ВПВ, так и от перекачки с использованием мотопомп. При разворачивании используются оба лифта для пожарных. Время разворачивания сил и средств принимается с помощью перекачки воды на 58 этаж и более 33 мин. Подвоз ПТВ осуществляется с помощью мобильных контейнеров: переносные мотопомпы, запаса пожарных рукавов	- //- //-
----	--	---	--	-----------

Необходимо уйти от стереотипов и искать приемы и способы тушения пожаров, максимально используя внутренние инженерные системы: ПДВ, АУПС, СОУЭ, системы видеонаблюдения, ВПВ и внутренние пожарные резервуары и ёмкости (например, бассейны) и лифты для пожарных [161].

При накоплении достаточных статистических данных в РФ по времени тушения (ликвидации) реальных произошедших пожаров в ВЖЗ возможно будет принимать требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций, равными времени ликвидации пожара ($\tau_{лик}$). При достаточно высокой научной проработки времени разворачивания сил и средств и времени тушения пожара в ВЖЗ, исходя из расчетного времени тушения пожара ($\tau_{р.туш}$) в них.

3.1 Продолжительность развертывания сил и средств пожарных подразделений в высотных жилых зданиях

Процесс тушения пожара в ВЗ и ВЖЗ зависит от огромного количества факторов, влияющих на него. Сложность организации процесса тушения пожара обусловлена множеством связей и факторов, оказывающих влияние на процесс тушения (рисунок 3.2). Одним из основных факторов является способ развертывания. Оптимальность этого выбора основывается на необходимости подать огнетушащие вещества на максимальную высоту за минимальное время [163].

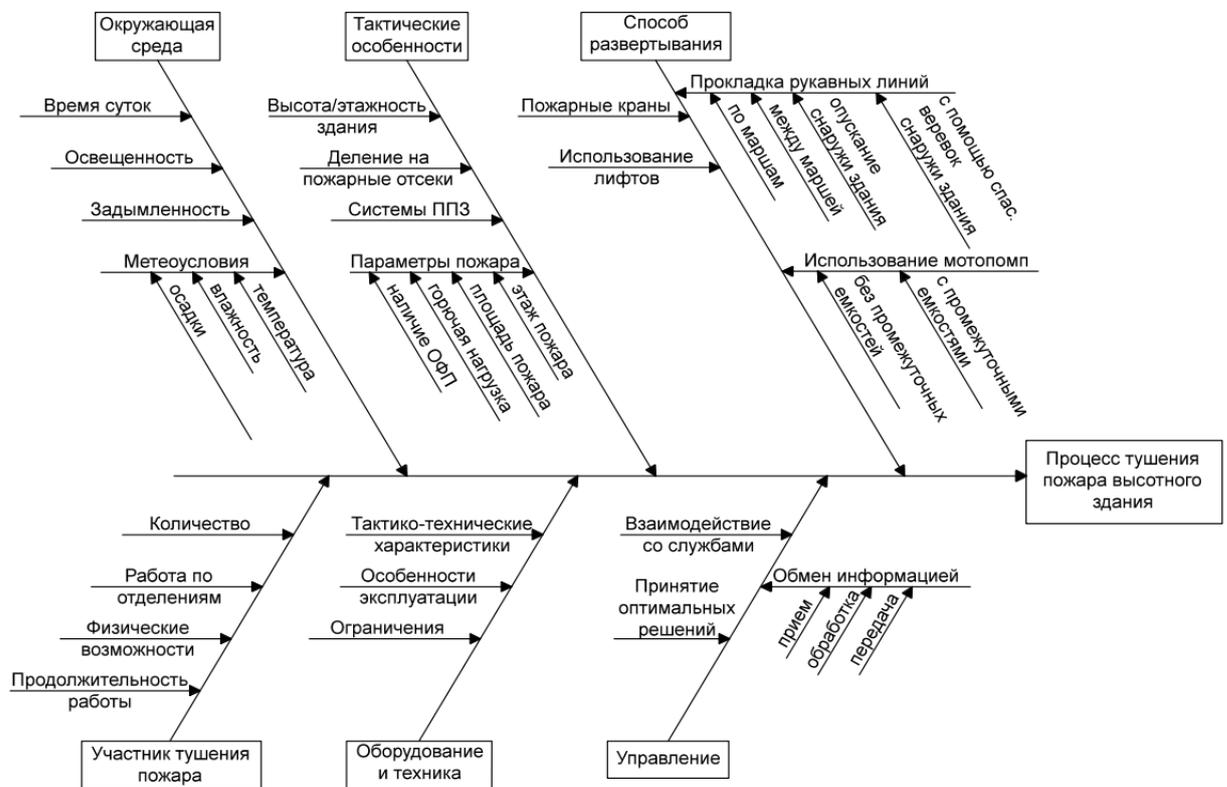


Рисунок 3.2 – Системный анализ процесса тушения пожара ВЗ [163]

Продолжительность развертывания сил и средств в ВЖЗ напрямую влияет на время свободного развития пожара. Время свободного развития пожара имеет огромное значение для определения состава СППЗ в ВЖЗ. При расчетах различных активных СППЗ, которые повлияют на деятельность пожарных подразделений и, как следствие, на требуемые пределы

огнестойкости, могут учитываться начальная и развивающая стадии пожара или стадии развитого пожара и затухания. В настоящее время в практике проектирования встречаются два варианта защиты ВЖЗ.

Первый вариант – когда помещения жилых квартир защищаются АУПС, а АУПТ – поэтажные коридоры (холлы) и входные двери квартир.

Второй вариант встречается значительно реже – когда помещения жилых квартир и поэтажные коридоры защищаются как извещателями АУПС, так и спринклерной АУПТ. В данном случае время локализации и ликвидации пожара зависит напрямую от инерционности и в целом надежности спринклерной АУПТ. Однако следует иметь в виду, что надежность срабатывания АУПС в целом по жилому сектору составляет только в 44 %, а АУПТ и того меньше [166].

Тушение пожаров в ВЗ характеризуется большими трудностями при проведении спасательных работ и подаче огнетушащих средств на большие высоты [167]. Наиболее сложными, с точки зрения проведения оперативно-тактических действий по тушению и спасению людей являются пожары на отметках выше 75 метров.

Ключевым количественным показателем будет являться время свободного развития пожара ($\tau_{св.р}$), так как от времени введения первых стволов на этаж пожара пожарными зависит стадия развития и площадь пожара [159].

Время свободного развития пожара $\tau_{св.р}$ – временной промежуток от момента возникновения горения до начала подачи первых приборов тушения на его ликвидацию. Определяется по формуле [168]:

$$\tau_{св.р} = \tau_{д.с.} + \tau_{сб.} + \tau_{сл.} + \tau_{б.р.}, \quad (3.2)$$

где $\tau_{д.с.}$ – время от возникновения до сообщения о пожаре (принимается 8-10 мин для городских населённых пунктов [168], а из статистических данных [169] для объектов жилого сектора составляет 6-7 мин);

$\tau_{сб.}$ – время, затрачиваемое на обработку вызова диспетчером, сбор и выезд по тревоге; $\tau_{сб}$ составляет 1 мин;

$\tau_{сл.}$ – время следования к месту пожара расчётов пожарных подразделений (не более 10 минут для города), мин;

$\tau_{б.р.}$ – время развёртывания сил и средств подразделений пожарной охраны (боевое развёртывание).

Каждый временной параметр для ВЖЗ более подробно рассмотрен в работе [165]. Время развёртывания сил и средств ($\tau_{б.р.}$) в первую очередь зависит от выбранной схемы развёртывания: от пожарных автомобилей, от мотопомп «в перекачку», от пожарных кранов ВПВ и других. Данный показатель будет существенно отличаться в зависимости от стадии жизненного цикла ВЖЗ – строительства, эксплуатации или реконструкции (капитального ремонта).

Время развёртывания сил и средств ($\tau_{б.р.}$) при эксплуатации ВЖЗ и использовании пожарных кранов будет определяться элементарно из суммы действий:

$$\tau_{бр} = \tau_{нмв} + \tau_{дв1} + \tau_{под} + \tau_{бп} + \tau_{дв2} \quad (3.3)$$

где $\tau_{нмв}$ – время, затрачиваемое на построение у пожарного автомобиля, постановку задач начальником караула личному составу, разгрузки пожарного оборудования, одеванию СИЗОД и т.п. действий;

$\tau_{дв1}$ – время движения от пожарного автомобиля с пожарным оборудованием до лифта для пожарных;

$\tau_{под}$ – время подъёма подразделений на лифте для пожарных (на этаж, расположенный ниже горящего [167], либо в пожаробезопасную зону на этаже пожара):

$$\tau_{под} = \frac{h_{под}}{V_{под} \cdot 60} + \tau_{загр} \quad (3.4)$$

где $h_{под}$ – высота подъема пожарных подразделений в ВЖЗ, которая равна произведению средней высоты этажа на номер этажа подъема ($h_{под} = h_{эт} \cdot n_{эт}$);

$V_{\text{под}}$ – скорость подъема лифта для пожарных (скорость перемещения в зависимости от высоты подъема (Н, м) лифта, м/с, не менее $H/60$ [162,170]);

В соответствии с требованиями п.7.15 [171] лифты для пожарных должны предусматриваться в каждом пожарном отсеке многоквартирных жилых домов (Ф1.3) высотой более 50 м. Как правило, в каждой из групп пассажирских лифтов, обслуживающих любой этаж ВЖЗ, согласно п. 5.4.13 [23] и п. 7.15 [171], необходимо иметь не менее двух лифтов для пожарных на пожарный отсек. Лифты для пожарных должны отвечать требованиям [162], шахты лифтов с подпором воздуха при пожаре и выделены противопожарными преградами. Скорость движения лифтов для пожарных должна быть выбрана в зависимости от высоты подъема этих лифтов и обеспечения времени доставки пожарных подразделений с уровня входа до уровня последнего этажа здания не более, чем за 60 секунд [48, 51, 170]. Решение об использовании лифтов, имеющих режим работы «перевозка пожарных подразделений», для подъема личного состава и ПТВ должно приниматься руководителем тушения пожара после тщательной проверки безопасности их работы, что проблематично в условиях пожара. Остановку лифтов необходимо во всех случаях производить либо в пожаробезопасной зоне (при устройстве её в лифтовом холле), либо за один-два этажа до места пожара и воздействия ОФП.

$\tau_{\text{загр}}$ – время на разгрузку ПТВ из лифта для пожарных;

$\tau_{\text{бп}}$ – время проведения рабочей (боевой) проверки СИЗОД пожарными (не более 1 минуты);

$\tau_{\text{дв2}}$ – время движения из пожаробезопасной зоны (нижележащего этажа) до места пожара.

Очевидно, что наименьшее время на развертывание сил и средств получается при использовании внутренних систем противопожарного водоснабжения и от работоспособности и применения лифтов для пожарных. Развертывание рукавных линий по лестничным клеткам практически невозможно ввиду того, что по лестничным клеткам будет осуществляться

эвакуация людей, то есть, пока люди не эвакуируются из ВЖЗ, будет трудно или даже невозможно развертывание сил и средств для подачи огнетушащих средств. В свою очередь развертывание рукавных линий и установка мотопомп с промежуточными ёмкостями для воды и, соответственно, встречное движение пожарных с ПТВ также повлияет и на время эвакуации людей из ВЖЗ.

В первую очередь для тушения пожара используется ВПВ в случае, если здание эксплуатируется, одновременно осуществляется предварительное развертывание пожарных автомобилей. Использование ВПВ может быть ограничено недостаточностью фактических расходов воды на тушение и защиту в развитой стадии пожара, а также его неисправностью (неработоспособность и ненадежность насосов-повысителей, сломанные соединительные головки пожарных кранов и залежавшиеся дырявые пожарные рукава). Поэтому пожарным на практике всегда приходится поднимать пожарные рукава и стволы, а также другое ПТВ.

При недостаточности фактических расходов и интенсивности подачи воды в высотной части ВЗ используют схему развертывания «в перекачку». Для подачи воды на верхние этажи на отметку выше 75 м используют промежуточные емкости объемом 2-3 м³ (рисунок 3.3). В качестве насоса используют переносные мотопомпы. Первую промежуточную емкость с мотопомпой устанавливают на 10-15-м этажах, последующие емкости с мотопомпой устанавливают также через 10-15 этажей здания. При этом явными недостатками данного вида развертывания являются продолжительное время развертывания и трудоёмкость.

Наиболее рациональными способами прокладки магистральных рукавных линий диаметром 66-77 мм являются:

– прокладка снаружи здания путем подъема рукавов по маршевым лестницам (с помощью лифтов для пожарных) на соответствующие этажи и спуска рукавов через оконные проемы, с балконов, лоджий и балконов незадымляемой воздушной зоны лестничных клеток типа Н1;

– прокладка снаружи здания через оконные проемы, балконы, лоджии и балконы, незадымляемой воздушной зоны лестничных клеток типа Н1 при помощи спасательных веревок, длиной 50-60 м;

– прокладка между маршами лестничных клеток, расстояние между которыми должно быть не менее 75 мм.

Прокладку магистральных рукавных линий по маршам лестничных клеток на этажи выше 15-го производить нерационально и нецелесообразно, так как этот способ трудоемок и для него требуется большое количество пожарных рукавов и, как следствие, больших потерь давления в них.

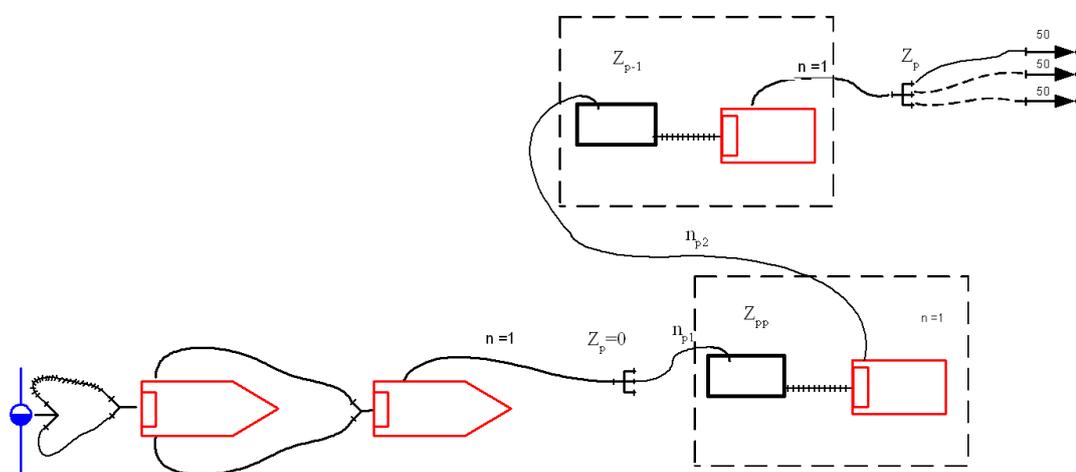


Рисунок 3.3 – Развертывание и подача пожарных стволов на тушение в «перекачку» с помощью мотопомп

Для сокращения времени развертывания сил и средств подачи воды пожарными автомобилями на этажи ВЖЗ предусматривают подключение рукавной линии от автомобиля, установленного на водоисточник, к наружному патрубку (сухотрубку с диаметром не менее 66 мм) с последующим отбором воды через внутренние пожарные краны на этажах здания.

Более сложный вариант развертывания рукавных линий без использования лифта для пожарных в следующих случаях:

- при его неисправности;
- нахождении на техническом обслуживании и ремонте;
- пожаре непосредственно в лифтовой установке;

– при строящемся ВЖЗ, когда не введен в эксплуатацию лифт для пожарных и другие инженерные системы.

Вопрос развертывания сил и средств пожарных подразделений без использования лифта для пожарных в настоящее время слабо изучен, требует серьезной проработки и накопления огромного массива экспериментальных статистических данных. Без использования лифта для пожарных возникают проблемы физического состояния пожарных после подъема пешком на верхние этажи ВЖЗ.

При наличии в ВЖЗ наружных пожарных лестниц типа П2 возможно использование их для прокладки магистральных рукавных линий. Но решения по их устройству крайне редки, так как отражаются на внешнем облике ВЖЗ. Применение их ограничено также вследствие возможности распространения пожара за пределы помещений здания по фасадам ВЖЗ.

При пожарах в многосекционных ВЖЗ, имеющих переходы по балконам или лоджиям из секции в секцию, магистральные рукавные линии целесообразно прокладывать рядом с горящей секцией.

Ранее исследования в данной области в отечественной литературе посвящены ЗИС до 50-75 м [159,164, 173-177], что связано в первую очередь с возможностями насосно-рукавных систем и началом массового строительства ВЗ в РФ только в конце 1990-х и начала 2000-х годов. Для сравнения в США строительство ВЗ в крупных мегаполисах началось в начале XX века. В работах [163–165,172] положено начало исследований в области тушения пожаров пожарными подразделениями в ВЗ в РФ.

В РФ из последних работ по тушению пожаров в ВЗ стоит отметить работу [178], в которой дан небольшой анализ существующих методов подачи огнетушащих веществ на тушение пожаров на высоту более 100 м и предложена схема подачи посредством комбинированного применения двухступенчатых насосов высокого давления с рукавами повышенной прочности и сухотрубов в здании. Отмечен основной принцип философии тушения пожаров –

«автономность», по которому «тактика, способы и методы пожаротушения должны обеспечивать выполнение основной задачи на пожаре независимо от интегрированных систем пожаротушения». К сожалению, в работе не даны временные показатели представленных методов развертывания, а также параметры движения пожарных.

За рубежом опыт тушения пожаров в ВЗ значительно больше, проводятся масштабные исследования по методам тушения пожаров в них [179-181].

Проведенный анализ литературы, пожарно-тактических учений и оперативных планов тушения пожаров в ВЗ позволил выделить различные всевозможные виды развертывания сил и средств пожарных подразделений, ориентировочное время развертывания и ограничения их по высоте (таблица 3.2, рисунок 3.4).

Таблица 3.2 – Виды развертывания сил и средств пожарных подразделений в ВЗ

№ п/п	Вид развертывания сил и средств для подачи огнетушащих средств	Допустимая высота развертывания, м	Время развертывания, мин	Достоинства и недостатки
Развертывание от пожарной техники*				
	От автоцистерны и автонасоса	70-80	от 15	Высота подачи
	От коленчатого автоподъемника	80-90	от 20	Высота подачи
	От многоцелевого МПЗ-АППМ с установкой ТАВ	до 300	от 25-30	Физическое состояние пожарных
	От пожарных автомобилей с установками получения компрессионной пены: - «Natisk» - «Sky Cafs»	до 200-250 м до 300-350 м	более 60	Физическое состояние пожарных
	От переносных пожарных мотопомп (МП)	Не ограничивается	от 45 и более 300	Физическое состояние пожарных
От внутренних систем и средств*				
	От ВПВ (ПК – пожарных кранов)	Не ограничивается	от 15-20	Только на стадии эксплуатации и зданий, надежность

Продолжение таблицы 3.2

	От внутренних пожарных ёмкостей на технических этажах (резервуаров, бассейнов на верхних этажах)	Не ограничивается	от 25-30	Только на стадии эксплуатации и зданий
	От водонаполненного пожарного стояка	Не ограничивается	от 10-15	Только на стадии эксплуатации и зданий, надежность не изучена
Развертывание по фасаду зданий				
	От пожарных вертолетов (вертолетов типа Ми-8МТ (МТВ, АМТ) и Ка-32) с водосливными устройствами и водяными стволами	Ограничивается облачностью, воздушными и тепловыми потоками	от 19-24	Только по фасаду
	С использованием грузовых подъемников для строительства, ремонта и мойки фасадов		не исследовано	
<p>*Без использования лифта для пожарных (при строительстве здания, его неисправности, нахождении на техническом обслуживании, ремонте и пожаре в лифтовой установке) время развертывания сил и средств увеличивается в разы.</p>				

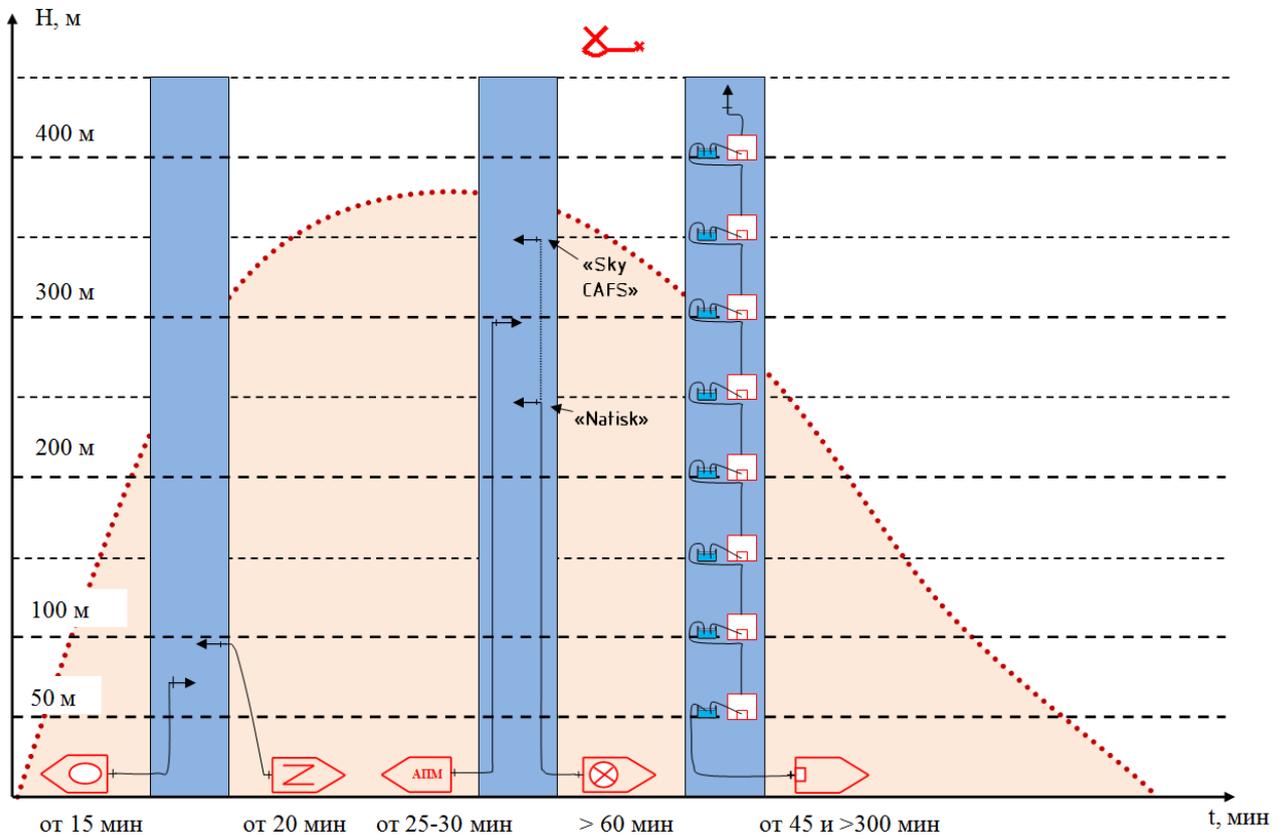


Рисунок 3.4 – Варианты и допустимая высота развертывания сил и средств пожарных подразделений в ВЗ

Развертывание от МПЗ-АПП с ТАВ, от пожарных автомобилей с установками получения компрессионной пены «Natisk», «Sky Cafs» в настоящее перспективно и инновационно, но количество выпущенных машин ограничено. Не в каждом региональном городе, где уже активно строятся ВЖЗ, в наличии гарнизонов имеются данные пожарные автомобили. Анализ всевозможных схем и видов развертывания показал, что данные пожарные автомобили целесообразно применять на стадии строительства ВЗ и при их эксплуатации с заранее предусмотренными (проложенными) внутренними сухотрубами с соответствующим диаметром в объеме лестничных клеток типа Н2 и Н3 и/или в воздушной зоне лестничной клетки типа Н1. Существенным плюсом при их развертывании является возможность подачи огнетушащих веществ на большую высоту без дополнительных мотопомп и промежуточных ёмкостей, но тушение пожаров ограничивается на фасадах или покрытии зданий.

Хорошо зарекомендовали себя пожарные вертолеты для тушения пожаров на строящихся ВЗ в Москве, например, при тушении ВЗ «Башня Федерация».

В настоящее время представляет особый интерес использование более экономичных и простых в эксплуатации и обслуживании, чем вертолеты, беспилотных летательных аппаратов для прокладки магистральных рукавных линий и тушения пожара на фасадах ВЗ (рисунок 3.5).

К сожалению, их использование для тушения пожара на фасадах ВЗ ограничено, а для тушения пожара во внутреннем объеме здания все равно необходимо использование внутренних систем противопожарного водоснабжения и/или развертывание вертикальных рукавных линий на всю высоту ВЗ.

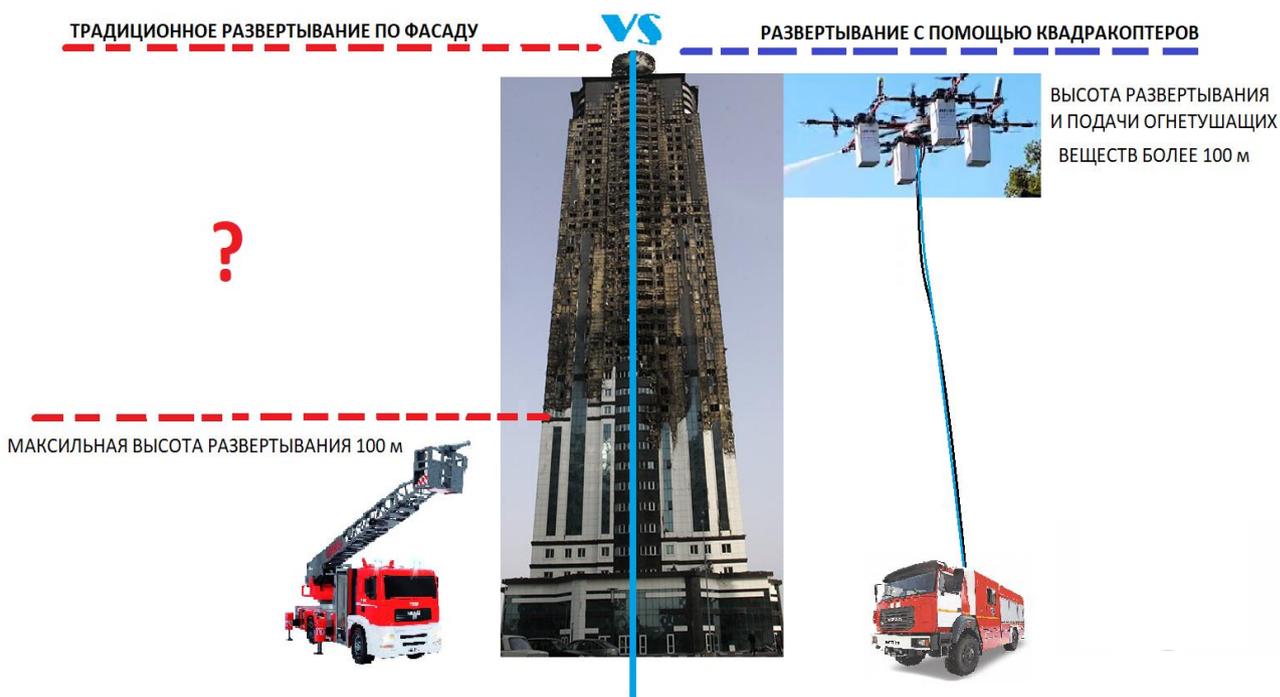


Рисунок 3.5 – Применение квадрокоптеров для тушения пожара на фасаде

3.2 Экспериментальное исследование по разворачиванию рукавных линий в незадымляемой лестничной клетке

В целях определения возможности введения первых стволов на тушение пожарными подразделениями в стадии развития пожара в квартиры ВЖЗ инновационным средством тушения (компрессионной пены) проведено экспериментальное исследование. Развёртывание рукавных линий осуществлялось между лестничными маршами в незадымляемой лестничной клетке типа Н2 для подачи компрессионной пены от системы «Sky Cafs» в высотной башне «Москва» комплекса «Город Столиц» ММДЦ «Москва-сити» с использованием лифта для пожарных. Выбор данной схемы развёртывания связан с тем, что для подачи на тушение компрессионной пены (так же, как и ТАВ) не требуется устройство переносных емкостей и мотопомп на промежуточных этажах, что уже априори в разы уменьшает время подачи первых пожарных стволов от пожарных автомобилей. Отличительной особенностью применения компрессионной пены, как и ТАВ, при тушении

пожаров любого класса – возможность подачи готовой пены по напорным рукавам на большие расстояния, как по горизонтали, так и по вертикали, что немаловажно при тушении пожаров в ВЗ. Но существенным недостатком при прокладке рукавных линий, например, между маршами в незадымляемой лестничной клетке ВЗ и через переходные технические этажи и расщелины возникают перегибы пожарных рукавов, что в дальнейшем сказывается в целом на возможности подать компрессионную пену на верхние этажи. При подаче ТАВ используются жесткие специальные резиновые шланги (не пожарные рукава), отличающиеся высокой устойчивостью к температурной нагрузке, давлению и перегибам.

Высокая плотность, устойчивость пузырьков пены и низкая теплопроводность компрессионной пены может позволить защищать и строительные конструкции от наступления предельных состояний по огнестойкости вследствие её быстрого ввода в зону горения и этих физических свойств. Компрессионная пена позволяет снизить среднюю объемную температуру, снижение расхода огнетушащих средств и времени тушения. Для развертывания и прокладки рукавных линий используются рукава диаметром 38 и 51 мм. При подаче пожарных стволов в зону горения пожарным приходится перемещаться с наполненными компрессионной пеной рукавами, которые по массе легче рукавов в 4-5 раз, чем с водой. За счет этого пожарные более мобильны и подвергаются меньшему физическому напряжению. В эксперименте принимались рукава диаметром 51 мм. Рассматривалось два возможных варианта подъема пожарных – с использованием лифта для пожарных и затем развертывание с верхних этажей вниз, а также подъем пожарных по лестнице вверх с пожарными рукавами и без них.

При первом варианте с использованием лифта для пожарных пожарные поднимались с ПТВ в специальных передвижных контейнерах (рисунок 3.6), оснащены которыми пожарно-технические автомобили АКВ МВ 3536L Multilift («Mercedes-Astros»), состоящие на вооружении 207-го пожарно-спасательного отряда по защите ММДЦ «Москва-Сити».



Рисунок 3.6 – Передвижение мобильных контейнеров с ПТВ

Прокладка рукавных линий осуществлялась заранее за сутки в рамках пожарно-тактических учений 13 июля 2015 года по тушению условного пожара в башнях «Город Столиц». «Город Столиц» представляет собой многофункциональный комплекс площадью 289 000 м² и состоящий из двух башен-небоскребов – «Москва» и «Санкт-Петербург» этажностью 73 и 62 этажа. По замыслу условный пожар произошел на отметке 234 м в результате падения на покрытие на уровне 63 этажа башни «Санкт-Петербург» вертолета и разлива его топлива.

Для определения времени и скоростей движения пожарных использовалась видеосъемка с помощью экшн-камер (рисунки 3.7, 3.8), приспособленных к каскам или боевой одежде пожарных. При известных временных интервалах, протяженности путей движения и действий пожарных по разворачиванию рукавных линий между маршами незадымляемой лестничной клетки были получены усредненные данные по времени прокладки рукавных линий.

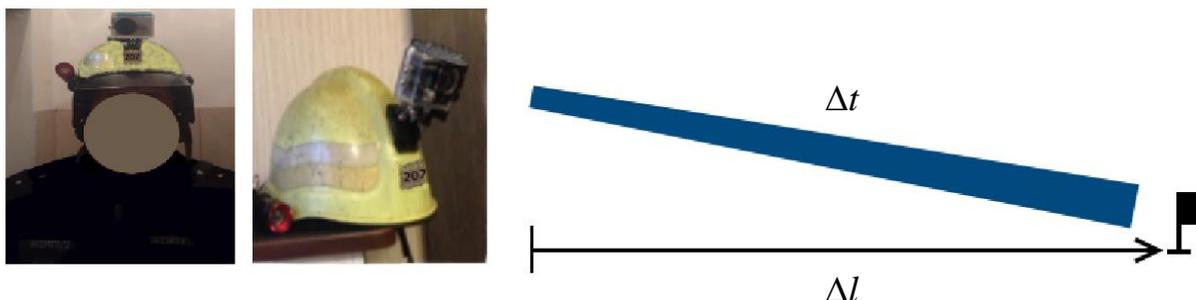


Рисунок 3.7 – Схема видео фиксации движения пожарных и определения времени при прокладке рукавных линий в незадымляемой лестничной клетке



Камера SJCAM 1080HD	
Запись видео	1920 × 1080 960 × 480
Используемая частота кадров	60 кадров/с при разрешении 1280x720, 30 кадров/с при разрешении 1920x1080
Угол обзора	Угол обзора 170°
Поворотный механизм	Поворот вверх-вниз на 150°

Рисунок 3.8 – Тип и технические характеристики экшн-камер, используемых для проведения исследований по разворачиванию

Принцип данного метода заключается в том, что в ходе натуральных наблюдений за передвижением пожарных на участках путей движения по лестнице вверх и вниз и площадкам лестниц с определенной длиной ведется видеосъемка. Включенные камеры позволяют точно отследить время, за которое производятся действия и перемещение пожарных. После прохождения пожарными по участкам путей лестницы и проведения опускания между маршами пожарного рукава, соединения с другим рукавом и создания рукавной линии, а также установки рукавных задержек из расчета 1 рукавная задержка на 1 пожарный рукав эксперимент заканчивается, а все полученные видеоматериалы сохраняются. Следующий этап – анализ видеоматериалов и подготовка полученных результатов к статистической обработке. Для этого на персональном компьютере редактировались видеозаписи и покадрово

наблюдались перемещение и различные действия пожарных с помощью программного обеспечения «Media Player Classic».

Зная расстояние, которое проходит (l , м) пожарный, определяем зафиксированный интервал времени Δt , определяемый по формуле (3.5):

$$\Delta t = \frac{n_{\text{общ}}^{\text{кадр}}}{\nu} = \frac{n_{\text{вых}} - n_{\text{вх}}}{\nu}, \text{ сек.}, \quad (3.5)$$

где $n_{\text{общ}}^{\text{кадр}}$ – общее количество кадров, за которое пожарный проходит участок пути или выполнение определенного действия;

$n_{\text{вх}}$ – номер кадра при входе на рассматриваемый участок пути или выполнение определенного действия;

$n_{\text{вых}}$ – номер кадра при выходе из рассматриваемого участка пути или выполнение определенного действия;

ν – кадровая частота видеозаписывающего устройства, 1/с.

В качестве участка пути могут рассматриваться как лестничные марши, горизонтальные пути или в целом преодолеваемый этаж.

Далее в зависимости от общего числа кадров (n), в течение которых исследуемый пожарный производил действие, можно определить скорость движения по формуле (3.6):

$$V_{\text{дв.}} = \frac{\sum_1^n \Delta l \cdot 60}{\sum_1^n \Delta t}, \text{ м/мин.} \quad (3.6)$$

Последовательность действий при развертывании и прокладке рукавных линий в объеме лестничной клетки следующая:

1. Подъем на лифте для пожарных 2-х пожарных с рукавным контейнером на верхний этаж. Рукавный контейнер оставляют в лифтовом холле, в котором устроена пожаробезопасная зона. Лифтовой холл примыкает к незадымляемой лестничной клетке через тамбур-шлюз.

2. Далее каждый пожарный берет по 2 пожарных рукава с диаметром 51 мм и рукавные задержки. Второй пожарный спускается на лифте также с пожарными рукавами на 5–6 этажей ниже. Потом раскатывают пожарный

рукав и опускают его между маршами и ограждениями вниз. Ввиду того, что в башне «Санкт-Петербург» расстояние между маршами лестничной клетки не везде соблюдается и нередко составляет менее 75 мм, то процесс прокладки рукавной линии был весьма продолжителен. Время на прокладку рукавной линии с отметки 234 м до уровня земли (нулевой отметки) составило более 3 часов. И это в спокойных условиях, не во время пожара. Попарно пожарным приходилось совместно прокладывать один пожарный рукав и устанавливать рукавную задержку, постоянно то поднимаясь вверх, то опускаясь вниз по лестнице. Быстрой прокладке рукавной линии препятствовало наличие рассечек в объеме лестничной клетки и переходов между пожарными отсеками каждые 50 м. Ввиду этого, при разворачивании рукавных линий с помощью лифтов разброс статистических данных был настолько велик, что невозможно их объединение в генеральную совокупность. Также следует отметить, что при проведении пожарно-тактических учений с заранее проложенными рукавными линиями на покрытие башни (234 м) не удалось подать компрессионную пену ввиду передавливания или скручивания пожарных рукавов, и произошел обрыв рукавной линии. Без учета времени на подъем пожарных с пожарными рукавами время прокладки между маршами (при соответствии величины зазора между ними не менее 75 мм) и закреплении рукавной задержки составляет в среднем 2–4 минуты на 1 пожарный рукав.

Поэтому прокладка традиционных гибких магистральных рукавных линий по вертикали ВЗ вызывает большие сомнения ввиду своей продолжительности и вряд ли целесообразна для эксплуатируемых ВЗ.

Вторая (отдельная) часть эксперимента заключалась в разворачивании рукавных линий без использования лифтов. Время подъема по лестнице вверх определялось для каждого отдельного пожарного без ПТВ, после продолжительного отдыха с ПТВ (пожарными рукавами диаметром 51 мм) с дыхательными аппаратами «ПТС-Профи» с металлокомпозитным баллоном массой не более 17 кг (рисунок 3.9). Отдельно проводился подъем группы привлечённых курсантов из 8-ми человек по подъему по лестнице при

включении в дыхательные аппараты в целях определения ориентировочного времени их защитного действия. В зависимости от объема легких, количества потребляемого воздуха при физической нагрузке и подготовки курсантов при равном давлении в 25 МПа воздуха в баллоне объемом 6,8 л хватало с широким диапазоном при подъеме на 14-23 этажей на 1 баллон. Время на соединение пожарных рукавов в рукавную линию между маршами лестницы не учитывалось.



Рисунок 3.9 – Фото проведения экспериментов по разворачиванию рукавных линий в высотную часть ВЗ

Скорость подъема пожарных без пожарного рукава снижается по линейной зависимости, тогда как при передвижении с пожарным рукавом отмечается незначительное увеличение скорости (таблица 3.3), что может быть связано с желанием пожарных быстрее дойти до верхней отметки и закончить эксперимент (рисунок 3.10).

Таблица 3.3 – Время подъема пожарных с пожарным рукавом диаметром 51 мм и без него в лестничной клетке

Подъем на отметку, м	Среднее время подъема, мин	Средняя скорость подъема без рукава, м/мин	Среднее время подъема с рукавом, мин	Средняя скорость подъема с рукавом, м/мин
26,0	1,8	14,2	3,0	8,6
83,0	6,2	13,4	9,3	8,9
139,0	11,0	12,6	15,0	9,2
152,0	13,3	12,0	18,6	9,3

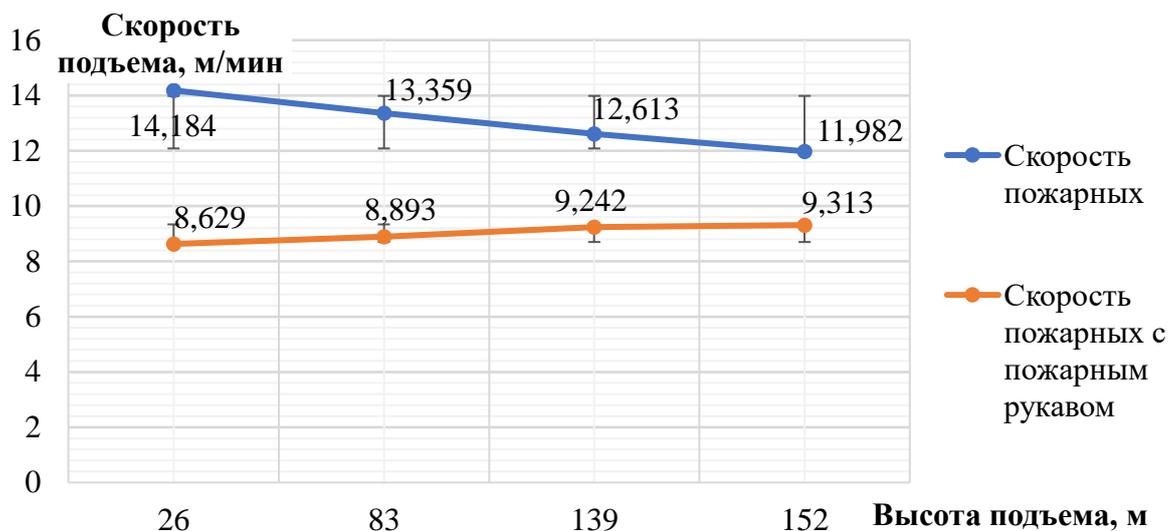


Рисунок 3.10 – Скорость движения пожарных по лестнице вверх и скорость при переноске с пожарным рукавом

В среднем пожарные проходят из расчета **46,2 секунд/этаж (0,77 мин/этаж)**, а с пожарным рукавом диаметром 51 мм **70,6 секунд/этаж (1,18 мин/этаж)**.

Так, только для подъема пожарных без ПТВ по лестничной клетке на отметку 152,0 м потребуется около 13 минут, тогда как для прокладки магистральных линий из 10 рукавов – от 38 до 59 минут. И это без запуска насосно-рукавной системы, без использования мотопомп и переносных емкостей. Больше всего времени затрачивается на прокладку рукавных линий по вертикали, а не на подъем пожарных, в том числе и с пожарными рукавами.

По результатам проведенных натуральных наблюдений и экспериментов подъема пожарных по лестнице вверх и прокладки рукавных линий между маршами лестничной клетки можно сделать вывод о их продолжительности, значительной трудоемкости и нецелесообразности в виду введения пожарных стволов на тушение в развитой стадии пожара, а в случаях нераспространения пожара за пределы квартиры – в стадии затухания.

Поэтому уже на стадии строительства необходимо предусматривать в незадымляемых лестничных клетках либо на фасаде здания по временной схеме устройство сухотрубов с расчетным диаметром в зависимости от оснащения и

вида пожарных автомобилей ближайших ПСЧ. Через каждые 10-15 этажей в зависимости от производительности мотопомп на лестничных площадках предусматривать места их установки, а также места устройства промежуточных емкостей для подачи воды «в перекачку». Но возникает проблема, если лестничные клетки без естественного освещения, то отработанные газы от мотопомп могут существенно усложнить работу пожарных или даже привести к их отравлению. Данные места, возможно, необходимо выделять соответствующей надписью или знаком безопасности, например, как пожарные краны или пожаробезопасные зоны. Также их необходимо фиксировать в оперативных планах тушения пожаров на ВЗ. Устроенные сухотрубы на этапе строительства будут служить основными магистральными линиями подачи огнетушащих веществ, а при эксплуатации в качестве альтернативного дублирующего варианта развертывания по вертикали при неисправности ВПВ и невозможности обеспечить требуемые расход и интенсивность подачи на тушение и защиту. Пожарные могут столкнуться с серьезными проблемами, если стационарные насосы для подачи воды к пожарным кранам и спринклерным АУПТ выйдут из строя и во время пожара.

Все ВЗ за рубежом оборудуют АУПТ. Например, в разделе 32-8 «High-risebuilding» [94] говорится о том, что ВЗ должны быть целиком зачищены спринклерными АУПТ с контролирующими устройствами. В нашей стране редко встречаются проекты ВЖЗ, где предусматривается защита спринклерными АУПТ всего здания, в том числе и квартир (например, некоторые ВЖЗ и комплексы от «Донстрой»). В Великобритании, США, Гонконге и Австралии нормы устанавливают требования к скорости подачи и напору воды в ВЗ. Эти нормы основываются на том принципе, что стационарные насосы, установленные в здании, могут обеспечить доставку воды как к пожарным кранам, так и к спринклерным АУПТ. Совет по ВЗ и проблемам города (Council on Building and Urban Habitat), представляющий собой консультативную неправительственную организацию, связанную с

Организацией Объединенных Наций и органами власти в Австралии, предложил [160]:

1) установить дополнительные соединительные устройства подключения насосов на определенных этажах ВЗ;

2) использовать переносные пожарные насосы, которые пожарные могут доставлять в здание для обеспечения постоянной подачи воды к пожарным кранам и спринклерным АУПТ.

За рубежом водоснабжение на нужды пожаротушения в ВЗ обеспечивается за счет использования пожарными подразделениями переносных пожарных насосов высокого давления для обеспечения работоспособности ВПВ, АУПТ и автономного, независимого от внутренних систем, развертывания рукавных линий – переносных мотопомп. Безусловно, отказываться от АУПТ, ВПВ, прокладки сухотрубов и переносных насосов и мотопомп при тушении пожарными подразделениями в пользу одной из систем нельзя. Необходимо их комбинированное использование при тушении пожаров в ВЗ.

Нормативная продолжительность пожара для обеспечения водоснабжения [182] принимается равной 3 часа и зависит от назначения объекта защиты и количества пожарной нагрузки, тогда как требуемые пределы огнестойкости ВЖЗ высотой более 100 м могут приниматься равными 4 часа.

В практике высотного строительства для повышения надежности АУПТ и ВПВ успешно применяются системы резервных водонапорных баков, устанавливаемых на верхних технических этажах ВЗ непосредственно над защищаемой зоной. Так, например, в главном здании МГУ имени М.В. Ломоносова на 11, 24 и 30 этажах, еще с 50-х годов установлены автоматически пополняемые водонапорные баки. Такая схема обеспечивает возможность подачи воды на нужды пожаротушения даже при выходе из строя насосных установок. Но даже при исправности и надежности ВПВ остается проблема обеспечения требуемых расходов и интенсивности подачи

огнетушащих веществ при распространении пожара за пределы квартиры и этажа.

Предлагается устройство в ВЖЗ внутреннего водонаполненного пожарного стояка для обеспечения водоснабжения на нужды пожаротушения на стадии эксплуатации здания (рисунок 3.11), которые могут позволить подавать воду с существенной экономией времени.

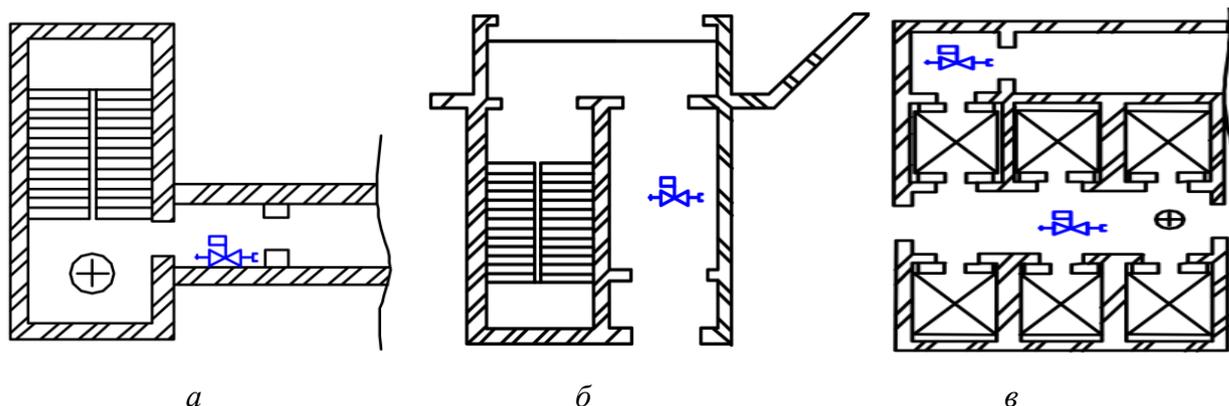


Рисунок 3.11– Варианты размещения пожарного стояка в плане этажа ВЖЗ:

- a* – в тамбур-шлюзе при лестничной клетке типа Н3 (Н2+Н3);
- б* – в тамбуре при воздушной зоне лестничной клетки типа Н1;
- в* – в тамбур-шлюзе при лифте для пожарных и/или лифтовом холле

Для надземной части ВЖЗ, как правило, необходимо предусматривать закольцованные пожарные стояки с расходом 30 л/с на пожарный стояк в высотной части (рисунок 3.12).

На пожарном водонаполненном стояке на каждом этаже устанавливаются по два патрубка с вентилями и соединительными головками для подключения пожарных рукавов и стволов. Система пожарных стояков выполняется закольцованной по высоте в пределах каждого пожарного отсека.

Требуемый напор воды в водонаполненных пожарных стояках определяется суммой:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{г}} + 1,2H_{\text{л}} + H_{\text{пк}} + H_{\text{н}}, \quad (3.7)$$

где $H_{\text{п}}$ – необходимый напор;

$H_{\text{г}}$ – геометрическая высота относительно отметки ввода;

$1,2H_{\text{л}}$ – полные линейные потери;

$H_{\text{пк}}$ – минимальный напор у диктующего крана;

$H_{\text{н}}$ – потери напора в насосной.

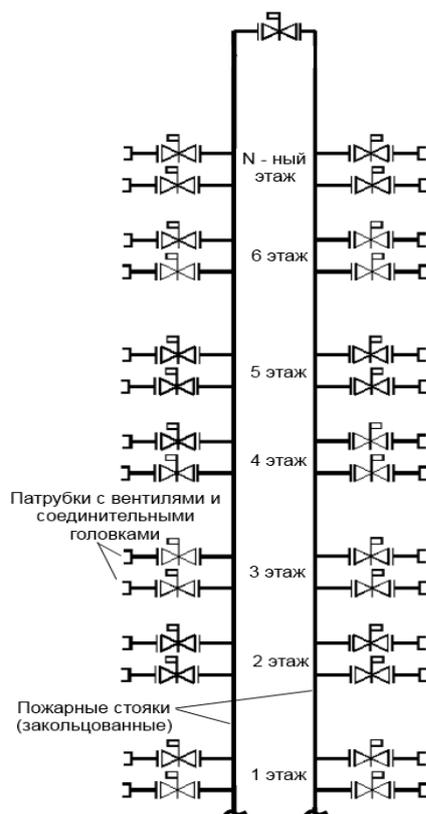


Рисунок 3.12 – Схема размещения пожарного стояка в пределах пожарного отсека

По максимальным значениям расхода воды и необходимого напора подбираются соответствующие пожарные насосы. Для водоснабжения насосных станций предусматривается система подкачивающих насосов и установка демпфирующих емкостей 100 м³. Система внутреннего противопожарного водоснабжения предусматривается от городского водопровода.

При альтернативном устройстве сухотрубов в ВЗ возникает ряд проблем при подаче огнетушащих веществ и обеспечения требуемых давления и расходов:

- невозможность использования сухотрубов снаружи ВЗ в условиях низких отрицательных температур (северных климатических зон) ввиду их обледенения и уменьшения сечения труб;

– возникновение значительных линейных (в зависимости от длины труб, шероховатости стенок труб, то есть материала труб и силы трения) и местных (ответвлений под различными углами, вентилей, клапанов) потерь давления при возникновении сопротивлений.

Для решения первой проблемы для северных регионов необходимо устройство сухотрубов для подачи огнетушащих веществ в объёме незадымляемых лестничных клеток.

Для решения второй проблемы – покрытие внутренней поверхности противопожарных сухотрубов полимерными материалами, например, такими как пластиковой трубой, пластиковой полемизированной трубой или двухкомпонентными грунт эмалями. Удельное гидравлическое сопротивление при данных решениях значительно ниже, чем в стальных эксплуатируемых трубах, даже с учётом небольшого уменьшения изначального внутреннего диаметра сухотруба. В результате этого решения также значительно возрастает гарантированный срок эксплуатации трубопроводов [183].

3.4 Выводы по третьей главе

1. Выявлены закономерности влияния времени подачи первых пожарных стволов на параметры температурного режима «реального» пожара.
2. Получены количественные значения времени подъема и времени прокладки рукавных линий между маршами с использованием лифта для пожарных в ВЖЗ.
3. Предложены схемы разворачивания сил и средств, которые могут быть использованы в практической деятельности пожарных подразделений: от водонаполненного пожарного стояка, от сухотрубов для перспективных веществ тушения (компрессионной пены и ТАВ) и их расположение в плане ВЖЗ.
4. Предложено определение требуемых пределов огнестойкости в зависимости от расчетного времени тушения пожара в ВЖЗ.

ГЛАВА 4. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

4.1 Требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий и пожарная безопасность людей при эвакуации и спасении

В работе [184] отмечается, что возможны две концепции определения и назначения требуемых пределов огнестойкости:

- расчет конструкций на полное выгорание пожарной нагрузки при свободном развитии пожара;
- расчет конструкций на время, необходимое для эвакуации или тушения пожара оперативными пожарными подразделениями.

Выбор той или иной концепции осуществляется каждой страной самостоятельно [144].

В нормативном документе Белоруссии [58], как рассмотрено в разделе 1.3, при определении требуемых пределов огнестойкости несущего каркаса учитывается расчетное время эвакуации людей из здания. По анализу работ [185-190] в жилье представлены «все возрастные группы» в состоянии сна (2Т), ориентировочно расчетное время эвакуации из ВЖЗ возможно определить из соотношения:

$$\tau_{р.э.} = \tau_{н.э.} + \tau_{р.эт.} + N\tau_{р.л.} + d\tau, \quad (4.1)$$

где $\tau_{н.э.}$ – время начала эвакуации, максимум 9,0 мин при неисправности АУПС;

$\tau_{р.эт.}$ – расчетное время эвакуации из этажа здания, 0,59 мин;

N – количество этажей (от 25 до 67 этажей);

$\tau_{р.л.}$ – расчетное время эвакуации людей между ближайшими смежными этажами, 0,4 мин;

$d\tau$ – запас времени, необходимый для учета стохастичности процессов эвакуации людей и динамики нарастания ОФП, не более 10 мин.

Из соотношения (4.1) построен график зависимости времени эвакуации от высоты ВЖЗ (рисунок 4.1).

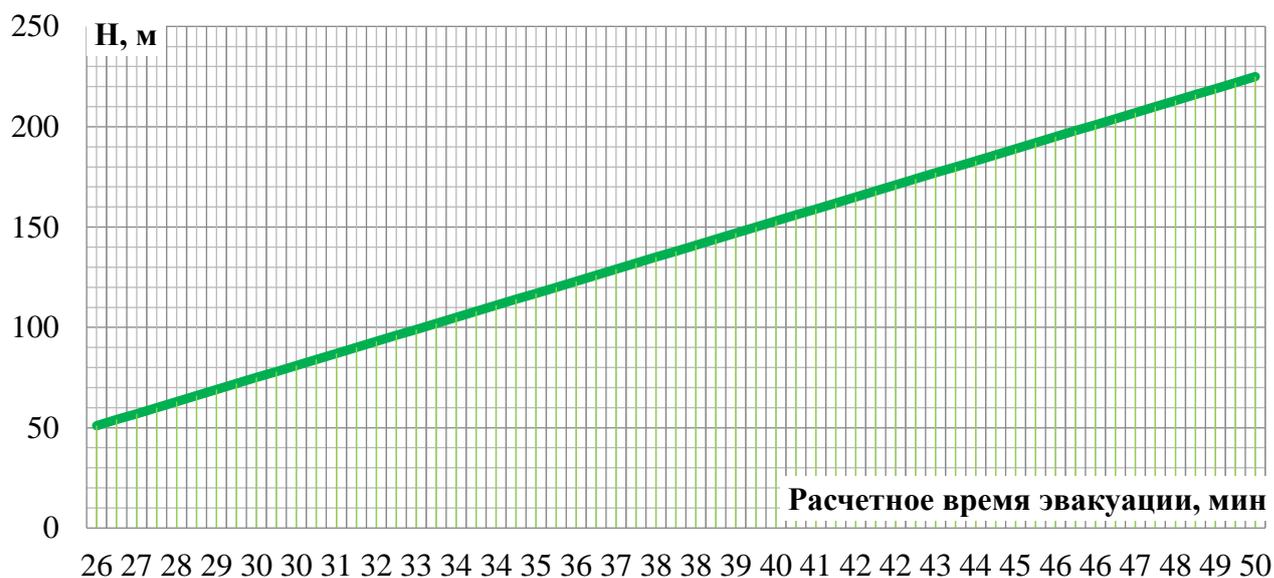


Рисунок 4.1 – Расчетное время эвакуации из ВЖЗ в зависимости от их высоты

Проведено компьютерное моделирование в «Pathfinder 2018» по 2 сценариям с целью определения расчетного времени эвакуации и спасения МГН из пожаробезопасной зоны в лифтовом холле ВЖЗ высотой 147,0 м, количество этажей – 42 этажа, высота этажа 3,5 м. На 1-ом этаже встроены офисные помещения. В ВЖЗ предусмотрено 2 незадымляемые лестничные клетки типа Н1 и 2 лифта для пожарных (рисунок 4.2).

Состав людского потока определен в соответствии с [191, 192]. Время начала эвакуации принималось по [98]. Инвалиды-колясочники ждут спасения в пожаробезопасных зонах на 40-42 этажах (по 2 человека на этаж). Пожарные-спасатели разбиваются на 3 звена попарно и приступают к спасению инвалидов-колясочников через 10 минут. Инвалиды-колясочники расположены на 3-х верхних этажах из наиболее неблагоприятных условий для их спасения. Рассматривалось 2 сценария (рисунок 4.3). Общее количество эвакуировавшихся человек 1078 человек, спасенных 6 человек.

По 1 сценарию физически способные люди эвакуируются по лестницам, а инвалидов-колясочников спасают пожарные с помощью лифта для пожарных.

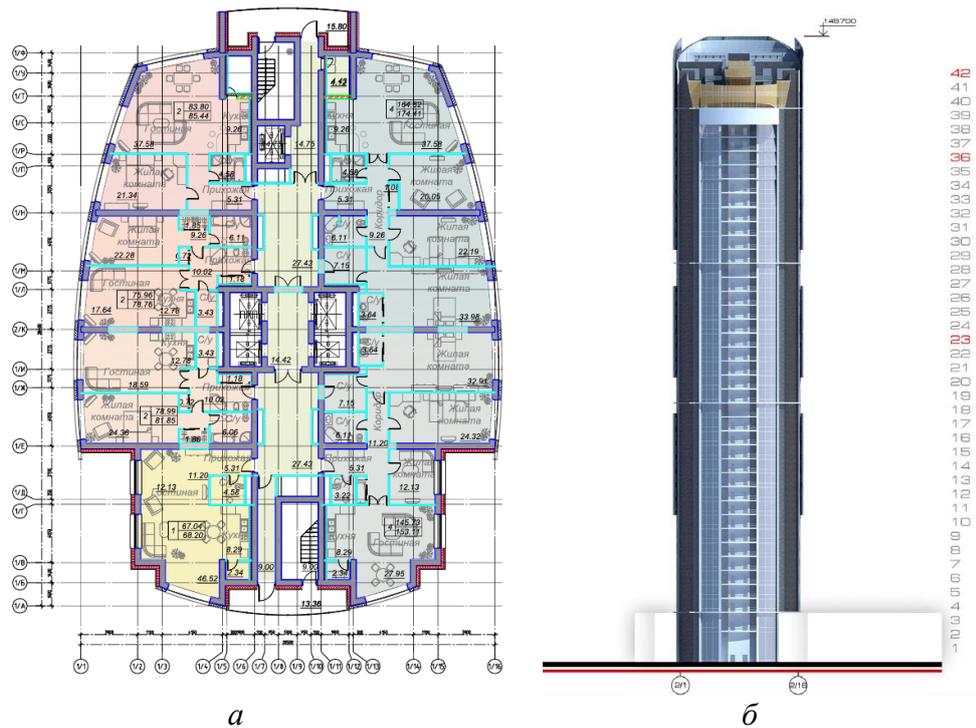


Рисунок 4.2 – План типового жилого этажа (а) и фасад 42-х этажного ВЖЗ (б)

По 2 сценарию также физически способные люди эвакуируются по лестницам, лифты принимаются неработоспособными, пожарные поднимаются навстречу эвакуирующимся людям и осуществляют спасение с помощью носилок. На каждого спасаемого МГН приходится 2 пожарных-спасателей.

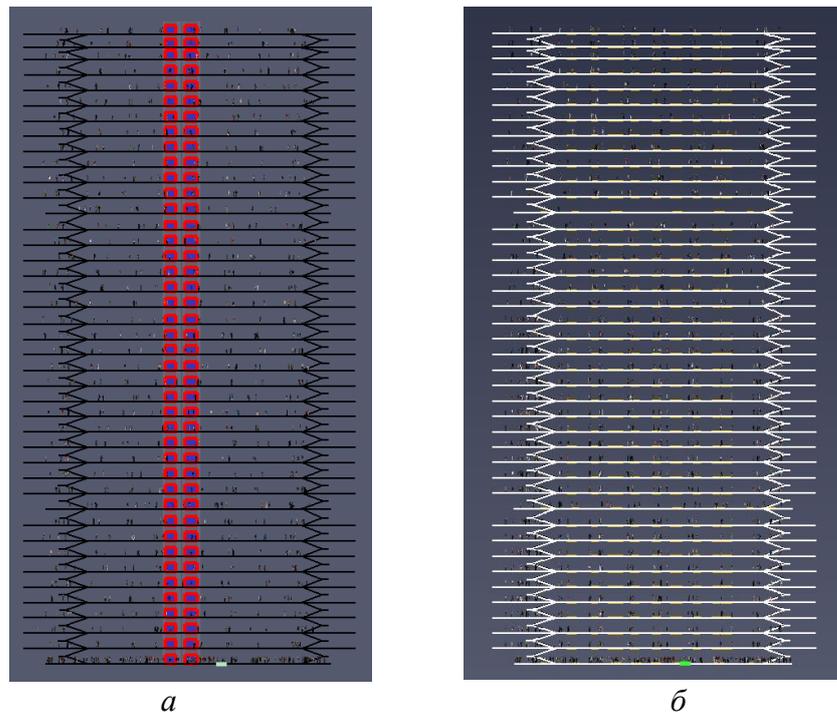


Рисунок 4.3 – Модели по определению расчетного времени эвакуации и спасения МГН из ВЖЗ: а – с помощью лифтов для пожарных; б – с помощью носилок по лестнице

Расчетное время эвакуации людей из ВЖЗ по 1 сценарию составило 827 секунд (13,78 мин) при времени начала эвакуации 4,0 мин (III-IV тип СОУЭ), а время спасения с помощью лифта для пожарных с 40-42 этажей 6 инвалидов-колясочников – 554,8 секунды (9,25 мин). Общее время – 1381,8 секунды (23,03 мин), а при не срабатывании СОУЭ – 1681,8 секунды (28,03 мин).

Расчетное время эвакуации людей из ВЖЗ по 2 сценарию при движении пожарных навстречу эвакуирующимся людям составило 846 секунд (14,1 мин), увеличив время эвакуации на 19 секунд. Время спасения 3-мя парами пожарных с помощью носилок, которым потребовалось совершить по 2 рейса, 6-х инвалидов-колясочников из 40-42 этажей составило 3084,6 секунд (51,41 мин). Общее время – 3930,6 секунды (65,51 мин). Время на отдых и восстановление пожарных при спасении, а также скорость подъема с СИЗОД и носилками в программе не учитывается.

4.2 Экспериментальное исследование спасения маломобильных групп населения из пожаробезопасных зон на этажах высотных жилых зданий

Первоочередной задачей (решающим направлением) после прибытия пожарных подразделений при наличии угрозы жизни и здоровью людей, является их спасение (п.1.4 [193]). Анализ научной и нормативной литературы, проведенный в 1 главе настоящего исследования показал, что время эвакуации людей из ВЗ и время тушения из производственных зданий учитываются при расчетном определении требуемых пределов огнестойкости, тогда как ни в одном источнике не учитывается время спасения людей и МГН, которое будет значительно отличаться от них. Поэтому предлагается при определении требуемых пределов огнестойкости учитывать расчетное время спасения ($\tau_{р.сп.}$):

$$P_{тр} \geq \tau_{р.сп.}, \quad \text{либо} \quad P_{тр} = \tau_{р.сп.} \quad (4.2)$$

В зданиях Ф1.3 могут быть представлены все возрастные группы [190]. Подлежат спасению в жилье МГН в виде инвалидов-колясочников и даже немобильные люди, а также пострадавшие, неспособные самостоятельно

покинуть здание. Однако, общее количество данных групп людей в ВЖЗ и их расположение по этажам величина вероятностная и неизвестная. В работе [191] количество МГН принимается не менее 5% от общего количества проживающих людей, а инвалидов-колясочников (группы мобильности М4) 0,75% от МГН. Для жилых многоквартирных домов количество человек в каждой квартире принимается оценочно, исходя из количества жилых комнат плюс 1 человек [192]. А общее количество человек умножается на 1,25 [51]. От количества МГН рассчитываются площади пожаробезопасных зон. Инвалиды-колясочники и люди, неспособные самостоятельно покинуть ВЖЗ, по замыслу проектировщиков должны укрываться от ОФП в пожаробезопасных зонах. Но среди специалистов и проектировщиков существует путаница в терминологии данного понятия, которое как только не фигурирует в нормах и научной литературе: «безопасная зона», «зона безопасности», «пожаробезопасная зона», «пожарное убежище», «пожаробезопасное укрытие», «коридор безопасности» и другие (рисунок 4.4). В рамках настоящего исследования применялось понятие «пожаробезопасная зона», принятое в нормативном документе [22] и относящееся к ВЗ и служащее для нахождения МГН. «Пожаробезопасные укрытия» («пожарные убежища») устраиваются на технических этажах, которые разделяют ВЗ по высоте на пожарные отсеки, а «безопасная зона» – более широкое понятие. В работе рассматривается спасение только МГН из пожаробезопасных зон. Безопасное расстояние от ВЖЗ для эвакуировавшихся людей может быть определено в зависимости от их высоты и разлета фасадных конструкций.

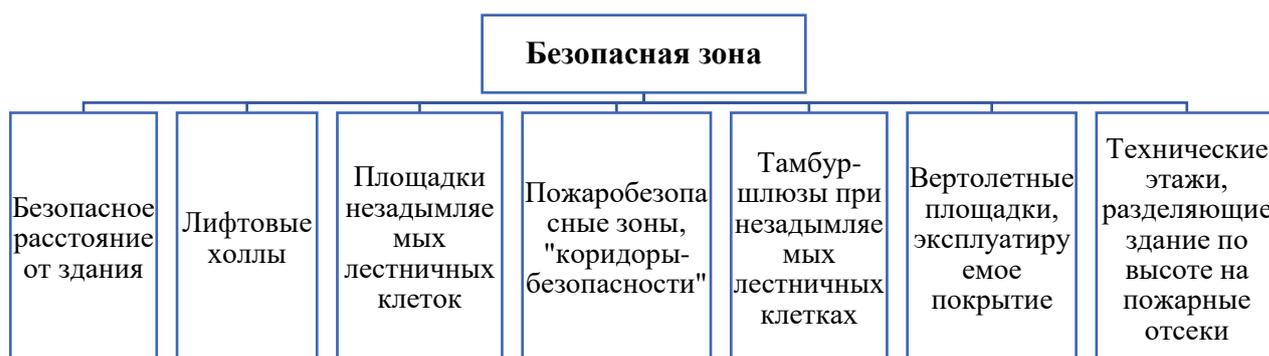


Рисунок 4.4 – Виды безопасных зон

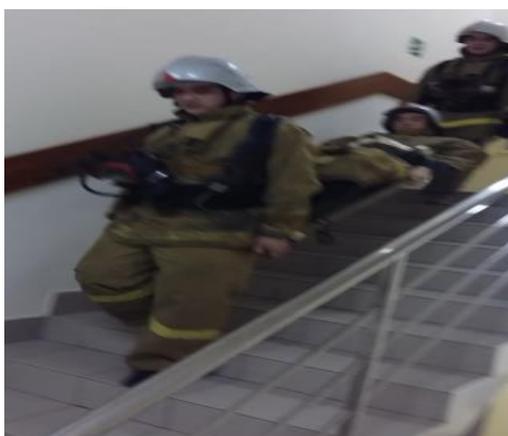
В рамках исследования наличия МГН и немобильных людей и их действий при пожаре в ВЖЗ и комплексах г. Москвы было проведено анкетирование и интервьюирование с представителями обслуживающих компаний (ответственных за пожарную безопасность ВЖЗ и комплексов, представителей охраны и консьержами).

Так, по результатам опроса в практически каждом здании имеются инвалиды-колясочники (в 90–95 % случаев), причем от общего числа проживающих людей составляют приблизительно 0,2–0,5 %. Допустим, в ВЖЗ проживает 500 человек, то, соответственно, на 500 человек приходится максимум 3 инвалида-колясочника. Нахождение инвалидов-колясочников на определенном этаже – величина случайная. И определенно утверждать, на каком этаже принимать их, из результатов анкетирования нельзя. Возможно лишь на этапе проектирования по техническому заданию на проектирование ограничить их нахождение на первом этаже, либо на этажах, где предусматривались пожаробезопасные зоны, как часто делается на практике. Количество немобильных людей из опроса определить не удалось ввиду неосведомленности персонала обслуживающих компаний. В более 60–70 % случаях обслуживающий персонал управляющих компаний не осведомлен о том, что в случае пожара лифты при срабатывании АУПС опускаются на основной посадочный этаж и блокируются. В более 80 % случаев персонал не осведомлен о пожаробезопасных зонах, и что в них должны укрываться неспособные самостоятельно покинуть ВЖЗ люди, не говоря уже о самих МГН.

При эвакуации препятствием для МГН в ВЖЗ служит протяженный путь по лестнице вниз. Лифты (в том числе и для пожарных, а также, как отмечалось в некоторых нормативных документах, лифты для спасения) в РФ в настоящее время не являются путем эвакуации [20]. Самостоятельно без сторонней помощи инвалиды-колясочники покинуть ВЖЗ определенно не смогут. И должны дожидаться спасения в пожаробезопасных зонах. Но как отмечалось ранее, что определение этажа, где могут находиться инвалиды-колясочники, со 100% точностью не представляется возможным. Получается, что их необходимо

проектировать на каждом этаже. Также стоит отметить тот факт, что сегодня здоровые люди при определенных неблагоприятных обстоятельствах (несчастных случаев, ДТП) могут быть отнесены к различной группе мобильности. Так как уровень жизни людей, проживающих в ВЖЗ высок, например, минимальная стоимость элитного жилья в Москве достигает 1 миллиона долларов и более, при наличии в семье МГН или немобильных людей, уход за ними может осуществлять обслуживающий персонал. Возникает вопрос о целесообразности ожидания в пожаробезопасной зоне МГН, в том числе возможно совместно со здоровыми людьми, которые по всей логике и гуманным соображениям не должны оставить их. И ждать спасения пожарными в замкнутом помещении, о котором вряд ли что-то знают, как минимум на протяжении 15 минут.

С целью определения времени спасения из пожаробезопасной зоны были проведены эксперименты по спасению МГН с помощью лифта для пожарных и спасения с помощью медицинских носилок (1 пилотный эксперимент по спасению в инвалидной коляске) по незадымляемой лестничной клетке непосредственно наружу с 50 этажа (высота ВЖЗ около 150 м) (рисунок 4.5, 4.6). Место положения МГН условно определялось по обратной телефонной или видеосвязи с пожаробезопасной зоной из пожарного поста.



а



б

Рисунок 4.5 – Кадры проведения экспериментов по определению параметров спасения пострадавшего пожарными: *а* – на носилках; *б* – в инвалидной коляске по незадымляемой лестнице с 50 этажа

В качестве пожарных-спасателей и спасаемых выступили добровольцы из числа курсантов Академии ГПС МЧС РФ мужского пола различного веса (60, 75 и 90 кг). Для фиксации значений времени и дальнейшего определения скорости использовались видеокамеры, как и при определении развертывания рукавных линий. В эксперименте по спасению МГН из пожаробезопасной зоны принимали участие 12 слушателей 5 курса в возрасте от 20 до 25 лет, прошедшие соответствующую профессиональную подготовку за время обучения. Слушатели, осуществляющие спасение, были отобраны с массой тела от 80 до 90 кг. Масса боевой одежды пожарного не более 4 кг, масса дыхательных аппаратов «ПТС-Профи» не более 17 кг. В качестве МГН (спасаемых) отобраны слушатели массой тела 60, 75 и 90 кг.

В процессе проведения эксперимента и остановок пожарных-спасателей проводился краткий опрос их ощущений по собственному самочувствию и фиксация частоты сердечных сокращений (ЧСС) (рисунок 4.7).

Носилки
 Грузоподъемность – 160 кг.
 Масса не более 8,5 кг.
 Габаритные размеры в разложенном положении:
 - длина 2200 мм;
 - ширина 560 мм;
 - высота 165 мм.
 Габаритные размеры в сложенном состоянии:
 - длина 2200 мм;
 - ширина 180 мм;
 - высота 165 мм.



ПТС «Профи»
 Масса, кг не более 17
 Вместимость баллона, не менее 6,8 л
 Баллон металлокомпозитный

Инвалидная коляска
 Грузоподъемность – не более 110 кг.
 Масса – не более 18,7 кг.
 Габаритные размеры в разложенном положении:
 - длина 1050 мм;
 - ширина в рабочем состоянии не более 670 мм;
 - ширина сиденья не более 485 мм;
 - высота в рабочем состоянии 920 мм;
 Диаметр колес: передних – 200 мм, задних – 610 мм.



Рисунок 4.6 – Оборудование, использованное при проведении экспериментов

Обеспечению пожарной безопасности и скоростным параметрам движения лифтов посвящено немало отечественных научных работ [185–189, 194, 195], авторы которых настаивают на необходимости использования лифтов для эвакуации людей из ВЗ по аналогии с передовыми странами мира.



Рисунок 4.7 – Устройство «Garmin Forerunner 220» (а) для замера ЧСС сокращений и его крепление на пожарных-спасателях (б)

Расчетное время спасения людей с помощью лифтов для пожарных из пожаробезопасной зоны неспособных самостоятельно покинуть верхние этажи ВЖЗ можно определить по элементарной формуле путем сложения времени последовательных действий пожарных-спасателей:

$$\tau_{\text{рсп}}^{\text{ПЛ}} = 2t_1 + 4t_2 + 2t_3 + 2t_4 + \frac{L_1}{v_{\text{п1}}} + \frac{L_2}{v_{\text{п2}}}, \quad (4.3)$$

где $\tau_{\text{рсп}}^{\text{ПЛ}}$ – расчетное время спасения с использованием лифта для пожарных, с;
 t_1 – время входа-выхода в лифт для пожарных звена ГДЗС (при полностью открытых створках дверей лифта), с;

t_2 – время открытия и закрытия створок двери (ей) лифта для пожарных, с;

t_3 – время подъема лифта для пожарных со звеном ГДЗС с основного посадочного этажа до этажа со спасаемыми (пожаробезопасной зоны, лифтового холла) и спуска с ними, с;

$$t_3 = \frac{N_{\text{эт}} \cdot (N_{\text{эт}} - 1)}{v^{\text{ПЛ}}} \quad (4.4)$$

где $N_{\text{эт}}$ – высота этажа, м;

$N_{\text{эт}}$ – этаж подъема лифта для пожарных до этажа со спасаемыми;

$v^{\text{ПЛ}}$ – скорость подъема лифта для пожарных с пожарными-спасателями и спуска со спасаемыми, м/с (по паспорту завода изготовителя);

t_4 – время входа-выхода через проём двери лифта для пожарных с помощью 2-х пожарных-спасателей, с;

$$t_4 = N_{\text{сп}} \cdot t^{\text{сп}} \quad (4.5)$$

где $N_{\text{сп}}$ – количество спасаемых людей, максимальное количество которых ограничено площадью пола кабины лифта для пожарных, либо максимально допустимой грузоподъемности;

$t^{\text{сп}}$ – время входа, закатывания-выкатывания инвалида-колясочника, вноса спасаемых и выхода, выкатывания или выноса через проём двери лифта для пожарных с помощью 2-х пожарных-спасателей, затрачиваемое на 1-го спасаемого, с.

L_1 – путь, пройденный пожарными от двери лифта для пожарных до спасаемых, м;

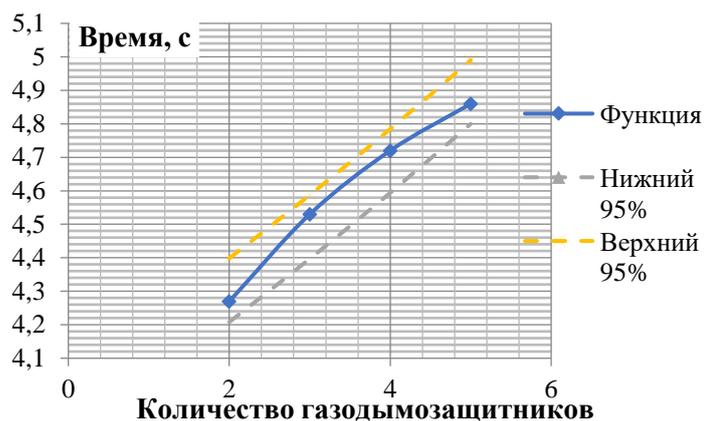
L_2 – путь, пройденный пожарными со спасаемыми до двери лифта для пожарных, м;

$v_{\text{п1}}$ – скорость передвижения пожарных по горизонтальному пути, м/с;

$v_{\text{п2}}$ – скорость передвижения пожарных по горизонтальному пути со спасаемым(и), м/с.

При работе в непригодной для дыхания среде звено газодымозащитной службы (ГДЗС) должно состоять не менее чем из 3 газодымозащитников (пожарных), включая командира звена ГДЗС, и иметь однотипные СИЗОД с одинаковым временем защитного действия. В исключительных случаях, при проведении неотложных спасательных работ, по решению руководителя тушения пожара или начальника участка тушения, состав звена ГДЗС может быть увеличен до 5 или уменьшен до 2-х газодымозащитников [196].

Время входа в лифт для пожарных (t_1) через проем створок лифта шириной 1,0 – 1,1 м пожарных-спасателей с СИЗОД определялось в зависимости от количественного состава звена (Рисунок 4.8).



а

б

Рисунок 4.8 – Аппроксимация зависимости времени входа-выхода пожарных-спасателей с СИЗОД от их количества (а) и видеокادر фиксации (б)

Время входа-выхода в лифт для пожарных без СИЗОД (t_1) через проем створок лифта шириной 1,0 – 1,1 м пожарных-спасателей в составе от 2 до 5 человек находится в интервале 2,0-3,0 с (Рисунок 4.9).

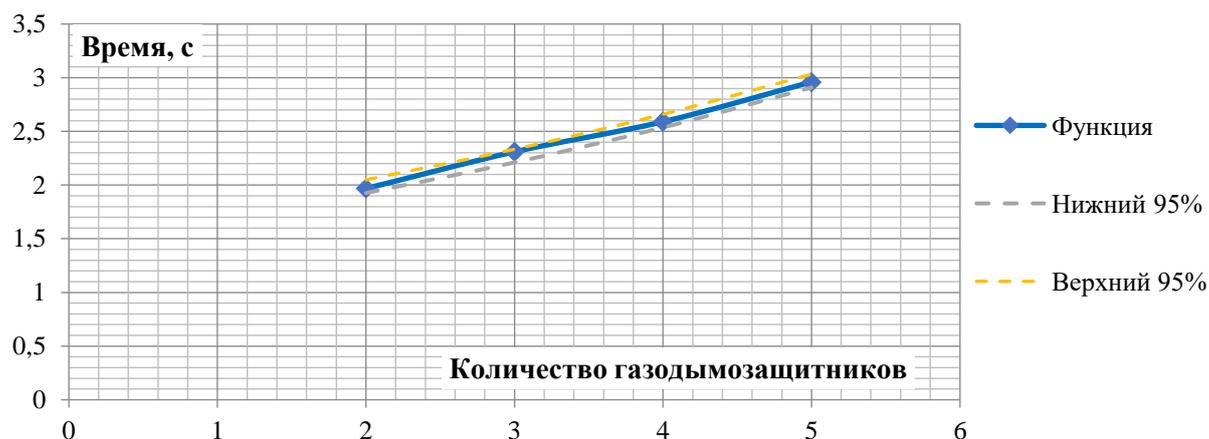


Рисунок 4.9 – Аппроксимация зависимости времени входа-выхода пожарных от их количества без СИЗОД

Время закрытия-открывания створок дверей лифтов для пожарных зависит от их вида (центрального закрывания или телескопического) и составляет (рисунок 4.10):

- центрального закрывания – 3,0 с;
- телескопического закрывания – 5,0 - 6,0 с.

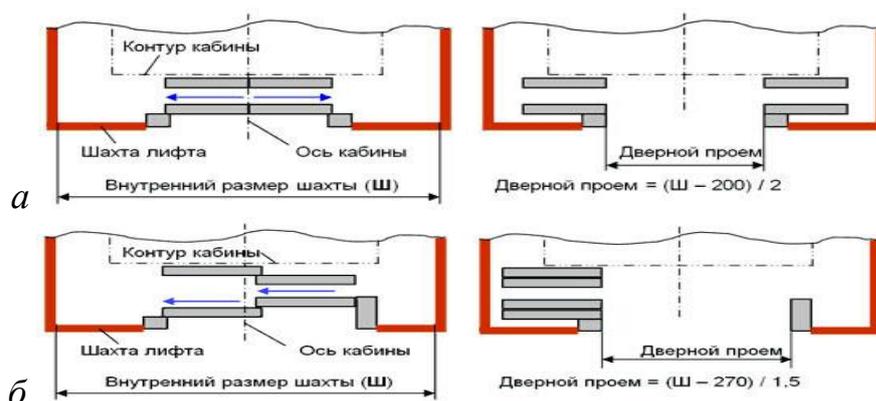


Рисунок 4.10 – Виды закрывания дверей лифтов для пожарных:

а – центрального закрывания; *б* – телескопического закрывания

Лифты для пожарных в ВЖЗ по скорости передвижения относятся к скоростным (2,0 – 4,0 м/с) и высокоскоростным (свыше 4,0 м/с). При начале движения существует время разгона до установленной скорости и при остановке – время торможения за счет переключения скоростей лифта. Время, затрачиваемое (выхода до номинальной скорости) на разгон и торможение лифта, не учитывается (пренебрегается) ввиду малых значений.

Время входа-выхода звена ГДЗС в лифт будет зависеть от количества пожарных-газодымозащитников и необходимости переноски пожарно-спасательного оборудования (носилки, спасательных веревок, приборов для подачи огнетушащих средств и т.п.) и размеров двери лифта.

При самостоятельном вкатывании-выкатывании имитирующего инвалида-колясочника курсанта из лифта, нередки случаи блокирования передних колес инвалидной коляски в зазоре между лифтовой дверью и полом лифтового холла (рисунок 4.11). Время самостоятельного вкатывания-выкатывания даже физически здорового курсанта, имитирующего инвалида, зачастую затруднено ввиду наличия зазора между дверью лифта и полом лифтового холла и возможной разницей отметок уровней площадки лифта и пола лифтового холла (таблица 4.1).

Количество людей, которых возможно перевезти в кабине лифта для пожарных, зависит от грузоподъемности и площадей проекций пожарных и спасаемых людей.

Таблица 4.1 – Временные интервалы пожарных при входе-выходе в лифт для пожарных

Способ перемещения колясочника	Количество опытов, N	Математическое ожидание времени, M(T), с	95% доверительный интервал	
			Нижняя граница	Верхняя граница
Вкатывание-выкатывание 1 пожарным	20	6,42	6,10	6,74
Внос-вынос 2 пожарными	20	6,79	6,45	7,13
Внос-вынос транспортируемого на носилках	20	3,57	3,39	3,75
Самостоятельное вкатывание-выкатывание инвалида-колясочника	20	8,68	8,25	9,11

Кроме этого, были получены данные по скоростям передвижения пожарных по горизонтальному участку пути в здании без непригодной для дыхания среды (таблица 4.2, рисунок 4.12). Скорость передвижения получена для различных случаев: без включения в дыхательные аппараты (СИЗОД) на 7,2% выше, чем при включении и использовании; скорость передвижения в составе звена из 5 человек на 25,6 % ниже, чем при свободном движении пожарного. А передвижение пожарного-спасателя в СИЗОД с инвалидом-колясочником практически не отличается от его свободного передвижения.



Рисунок 4.11 – Преодоление дверного проема лифта

Таблица 4.2 – Скорость передвижения пожарных по горизонтальному пути

№ п/п	Способ передвижения	Количество опытов, N	Математическое ожидание скорости, $M(V)$, м/мин
1.	Свободное передвижение 1 пожарного: – с СИЗОД (но без включения)	20	111,36
2.	– включенным в СИЗОД	20	103,32
3.	Передвижение звена ГДЗС в составе 5 человек друг за другом	20	81,84
4.	Передвижение пожарным спасаемого на инвалидной коляске	20	109,80
5.	Перенос спасаемого на носилках 2 пожарными	20	99,90
6.	Перенос 2-мя пожарными спасаемого непосредственно в коляске	20	87,23
7-9.	Перенос 2-мя пожарными спасаемого по горизонтальному пути различными способами	20	115,35



Рисунок 4.12 – Передвижение пожарных-спасателей по горизонтальному пути:

1 – Свободное передвижение 1 пожарного с СИЗОД; 2 – свободное передвижение 1 пожарного, включенным в СИЗОД; 3 – передвижение звена ГДЗС в составе 5 человек друг за другом; 4 – передвижение пожарным спасаемого на инвалидной коляске; 5 – перенос спасаемого на носилках 2 пожарными; 6 – перенос 2-мя пожарными спасаемого непосредственно в коляске; 7-9 – перенос 2-мя пожарными спасаемого по горизонтальному пути различными способами

Успех спасения в первую очередь зависит от работоспособности, безотказности лифта для пожарных и скорости его передвижения.

Максимальное количество МГН и немобильных спасаемых людей в кабине лифта для пожарных следует принимать в соответствии с отношением площади (вместимостью) площадки лифта для пожарных и площадью проекции 2-х пожарных с СИЗОД.

Площадь проекции передвигающегося на кресле-коляске равна 0,96 м², транспортируемого на носилках – 1,05 м² (с 2 переносчиками) [98], а пожарного в боевой одежде с СИЗОД за плечами – ориентировочно 0,30 м². Тогда площадь проекции 2-х пожарных-газодымозащитников с транспортируемым на носилках ориентировочно составит 1,35 м², одного пожарного с колясочником ориентировочно 1,26 м², пострадавший на носилках без пожарных – ориентировочно 0,85 м².

Для принимаемых габаритных размеров лифтов с режимом «транспортировка пожарных подразделений» возможно спасение только определенного количества колясочников, переносимых на санитарных носилках и при сопровождении пожарных-спасателей (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Допустимое количество пожарных и спасаемых в кабине лифта в зависимости от ее размеров

Размеры (габариты) площадки лифтовой кабины, м	Площадь площадки лифтовой кабины, м ²	Пожарные-спасатели, чел. (Площадь проекции, м ²)	Инвалиды-колясочники, чел.	Пострадавшие на носилках, чел.
2,0*1,4	2,8	2 (0,6)	2	2
2,1*1,6	3,2	3 (0,9)	2	2
2,35*1,6	3,76	4 (1,2)	2	3
2,35*1,7	3,995	5 (1,5)	2	3

При этом, в расчет не идет пожарное оборудование, которое могут иметь при себе пожарные.

При осуществлении спасения из пожаробезопасных зон в лифтовых холлах двумя пожарными-спасателями в зависимости от габаритов лифта

возможно спасение определенного количества колясочников и транспортируемых на носилках (таблица 4.4).

Спасение пострадавшего на носилках и непосредственно в инвалидной коляске рассматривались как наихудший сценарий спасения при неисправности, нахождении на техническом обслуживании лифтов для пожарных, пожаре в лифтовой установке или строящемся объекте (рисунок 4.13).

Таблица 4.4 – Допустимое количество пожарных и спасаемых в кабине лифта в зависимости от ее размеров

Размеры (габариты) площадки лифтовой кабины, м	Площадь площадки лифтовой кабины, м ²	Инвалиды-колясочники, чел	Пострадавшие на носилках, чел
2,0*1,4	2,8	2	2
2,1*1,6	3,2	2	3
2,35*1,6	3,76	3	3
2,35*1,7	3,995	3	3

Ежегодно в РФ согласно официальной статистики происходит 3-10 пожаров в лифтовых установках (лифт, шахта лифта и машинное помещение) [15].



Рисунок 4.13 – Пример неработающего лифта с режимом «перевозка пожарных подразделений»

Ранее в работе [173] проводились исследования со звеньями ГДЗС с включением и без включения в СИЗОД по сопровождению группы из 8 человек, условно спасаемых людей в сопровождении пожарных по незадымляемой лестничной клетке. В работе [197] также проводились исследования по

возможностям спасателей в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста. В работе [185] отражены основные проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями и аналитические формулы по определению количества рейсов для их спасения. В работе [198] представлены расчетные формулы определения времени спасения с помощью спасательных средств (спасательной веревки, коленчатого подъемника, эластичного рукава, выноса на руках и другие). В работе [199] проведено моделирование эвакуации людей из ВЗ с применением лифтов в качестве одного из основных путей. В зарубежном исследовании спасения в инвалидных колясках по лестнице пожарными получены данные по физической нагрузке на пожарных, их скорость спуска в зависимости от ширины марша лестницы [200]. Инвалидная коляска с удлиненными передними ручками позволяет 1,8 раза быстрее спускаться по лестнице вниз, а изменение ширины маршей 0,91, 1,12 и 1,32 м никак не влияет на скорость спуска. В работе [98] представлена скорость движения персонала при переноске носилок с человеком; также при осуществлении переноски людей по лестнице с различных этажей предусматривается на одну пару персонала 1 рейс с 15 этажа. Спасение осуществляется не пожарными-спасателями и не учитываются возможные остановки на отдых и дальнейшее продолжение движения.

Проведение эксперимента проводилось в течение полу года в лестничных клетках 13-ти этажного учебного корпуса Академии ГПС МЧС России и ВЖЗ башни «ВДНХ» на лестницах равными размерами (рисунок 4.14).

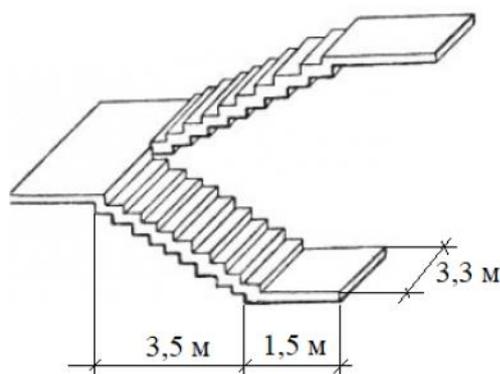


Рисунок 4.14 – Размеры лестницы при проведении экспериментов по спасению пожарными инвалида-колясочника

В роли спасаемого в инвалидной коляске выступил курсант массой 60 кг. На каждом этапе эксперимента проводилась видеофиксация оператором. Эксперимент продолжался до тех пор, пока спасаемого человека не вынесут из здания с учетом остановок на непродолжительное время для восстановления пульса и мышц.

Эксперимент в Академии проводился в несколько этапов (отдельных опытов) в следующей последовательности:

- пожарные-спасатели, одетые в боевую одежду пожарного (БОП) и оснащенные средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), вставали с носилками, либо без них перед дверью незадымляемой лестничной клетки 1-го этажа;

- подъем пожарных-спасателей по лестничным маршам на 50-й этаж (с площадок незадымляемой лестничной клетки 1-го и до 50-го этажей);

- движение по горизонтальному пути до пожаробезопасной зоны (лифтового холла);

- перенос спасаемого на носилках по горизонтальному пути не более 15 м (коридору) до лестничной клетки;

- спуск по лестничным маршам незадымляемой лестничной клетки до выхода из здания;

- остановка и укладка спасаемого человека на носилках на безопасную поверхность.

В процессе проведения эксперимента и остановок пожарных-спасателей проводился краткий опрос их ощущений по собственному самочувствию и фиксация ЧСС.

Следующий этап – анализ видеоматериалов и подготовка полученных результатов к статистической обработке. Для определения скорости движения пожарных по лестничным маршам и площадкам с известными размерами (размеры марша – 3,5*1,3 м, уклон – 1:2, размеры площадки – 3,3*1,5 м). Далее была произведена статистическая обработка полученных экспериментальных данных по скорости движения пожарных на близость отражения основной

генеральной совокупности по работе [131] и с использованием программного обеспечения статистического анализа «Microsoft office excel» и «AtteStat 12.0.5».

Зависимости скорости спуска 2-х пожарных с человеком массой тела 60 кг в инвалидной коляске по лестнице вниз не наблюдается в виду большого разброса экспериментальных данных (рисунок 4.15). При этом средняя скорость спуска вне зависимости от пройденного расстояния и количества этажей составляет 29,8 м/мин. Время спуска человека массой 60 кг с 50-го этажа составило 22 минуты 53 секунды.

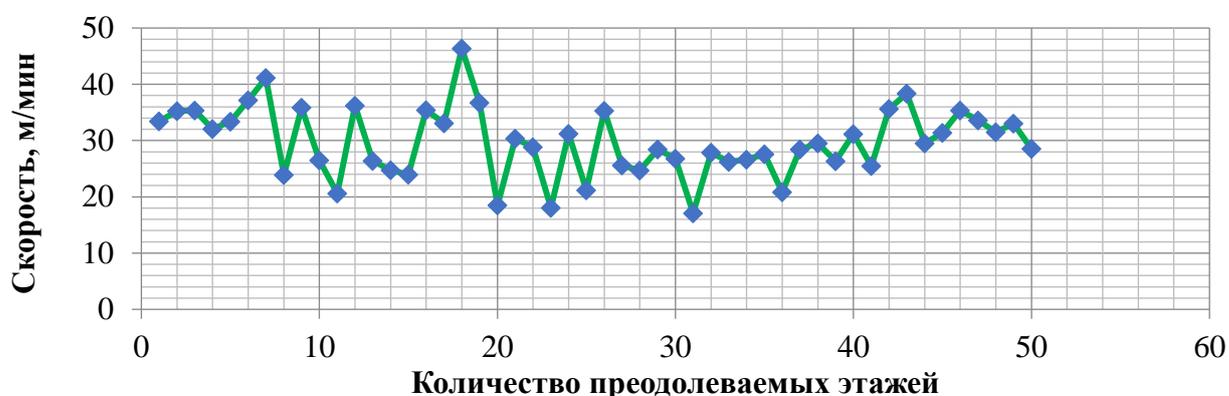


Рисунок 4.15 – Экспериментальные данные скорости движения 2 пожарных-спасателей по лестнице вниз с человеком в инвалидной коляске от преодолеваемого этажа

Стоит отметить, что при переноске людей как на носилках, так и в инвалидной коляске, пожарные-спасатели испытывают большие физические нагрузки, а ЧСС может изменяться в широком диапазоне и достигать 200 уд/мин (рисунок 4.16).

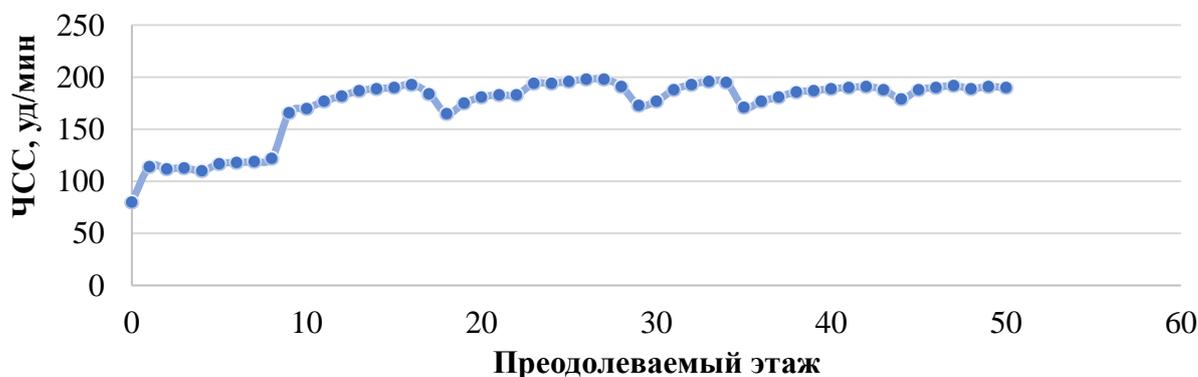


Рисунок 4.16 – Изменение ЧСС пожарных-спасателей при спасении в зависимости от преодолеваемого этажа по лестнице вниз

Детальное исследование движения по лестнице при помощи видеосъёмки, в ходе выполненных экспериментов, позволяет установить количественные значения движения пожарных-спасателей со спасаемыми, а также траекторию их движения по лестничной площадке.

При спуске по лестничным маршам пожарные-спасатели, как показывают натурные наблюдения, двигаются ближе к стенам лестничной клетки ввиду габаритов санитарных носилок. Во время движения на промежуточном этапе – по лестничной площадке – пожарные-спасатели с носилками со спасаемым, двигаясь на следующий марш, огибают поручни по радиусу, зависящему от габаритов носилок, которые используются при спасении. Траекторию движения в большей степени определяют размеры носилок, описывая половину дуги эллипса, длина которого определяется по формуле (рисунок 4.17):

$$L = 2 \frac{\pi ab + (a-b)^2}{a+b} \quad (4.6)$$

где a – расстояние от центра перил до оси 1-го пожарного-спасателя, находящегося в месте перехода лестничного марша и площадки, то есть ширина половины марша и половины зазора между лестничными маршами, м; b – расстояние от центра перил до оси пожарного-спасателя, находящегося на лестничной площадке, м. Или, если пренебречь зазором между лестничными маршами, длина пути по лестничной площадке составит половину длины окружности круга:

$$L = \pi \cdot b = 3,14 \cdot 1,22 = 3,83 \text{ м} \quad (4.7)$$

Длина пути, пройденного пожарными-спасателями с пострадавшим на носилках на один этаж составит $3,5 \cdot 2 + 3,83 \cdot 2 = 14,66$ м.

Длина пути движения 2-х пожарных-спасателей с носилками в горизонтальном положении по двухмаршевой лестнице для здания с высотой этажа 3 метра, уклоном лестницы 1:2 и шириной марша 1,3 м составит $4,9 \cdot H$.

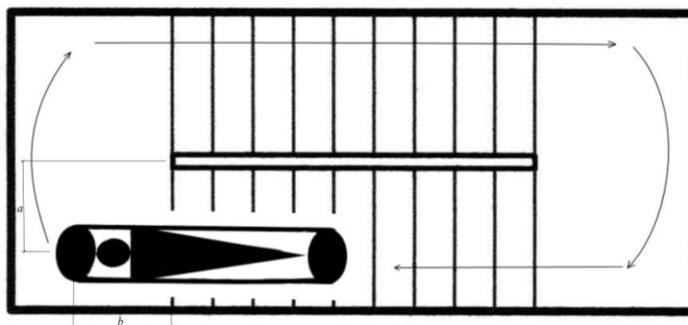


Рисунок 4.17 – Схема траектории движения пожарных-спасателей с носилками со спасаемым

Методика проведения эксперимента при спасении с помощью носилок заключалась в следующем. По команде организатора эксперимента пожарные-спасатели с носилками поднимались по лестнице на 50 этаж, шли до условной пожаробезопасной зоны на расстоянии не более 15 м, после чего укладывали пострадавшего на носилки и спускались вниз по лестнице до выхода из здания.

Скорость подъёма звена пожарных-спасателей из 2-х человек с пустыми носилками на 50 этаж имеет линейную зависимость и снижается в зависимости от пройденного этажа и расстояния (рисунок 4.18).

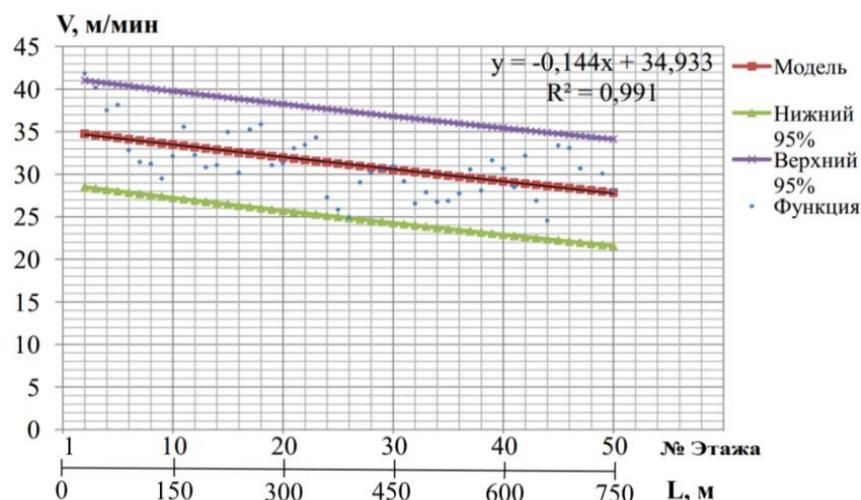


Рисунок 4.18 – Зависимость скорости движения 2 пожарных-спасателей по лестнице вверх с носилками от преодолеваемого этажа

Скорость движения 2-х пожарных-спасателей с носилками по лестнице вверх в среднем составляет 31,26 м/мин, находится в доверительном интервале от 24,99 до 37,53 м/мин и определяется по формуле:

$$V = -0,144N + 34,933 \quad (4.8)$$

где V – скорость движения пожарных; N – номер преодолеваемого этажа.

В серии натуральных экспериментов были определены скорости движения пожарных-спасателей с человеком различной массы на носилках по лестнице вниз, которые также изменяются по линейной зависимости (рисунок 4.19):

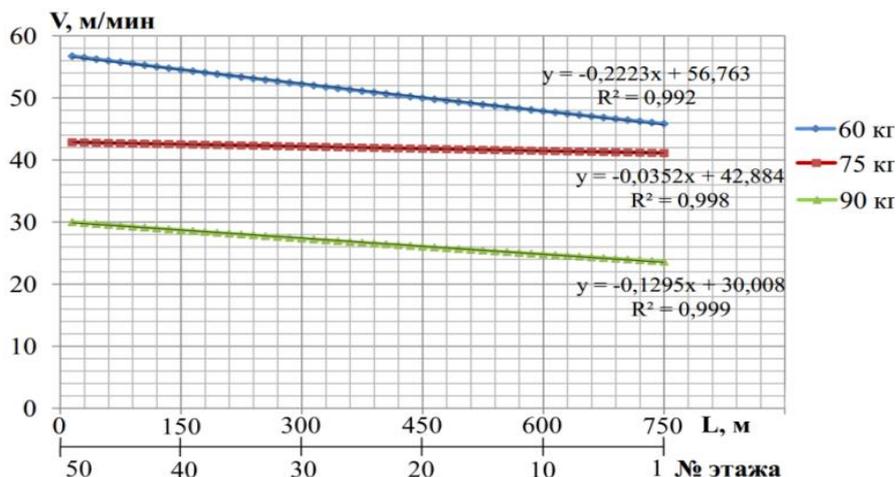


Рисунок 4.19 – Зависимость скорости движения 2 пожарных-спасателей по незадымляемой лестничной клетке вниз с пострадавшим на носилках с массой тела 60, 75 и 90 кг от преодолеваемого этажа и пройденного пути

– при спасаемом массой тела 60 кг средняя скорость составляет 51,09 м/мин в доверительном интервале от 38,74 до 63,45 м/мин и определяется:

$$V = -0,2223N + 56,763 \quad (4.9)$$

– при спасаемом массой тела 75 кг средняя скорость составляет 41,99 м/мин в доверительном интервале от 30,12 до 53,86 м/мин и определяется:

$$V = -0,0352N + 42,884 \quad (4.10)$$

– при спасаемом массой тела 90 кг средняя скорость составляет 26,7 м/мин в доверительном интервале от 20,14 до 33,27 м/мин и определяется:

$$V = -0,1295N + 30,008 \quad (4.11)$$

По данным экспериментов по спасению на носилках спасаемого весом 90 кг пожарными весом 60 кг максимальное время спасения составило близко к 1 часу, при этом количество остановок и время отдыха при спуске вниз с каждым этажом увеличивается (таблица 4.5). Так, после спуска по лестнице

вниз на 10 этажей количество остановок для отдыха и восстановления ЧСС, которая достигала значений до 200 уд/мин, пожарные-спасатели останавливались на лестничной площадке через каждые 3 этажа на время от 11 до 59 секунд для восстановления.

Таблица 4.5 – Время спасения пожарными пострадавших различной массы с 50-го этажа ВЖЗ

Вес пожарных, кг	Вес пострадавших, кг		
	60	75	90
	Общее среднее время спасения с 50 этажа, мин		
60	38,3	46,7	61,3
75	18,7	36,9	43,1
90	16,6	18,4	34,2

В американской компьютерной программе «Pathfinder 2018», разработанной компанией «Thunderhead Engineering», для моделирования расчетного времени эвакуации и спасения людей в исходных параметрах скорость движения составляет 1,67 м/с (100,2 м/мин) для горизонтального пути. По данной программе было проведено моделирование спасения людей пожарными (рисунок 4.20).

При движении по лестницам вверх скорость пожарных-спасателей без СИЗОД и носилок для спасения умножается на коэффициент 0,6, то есть скорость снижается на 40% и составляет 1,002 м/с (60,12 м/мин). Средняя скорость по лестнице вверх пожарных-спасателей при визуальном просмотре результатов моделирования составляет 0,887 м/с (53,196 м/мин). Скорость движения вниз по лестнице со спасаемым на носилках – 1,17 м/с (70,2 м/мин), с учетом коэффициента 0,29 составляет 0,33393 м/с (20,358 м/мин). При моделировании спасения принято следующее допущение ввиду ограниченности возможностей программы, что спасаемый изначально находится на носилках в пожаробезопасной зоне и не учитывается масса носилок и его тела.

Общее время спасения из 50-го этажа ВЖЗ по результатам моделирования составило 30,72 минуты. Сопоставляя скорость движения

пожарных по лестнице вниз со спасаемым на носилках при моделировании (20,358 м/мин) и результатами экспериментов получаем, что высокая сходимость данных получается при спасении 90 кг спасаемого 26,7 м/мин в доверительном интервале от 20,14 до 33,27 м/мин.

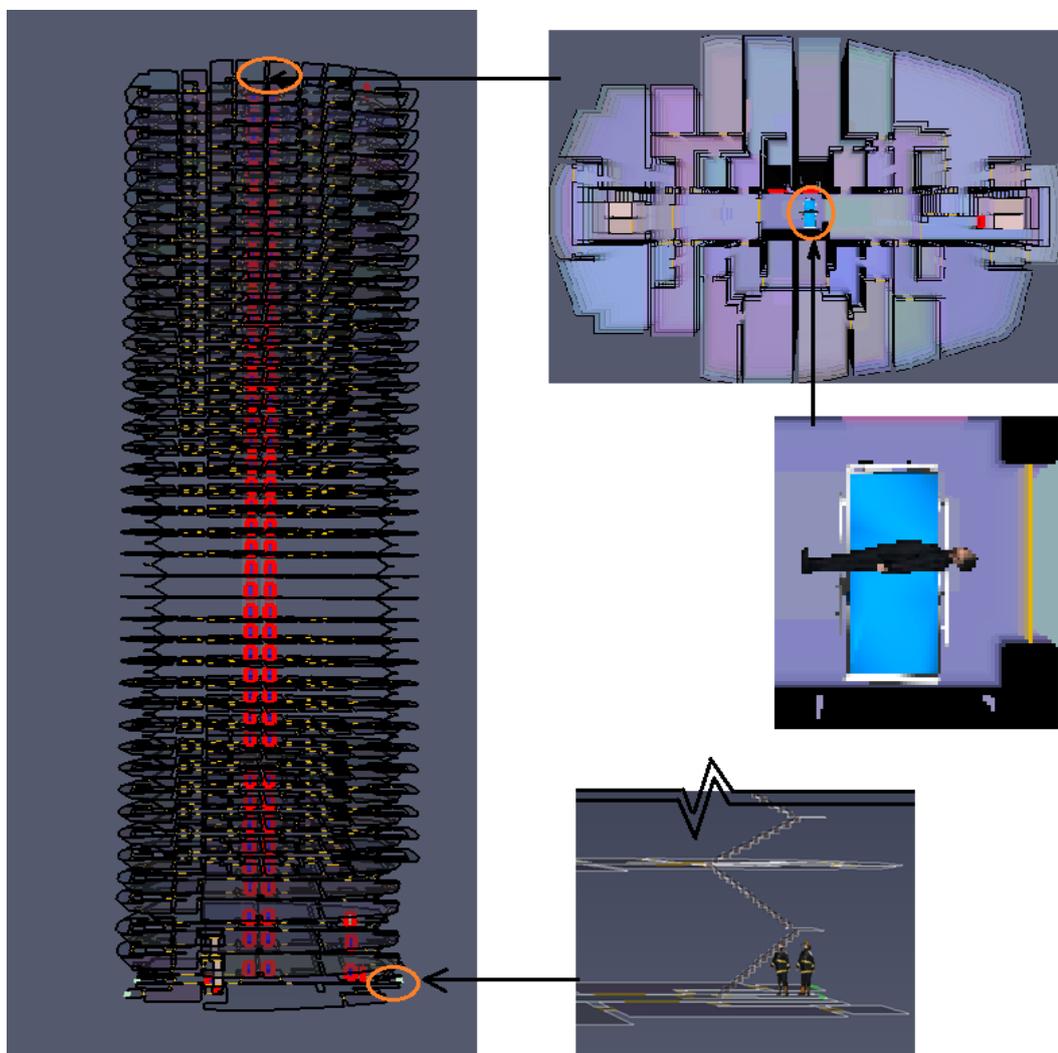


Рисунок 4.20 – Модель ВЖЗ для моделирования спасения пожарными

4.3 Алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости

При обобщении данных по исследованному комплексу факторов, впервые разработана обоснованная концепция нормирования требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций на основе факторов, характеризующих развитие пожара и процесс эвакуации и спасения людей, которые разделены на 2 направления обеспечения пожарной безопасности ВЖЗ:

I. Пожарная безопасность людей в ВЖЗ – основного мобильного контингента эвакуирующихся, спасаемых МГН и пожарных при тушении пожара.

II. Пожарная безопасность несущего каркаса ВЖЗ (огнестойкость и огнесохранность).

По результатам исследованных факторов на основе комплексного подхода к оценке пожарной опасности ВЖЗ количественные их значения были сопоставлены (рисунок 4.21).

Время спасения МГН (в первую очередь инвалидов-колясочников группы М4) с помощью лифтов для пожарных из ВЖЗ высотой до 150 м не превысит 15 мин. При их неисправности спасение с помощью носилок пожарными или в инвалидной коляске не превысит 60 – 65 мин. Время эвакуации людей из ВЖЗ до 150 м составит не более 40 мин. Время тушения пожара пожарными подразделениями от внутренних систем водоснабжения при исправности лифтов для пожарных с большой степенью вероятности позволяет предотвратить развитие пожара и осуществить его тушение (при нераспространении на фасад ВЖЗ) не более, чем за 180 мин.

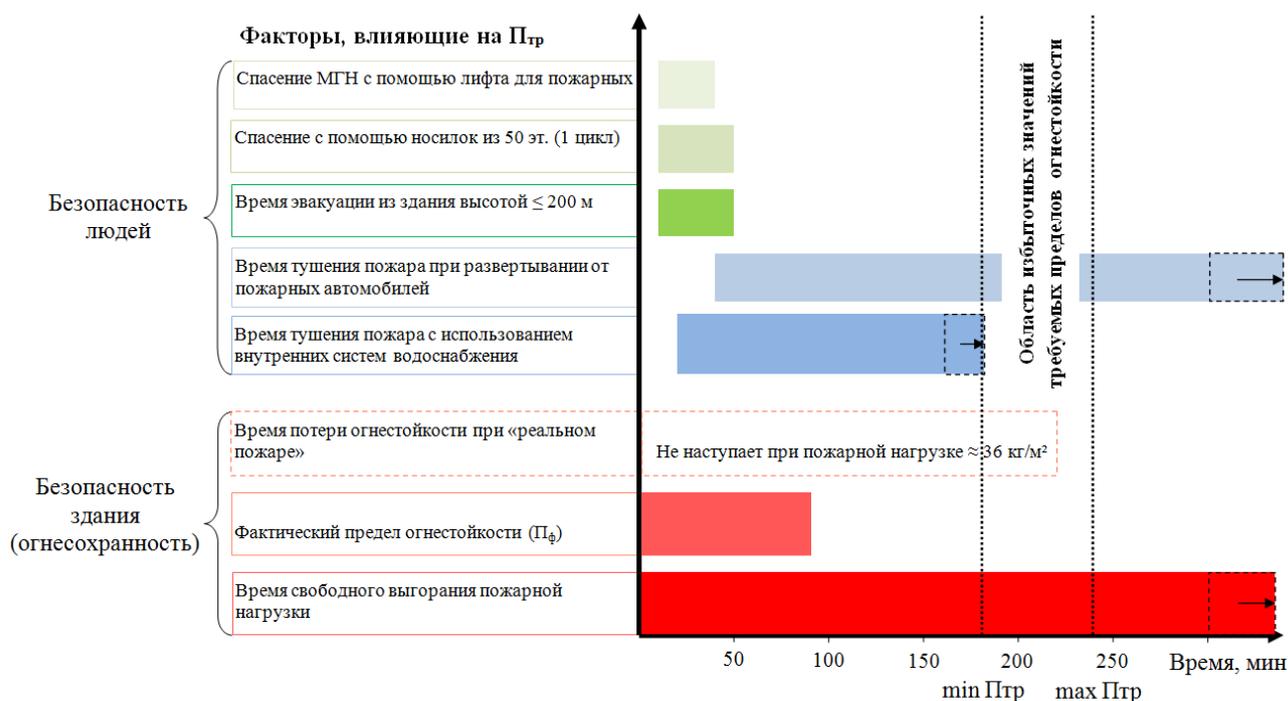


Рисунок 4.21 – Сопоставление основных факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости

Время тушения пожара от пожарных автомобилей и переносных мотопомп может превышать 240 – 360 минут, что не говорит о необходимости назначения требуемых пределов огнестойкости только от времени тушения пожара. Поэтому необходимо определение требуемых пределов огнестойкости с учетом пожарной нагрузки. Полученное значение удельной пожарной нагрузки 36 кг/м^2 в эквиваленте древесины не дает той мощности пожара, температурных режимов «реального» пожара, даже с учетом ветровых воздействий для потери несущей способности несущих железобетонных колонн сечением $400 \times 400 \text{ мм}$, тогда как по стандартному температурному режиму предел огнестойкости наступил на 90 минуте. Основные несущие конструкции ВЖЗ, испытанные по стандартному температурному режиму, уже имеют определенный запас по огнестойкости. Время свободного выгорания пожарной нагрузки во всем ВЖЗ может превышать 360 мин при распространении пожара по фасаду здания с этажа на другие, выше и ниже лежащие этажи. Поэтому необходимо рассматривать следующие сценарии развития пожара: квартира → этаж пожара → 1 этаж выше или ниже лежащий этаж, когда возможен 2-хсторонний обогрев перекрытий и нагрев колонн за счет теплопроводности.

По результатам рассмотрения 2-х направлений обеспечения пожарной безопасности ВЖЗ (обеспечения безопасности людей и сохранения объекта как материальной ценности) разработан алгоритм [201], учитывающий концепцию оптимального и обоснованного нормирования требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций (рисунок 4.22).

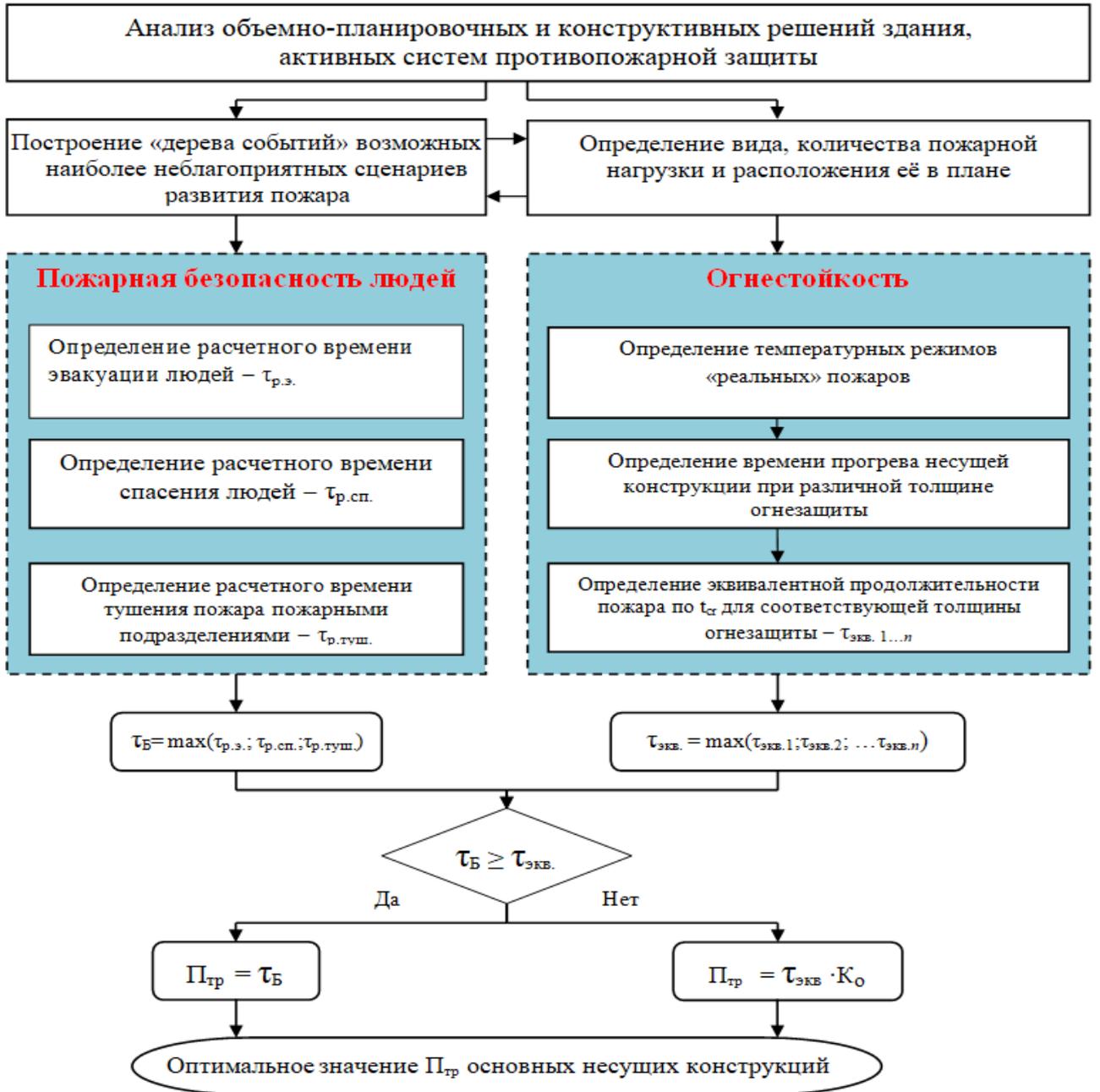


Рисунок 4.22 – Алгоритм определения оптимальных значений требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ

($\tau_{р.э.}$ – расчётное время эвакуации людей из здания; $\tau_{р.сп.}$ – расчётное время спасения людей из здания; $\tau_{р.туш.}$ – расчётное время тушения пожара; $\tau_{ЭКВ.}$ – эквивалентная продолжительность пожара для n -го количества возможных наиболее неблагоприятных сценариев его развития; $\tau_б$ – максимальное время безопасности людей (максимальное время из расчётного времени эвакуации людей, расчётного времени спасения людей или расчётного времени тушения пожара пожарными подразделениями); $t_{кр}$ – критическая температура прогрева; K_0 – коэффициент огнестойкости; $\Pi_{тp}$ – требуемый предел огнестойкости основных несущих конструкций)

4.4 Требуемые пределы огнестойкости в системе обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий с учетом действий пожарных подразделений

ВЖЗ при пожаре представляет сложную систему, в которую входят непосредственно сам объект защиты, находящиеся в нем люди и СППЗ.

Пространственные и временные связи определяются процессом развития пожара, функционированием объемно-планировочных, конструктивных, инженерных решений противопожарной защиты и поведением людей. Общее число состояний СОПБ может быть бесконечно большим ввиду большого наличия подсистем. В общем виде СОПБ ВЖЗ сводится к взаимодействию 3-х основных блоков: «человек – объект – пожар» [112]. При этом стоит выделить в блоке «человек» пожарных, которые осуществляют тушение всех видов пожаров (рисунок 4.23). Поэтому не только пожар (ОФП) воздействует на человека, но и «человек» в лице пожарных воздействует на пожар. Для анализа такой сложной системы необходимо ее декомпозиция, рассмотрение в отдельности каждой подсистемы или основных её частей, которые наиболее могут влиять на пожарную безопасность людей и объекта, как имущественной ценности.

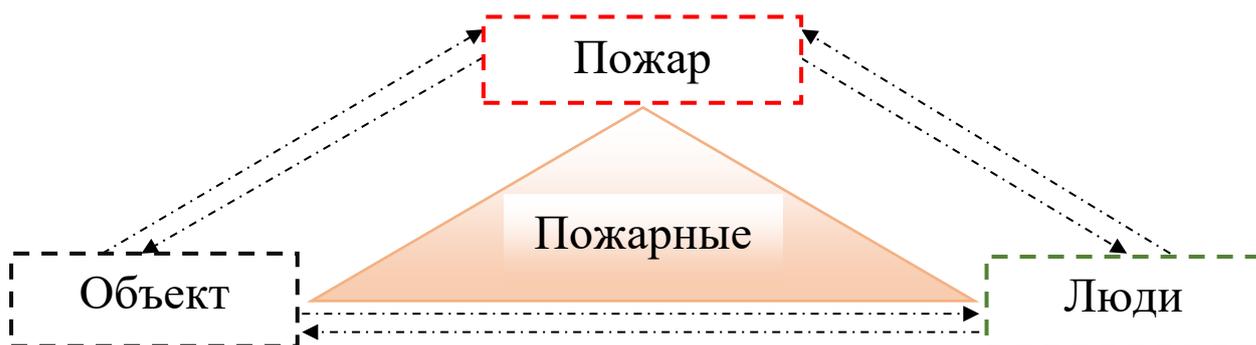


Рисунок 4.23 – Основные взаимодействующие блоки системы

«объект – люди – пожар – пожарные»

Обеспечение требуемой огнестойкости конструкций относится к числу важнейших элементов СОПБ ВЖЗ. Эта система состоит из большого числа взаимосвязанных элементов, оказывающих взаимное влияние друг на друга и

на уровень пожарной безопасности ВЖЗ в целом. Поэтому при проектировании используется так называемый метод компенсации, который заключается в том, что при сохранении неизменным заданного уровня пожарной безопасности осуществляется варьирование показателями различных элементов системы: показатели одних подсистем уменьшаются при соответствующем увеличении показателей других подсистем. Например, как в США, допускается снижение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций при оборудовании в ВЗ АУПТ.

В нормативно-правовом акте [20] СОПБ в её традиционном виде включает в себя систему предотвращения пожара, СППЗ, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. В работе [202] СОПБ, используемая в первую очередь при проектировании и эксплуатации тоннелей, состоит из пассивной СППЗ, активной СППЗ и комплекса организационно-технических мероприятий. В работе [203] и ранее действующих нормативных документах [48-52,54] в СОПБ отдельно выделены активная и пассивная СППЗ, а также система ликвидации пожара оперативными подразделениями и спасение людей. В работе [204] в отдельный элемент СОПБ включен комплекс мероприятий, исключающий возможность превышения значений допустимого пожарного риска (10^{-6}). Для ВЖЗ при разработке СТУ в обязательном порядке производятся расчеты пожарных рисков. С учетом анализа и осмысления выше представленных работ и норм, а также результатов настоящей диссертации была спроектирована СОПБ ВЖЗ (рисунок 4.24). Ключевым элементом спроектированной СОПБ ВЖЗ является обеспечение огнестойкости основных несущих конструкций (несущего каркаса) с учетом действий пожарных подразделений и комплекса мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска.

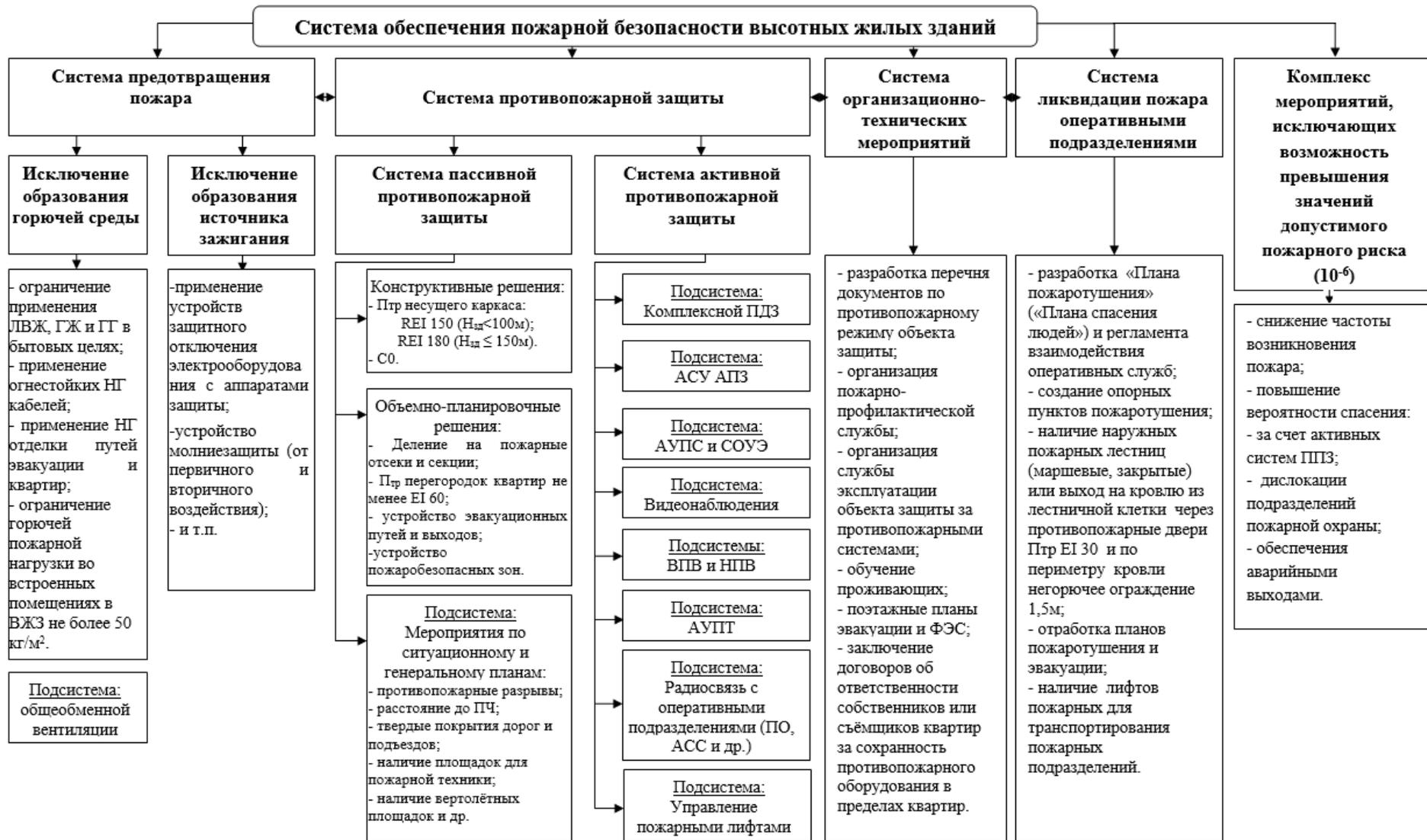


Рисунок 4.24 – Предлагаемая СОПБ ВЖЗ

4.4 Выводы по четвертой главе

1. Расчетное время эвакуации и спасения инвалидов-колясочников из пожаробезопасных зон верхних этажей ВЖЗ высотой до 150 м по результатам компьютерного моделирования в «Pathfinder 2018» пожарными-спасателями с помощью лифтов для пожарных не превышает 29-ти минут. Расчетное время эвакуации и спасения при невозможности использования лифтов для пожарных – не более 66 минут.

2. Определение и назначение требуемых пределов огнестойкости необходимо осуществлять на основе комплексного подхода к оценке пожарной опасности ВЖЗ и обеспечения пожарной безопасности людей: эвакуирующихся, спасаемых и пожарных.

3. Разработан алгоритм, учитывающий концепцию оптимального и обоснованного нормирования требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ.

4. Спроектирована СОПБ ВЖЗ, где обеспечение огнестойкости основных несущих конструкций (несущего каркаса) является ключевым элементом с учетом действий пожарных подразделений и комплекса мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска.

5. Впервые получены количественные значения времени спасения пострадавших на носилках пожарными из 50-ти этажного ВЗ, а также скорости движения пожарных по маршруту вверх и вниз с носилками.

6. Впервые предложено определение требуемых пределов огнестойкости от расчетного времени спасения людей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые разработана научно-обоснованная концепция нормирования требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий (ВЖЗ) на основе факторов, характеризующих развитие пожара с учетом действий пожарных подразделений и продолжительности процессов эвакуации и спасения людей. Предложена классификация факторов, оказывающих влияние на требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций и включающих в себя количество и размещение пожарной нагрузки, продолжительность введения пожарными подразделениями огнетушащих веществ и их влияние на «реальные» температурные режимы пожара, расчетное время эвакуации и спасения людей из здания.

2. Разработан алгоритм обоснованного определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ, позволяющий дифференцировано подходить к нормированию требуемых пределов огнестойкости в зависимости от расчетного времени эвакуации людей из здания, расчетного времени спасения людей из здания и расчетного времени тушения и эквивалентной продолжительности пожара.

3. Получены уточненные значения количества удельной пожарной нагрузки в ВЖЗ, которые необходимо использовать при моделировании температурных режимов в объеме высотных жилых зданий, а также расчетов требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций. Проведенная расчетно-аналитическая оценка «реальных» температурных режимов и потери огнестойкости основных несущих конструкций позволяет более объективно оценивать огнестойкость ВЖЗ и устанавливать прогнозные сценарии развития пожара для ВЖЗ.

4. Впервые установлены параметры движения пожарных-спасателей $V = f(L)$ (скорость по лестнице вверх с носилками и скорость по лестнице вниз со спасаемым массой 60, 75 и 90 кг на носилках), а также время спасения из ВЖЗ высотой до 150 м при невозможности использования лифтов для пожарных

подразделений. На основе этих экспериментальных данных повышена точность методики расчета времени спасения МГН из ВЖЗ.

5. Учитывая данные по параметрам движения пожарных-спасателей (время подъема пожарных (46,2 секунд/этаж) и время прокладки магистральных рукавных линий между маршами лестниц в ВЖЗ (от 38 – 59 мин на прокладку 10 рукавов), а также особенности объемно-планировочных решений ВЖЗ предложены технические решения по устройству в объеме незадымляемых лестничных клеток внутренних систем противопожарного водоснабжения, что позволяет сократить время на развертывание сил и средств пожарных подразделений. Данные результаты исследования были внедрены в СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий».

6. Выявлены закономерности снижения «реального» температурного режима пожара при его локализации пожарными подразделениями, позволяющие в первом приближении оценить влияние введенных огнетушащих веществ на время потери огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ.

7. Показано, что требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий до 150 м в 240 минут завышены в 1,5 – 2 раза, что ведет к значительному удорожанию строительства ВЖЗ. С учетом комплексной оценки пожарной опасности ВЖЗ и исследованных факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости, нормативные значения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций ВЖЗ до 150 м не должны превышать 180 минут. Данные результаты исследования были внедрены СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное высотное строительство [Текст]: монография / С.В. Николаев, С.А. Копбаев, Ю.Г. Граник [и др.]; под ред. С.В. Николаева. – Москва: ИТЦ Москомархитектуры, 2007. – 464 с.
2. Сталин, И.В. Сочинения [Текст]: в 18-и т. / И.В. Сталин сост. М.Н. Грачев, А.Е. Кирюнин, Р.И. Косолапов, Ю.А. Никифоров, С.Ю. Рыченков. – Тверь: Союз, 2006. С. 430 – 432. –18 т.
3. Социально-демографический портрет России. По итогам Всероссийской переписи населения 2010 года [Текст]. – Москва: Статистика России, 2012. – 183 с.
4. Проблемы пожарной безопасности в строительстве [Текст]: материалы науч.-практич. конф. Москва, 17 апреля 2001 г. – Москва: Академия ГПС МВД России, 2001. – 133 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2007 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. Н.П. Копылова. – Москва: ВНИИПО, 2008. – 137 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. Н.П. Копылова. – Москва: ВНИИПО, 2008. – 137 с.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. Н.П. Копылова. – Москва: ВНИИПО, 2010. – 135 с.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – Москва: ВНИИПО, 2011. – 120 с.
9. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – Москва: ВНИИПО, 2012. – 137 с.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – Москва: ВНИИПО, 2013. – 137 с.
11. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – Москва: ВНИИПО, 2014. – 137 с.
12. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. А.В. Матюшина. – Москва: ВНИИПО, 2015. – 124 с.

13. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. А.В. Матюшина. – М.ВНИИПО, 2016. – 124 с.

14. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – Москва: ВНИИПО, 2017. – 124 с.

15. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году [Текст]: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – Москва: ВНИИПО, 2018. – 124 с.

16. Костюченко Д.В. Модели и алгоритмы управления пожарными рисками на объектах жилого сектора городских поселений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Денис Владимирович Костюченко. – Москва, 2016. – 223 с.

17. Население, учтенное при всероссийской переписи населения в 2010 году [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики [сайт]. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.gsk.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/Documents/Voll/pub-01-01_02.pdf (дата обращения 13.09.2017).

18. Жилищный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 188-ФЗ [Электронный ресурс] // Гарант: информационно-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2018. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/57747935/> (дата обращения 13.09.2017).

19. Фирсов, А.В. О нормативном значении индивидуального пожарного риска [Текст] / А.В. Фирсов, Е.В. Крюков, Г.Х. Харисов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 9. – С. 14–16. ISSN 0869-7493.

20. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017) [Электронный ресурс] // Гарант: информационно-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2018. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12161584/> (дата обращения 13.09.2017).

21. Харисов, Г.Х. Обоснование нормативного значения и расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях [Текст]: монография / Г.Х. Харисов, А.В. Фирсов. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 225 с.

22. СП 253.1325800.2016. Инженерные системы высотных зданий. [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2016 г. № 542/пр; Введ. в действие с 4 февраля 2017 г. // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2018. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200139948> (дата обращения 13.10.2018).

23. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр; Введ. в действие с 1 июля 2017 г. // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2018. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения 13.10.2018).

24. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы [Электронный ресурс]: свод правил (ред. от 09.12.2010). – Утв. и введен в действие приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 171 // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/195652/> (дата обращения 13.09.2017).

25. Брушлинский, Н.Н. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе [Текст]: учебник / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 173 с.

26. Кудрин, И.С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Иван Сергеевич Кудрин. – Москва, 2013. – 190 с.

27. Кирюханцев, Е.Е. Проблемы пожарной безопасности высотных зданий и пути их решения [Электронный ресурс] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // Технологии техносферной безопасности [сайт]. – 2013. – Вып. 50. – Режим

доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2013-4/2013-4.html> (дата обращения 13.09.2014).

28. Обобщение и анализ результатов работы нормативно-технического совета департамента надзорной деятельности МЧС России [Электронный ресурс] // Техэксперт: информационно-правовое обеспечение [сайт]. – Режим доступа: https://www.mchs.gov.ru/dop/Gosuslugi/Obobshhennij_perechen_tehnichesk_ih_uslov (дата обращения 13.10.2013).

29. Ройтман, В.М. Необоснованное завышение требований норм и СТУ по пределам огнестойкости ряда конструкций высотных зданий [Текст] / В.М. Ройтман, Т.Ф. Фирсова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 59–62. DOI: 10.25257/FE.2017.2.59-62.

30. Мешалкин, Е.А. Анализ нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности [Текст] / Е.А. Мешалкин, С.А. Шарапов, Е.С. Чугуевская. – Москва, Союз проектировщиков России ОАО «Центральный институт типового проектирования и градостроительства им. Я.В. Косицкого, 2010. – 169 с.

31. Проблемы обеспечения пожарной безопасности при проектировании высотных зданий [Текст]: бюллетень строительной техники / В.В. Соломонов, И.С. Кузнецова, Ю.М. Пирогов, М.С. Соколов. – 2008. – № 6. – С. 54–59.

32. Проектирование и обоснование противопожарной защиты уникальных объектов [Текст]: сб. науч. ст. Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В. А. Кучеренко. – Москва, ТисоПринт, 2009. – 190 с.

33. Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций высотных зданий [Текст] / А.Н. Гилетич, А.Ю. Шебеко, Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2012. – № 4. – С. 31–39.

34. Ройтман, В.М. Огнестойкость конструкций, зданий и сооружений: современные проблемы оценки. [Текст] / В.М. Ройтман // Стройпрофиль. – 2010. – № 7 (85). – С. 7–10.

35. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ // Гарант: информ.-

правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2013. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12172032> (дата обращения 11.10.2013).

36. Теличенко, В.И. Обеспечение стойкости зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара – базовый элемент системы комплексной безопасности. Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации [Текст]: матер. I Национального конгресса «Комплексная безопасность в строительстве-2010». Сб. научн. трудов / В.И. Теличенко, В.М. Ройтман. – ВВЦ, 18–21 мая 2010 г. – Москва, 2010. – Вып. 9. – с.15-29. 35. ENV 1992-1.

37. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий [Текст] / В.М. Ройтман. – Москва: Пожнаука, 2001. – 382 с.

38. Ройтман, В.М. Основы пожарной безопасности высотных зданий [Текст]: учеб. пособие. — Москва: МГСУ, 2009. – 99 с. ISBN 978-5-904639-12-9.

39. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 172 // Техэксперт: информационно-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071144> (дата обращения 10.10.2014).

40. Граник, Ю.Г. Строительство высотных зданий [Текст]: монография / Ю.Г. Граник. – Москва: ЦНИИЭП жилых и общественных зданий, 2010. – 479 с.

41. Пособие по определению пределов огнестойкости, пределов распространения пламени по конструкциям и групп возгораемости материалов [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва: Стройиздат, 1985. – 56 с.

42. Ройтман, В.М. Новый вид угрозы пожара для высотных зданий при их ремонте или реконструкции [Текст] / В. М. Ройтман // Пожарная безопасность. – 2011. – № 2. – С. 108–112. ISSN: 2411-3778.

43. Roytman, V.V. The Concept of Evaluation of Building Resistance against combined hazardous Effects “Impact-Explosion-Fire” after Aircraft Crash [Текст] /

V.V. Roytman, H.J. Pasman, I.E. Lukashevich // Fire and Explosion Hazards: Proceedings of the Fourth International Seminar. – UK, NI, Londonderry, 2003. – pp. 283—293.

44. Ройтман, М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве [Текст] / М.Я. Ройтман. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1985. – 590 с.

45. Молчадский, И.С. Пожар в помещении [Текст] / И.С. Молчадский. – Москва: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

46. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/3923021/> (дата обращения 13.09.2017).

47. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200103505> (дата обращения 13.09.2017).

48. МГСН 4.04–94. Многофункциональные здания и комплексы [Электронный ресурс]: московские городские строительные нормы. – Утв. распоряжением Правительства Москвы от 23 декабря 1994 г. 2479-РЗП // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/5180227/> (дата обращения 13.09.2017).

49. ТСН 31-304–95 (МГСН 4.04–94). Многофункциональные здания и комплексы (с изм. № 1) [Электронный ресурс]: территориальные строительные нормы. – Утв. распоряжением Правительства Москвы от 23 декабря 1994 г. № 2470-РЗП // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000270> (дата обращения 13.09.2017).

50. Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м [Электронный ресурс] / С.В. Николаев, Ю.Г. Граник,

И.С. Баршак [и др.]. – Введ. в действие приказом по Москомархитектуре от 17 мая 2002 г. № 101; Зарег. Госстроем России (письмо от 19.04.02 №9-29/318). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200030075> (дата обращения 13.09.2017).

51. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Электронный ресурс]: московские городские строительные нормы. – Утв. постановлением Правительства Москвы от 28 декабря 2005 г. № 1058-ПП // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/384613/> (дата обращения 13.09.2017).

52. ТСН 31-332–2006. Жилые и общественные высотные здания [Электронный ресурс]: территориальные строительные нормы. – Утв. распоряжением Комитетом по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 23 декабря 2005 г. № 2650-РМ/07 // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200043846> (дата обращения 13.09.2017).

53. СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций [Электронный ресурс]: стандарт организации. – Утв. и введ. в действие приказом ФГУП «НИЦ «Строительство» от 20 октября 2006 г. № 156 // КонсультантПлюс: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=15793#017520127257086004> (дата обращения 13.09.2017).

54. СТО 01422789-001–2009. Проектирование высотных зданий [Электронный ресурс]: стандарт организации. – Утв. научно-техническим советом комплекса градостроительной политики и строительства города Москвы // Гарант: информ. обеспечение. [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1976342/> (дата обращения 19.04.2013).

55. International Building Code (Second Printing) [Текст]. – International Code Council, 2012. – 690 p.

56. NFPA 5000: 2009. Building Construction and Safety Code [Текст]. – NFPA (2008). – 609 p.

57. The building standard law of Japan [Электронный ресурс] // www.ebooks-downloads.net [сайт]. – Режим доступа: <http://www.ebooks-downloads.net/ebook-pdf/the-building-standard-law-of-japan> (13.09.2017).

58. ТКП 45-1.03-109–2008. Высотные здания из монолитного железобетона. Правила возведения [Электронный ресурс]: Технический кодекс установившейся практики. – Утв. и введ. в действие приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 12 июня 2008 г. №197 // www.tnra.by [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://www.tnra.by/#!/DocumentCard/213892> (дата обращения 13.09.2017).

59. Building Regulations 2000. Fire Safety [Текст]: Approved Document B. – 2000 ed. consolidated with 2000 and 2002 amendments. – UK, NBS, 2006. – 162 p.

60. Проект свода правил СП XXX.1325800.2017. Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности [Текст]: свод правил. – Город, ОАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт жилых и общественных зданий» (2017). – 127 с.

61. Кирюханцев, Е.Е. Проблемы разработки и согласования специальных технических условий в области пожарной безопасности [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // Технологии техносферной безопасности – 2016. – № 5. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/38-05-16.ttb.pdf> (дата обращения 02.02.2017).

62. Н 102–54. Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест [Электронный ресурс]: противопожарные нормы // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71797482/> (дата обращения 13.09.2017).

63. СНиП II-A.5–62. Противопожарные требования. Основные положения проектирования [Электронный ресурс]: строительные нормы и правила. –

Утв. 13 декабря 1962 г. Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70341396/#friends> (дата обращения 13.09.2017).

64. СНиП II-A.5–70. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений [Электронный ресурс]: строительные нормы и правила. – Утв. 16 сентября 1970 г. Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2013. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71652948/> (дата обращения 13.09.2017).

65. СНиП II-2–80 Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений [Электронный ресурс]: строительные нормы и правила. – Утв. 18 декабря 1980 г. Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71527402/> (дата обращения 13.09.2017).

66. СНиП 2.01.02–85. Противопожарные нормы [Электронный ресурс]: строительные нормы и правила. – Утв. постановлением Государственного комитета по делам строительства от 17 декабря 1985 г. № 232 // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2013. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/5369297/> (дата обращения 13.09.2017).

67. СНиП 21-01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Электронный ресурс]: строительные нормы и правила. – Прин. и введ. в действие с 1 января 1998 г. постановлением Минстроя России от 13 февраля 1997 г. № 18-7; Внесены изм. № 1 и № 2, прин. постановлениями Госстроя России от 3 июня 1999 г. № 41 и введ. в действие с 1 июля 1999 г. и 1 июля 2002 г. соответственно. – <http://docs.cntd.ru> [сайт]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/871001022/рекомендации_по_использованию_программы.pdf (дата обращения 11.12.2012).

68. Микеев, А.К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы [Текст]: учебник / А.К. Микеев. – Москва: Пожнаука, 1994. – 386 с.
69. Мурашев, В.И. Оценка огнестойкости железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Мурашев // Пожарное дело. – 1956. – №7– С. 3–6.
70. Пожарная профилактика в строительстве [Текст] / Б.В. Грушевский [и др.]. – М. ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 453 с.
71. Ройтман, М.Я. Основы противопожарного нормирования в строительстве [Текст] / М.Я. Ройтман. – Москва, 1969. – 480 с.
72. Ройтман, М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле [Текст] / М.Я. Ройтман; под ред. Н.А. Стрельчука. – Москва: ВИПТШ МВД СССР, 1975. – 525 с.
73. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: [Текст]: учебник / В.Н. Демехин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина [и др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.
74. Раздольский, Л. Расчетные температурные нагрузки на несущие конструкции при пожарах в высотных зданиях [Текст] / Л. Раздольский // Высотные здания. – 2009. – № 2. – С. 112–115.
75. Ingberg, S.H. Tests of the Severity of Building Fire [Текст] / S.H. Ingberg // National Fire Protection Assoc. –1928. – Vol. 22, No. 1. – PP. 43–61.
76. Law, M. Review of Formulae for T-Equivalent. Arup Fire, Ove Arup and partners [Текст] / M. Law; Y. Hasemi, ed. // Fire Safety Science. Proceedings. Fifth (5th) International Symposium. March 3–7, 1997, Melbourne, Australia. – Boston, MA, Intl. Assoc. for Fire Safety Science, 1997. – PP. 985–996
77. SFPE S.01 2011, *SFPE Engineering Standard on Calculating Fire Exposures to Structures*, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD (2011).
78. EN 1991-1-2 2002. Eurocode 1. Actions on structures. Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. [Текст] – European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium (2002).

79. НСР ЕН 1991-1-2–2011. Еврокод 1: Воздействия на сооружения – Часть 1–2: Основные воздействия – Воздействия на сооружения при пожаре [Текст]. – Москва: Строительство, 2011. – 67 с.

80. ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ. - правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – Москва, 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

81. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.- правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/3923968/> (дата обращения 11.12.2012).

82. Ройтман, В.М. О физическом смысле и основных подходах к оценке показателя «эквивалентная продолжительность пожара [Текст] / В.М. Ройтман // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 2. – С. 81–85. DOI 10.25257/FE.2018.2.81-85.

83. Термодинамика пожаров в помещениях [Текст]: монография / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский [и др.]; под ред. Ю.А. Кошмарова. – Москва: Стройиздат, 1988. – 448 с.

84. Расчет фактических пределов огнестойкости строительных конструкций с учетом реальных параметров пожара, действий систем пожаротушения, механической вентиляции и дымоудаления (Математическая модель и методика) [Текст] / Пузач С.В., Богатищев А.И., Зернов С.И. [и др.]. Саранск, Морд. кн. изд., 2004. – 80 с.

85. Ройтман, В.М. Оценка огнестойкости строительных конструкций на основе кинетических представлений о поведении материалов в условиях пожара [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Владимир Миронович Ройтман. – Москва: МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1987. 412 с.

86. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* (с изм. № 1) [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. У 891/пр; Введ. в действие с 4 июня 2017 г.// Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044318> (13.09.2017).

87. Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (пособие к СТО 36554501-006–2006) [Текст] / А.Ф. Милованов, В.В. Соломонов, И.С. Кузнецова [и др.]. – Москва: Строительство, 2018 – 123 с.

88. Пособие по расчетному определению требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций зданий производственных объектов (первая редакция) [Текст]: отчет о НИР ФГБУ ВНИИПО МЧС России / А.Ю. Лагозин, А.Ю. Шебеко, П.А. Леончук [и др.]. – Москва, 2016 – 41 с.

89. BSI PD 7974-7–2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment [Текст]. – Место издания: FSH/24, Firesafety engineering, to Subcommittee FSH/24/7, 2003– 88 p.

90. Основы проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений: учеб. пособие [Текст] / С.Б. Сборщиков, А.А. Волков, В.И. Теличенко [и др.]. – Москва: МГСУ, 2015. – 492 с.

91. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200115736> (дата обращения 11.12.2012).

92. Надежность железобетонных плит перекрытий в условиях пожаров [Текст] / И.В. Костерин, С.В. Мусликова, В.И. Присадков [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 3. – С. 94–97.

93. Пронин, Д. Г. Обоснование размеров пожарных отсеков [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Денис Геннадьевич Пронин. – Москва, 2011. – 21 с.

94. NFPA 101 Life Safety Code [Текст]. – Место издания: NFPA, 2012. – р. 489.

95. ECSC. ARBED S.A. Natural Fire Safety Concept [Текст]. Luxemburg, 2001; ASCE 7-05. ASCE Standard. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. – ASCE. N.Y., 2005. – р. 658.

96. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм. № 1) [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 182) // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 11.12.2012).

97. МДС 21-1.98. Предотвращение распространения пожара. Пособие к СНиП 21-01–97 Пожарная безопасность зданий и сооружений [Электронный ресурс]: методическая документация в строительстве // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/6179606/> (дата обращения 11.12.2012).

98. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (ред. от 12.12.2011). – Зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486 // Гарант: информ. -правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения 11.12.2012).

99. Маклакова, Т.Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования [Текст]: монография. – Москва, Ассоциация строительных вузов, 2006. – 160 с.

100. Методическое пособие Архитектурно-планировочные решения высотных зданий [Текст]. – Москва: МИНСТРОЙ России, 2017. – 118 с.

101. СП 31-107–2004. Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. и введ. в действие с 1 февраля 2005 г. приказом ФГУП ЦНС 3 от 12 мая 2004 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200038763> (дата обращения 11.12.2012).
102. Пособие к МГСН 3.01–96 «Жилые здания» [Текст] / С.И. Яхкин, Ю.П. Григорьев, И.С. Генкина [и др.]. – Москва: НИАЦ, 1997. – 29 с.
103. Бородач, М.М. Оборудование высотных зданий [Текст] / под общ. ред. М.М. Бородач. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 320 с.
104. Многоэтажные и высотные здания [Текст] / А.Б. Пуховский, В.М. Арефьев, С.Е. Ламдон [и др.]. – Москва, 1997. – 253 с.
105. Дыховичный, Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности [Текст] / Ю.А. Дыховичный. – Москва: Стройиздат, 1970. – 248 с.
106. Проектирование современных высотных зданий [Текст] / Сюй Пэйфу, Фу Сюеи, Ван Цуйкунь [и др.]; пер. с кит. – Москва: Ассоциация строительных вузов, 2008. – 469 с.
107. Шуллер, В. Конструкции высотных зданий [Текст] / В. Шуллер; пер. с англ. – Москва: Стройиздат, 1979. – 248 с.
108. Ми Зуи Тхань. Ограничение распространения пожара по жилым зданиям конструктивными методами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Ми Зуи Тхань. – Москва, 2005. – 170 с.
109. Баратов, А.Н. Горение на пожаре [Текст] / А.Н. Баратов, И.С. Молчадский. – Москва: ВНИИПО, 2011. – 503 с.
110. Временные рекомендации по тушению пожаров в зданиях повышенной этажности [Текст]. – Москва: ВНИИПО, 1986. – 24 с.
111. Сгораемая нагрузка современных жилых зданий (информация о результатах исследования) [Текст]. – Краснодар: ПТСУПО УВД Краснодарского крайисполкома, 1974.

112. Самойлов, Д.Б. Управление системой обеспечения пожарной безопасности человека в жилом здании: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Дмитрий Борисович Самойлов. – Москва: МИПБ МВД РФ, 1999. – 186 с.
113. Towards the development of design fires for residential buildings literature review and survey results of fire loads in Canadian homes [Текст] / A.C. Bwalya, M.A. Sultan, N. Benichou // NRCC-46766, 10th International Fire Science and Engineering Conference. – Scotland, 2004. – PP. 1 – 6.
114. Robertson A.F. Fire Load, Fire Severity, and Fire Endurance [Текст] / A.F. Robertson, D. Gross – ASTM Special Tech. Pub., 1970. – PP. 3–29.
115. Thomas, P.H. Design Guide: Structural Fire Safety. Workshop CIB W14 [Текст] / P.H. Thomas // Fire Safety Journal. –1986. – Vol. 10(2). – PP. 77–137.
116. Buchanan, A.H. Structural Design for Fire Safety [Текст] / A.H. Buchanan. – 2nd ed. – Wiley, New York, 2001. – 438 p.
117. Harmathy T.Z. Post-Flashover Compartment Fires [Текст] / T.Z. Harmathy, J.R. Mehaffey // Fire and Materials. – 1983. – Vol. 7(2). – pp. 49 – 61.
118. Yii, H.W.J. Effect of Surface Area and Thickness on Fire Loads [Текст] / H.W.J. Yii // University of Canterbury Research Report. – 2000. – Report 00/13 – 212 p.
119. TP-5044. Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.gppb.ru/get_publication.php?id=58003 (дата обращения 11.12.2012).
120. NFPA 72: 1999. National Fire Alarm Code [Текст]. – Место издания: NFPA, 1999. – 379 p. ISBN-13: 978-9999017718.
121. LPR-11:1999. Fire spread in multi-storey buildings with glazed curtain wall facades [Текст]. – Место издания: Loss Prevention Council, 1999. – 56 p.
122. International Fire Engineering Guidelines [Текст]. – Место издания: Australian Government, State and Territories of Australia, 2005. – 415 p. ISBN 1741 614 562.

123. Evans, D. Smoke control provisions of the 2003 IBC: An Interpretation and Applications Guide [Текст] / D. Evans, J. Klote. – International Conference of Building Officials (ICBO), 1, 2005. – 122 p. ISBN 9781580011938.

124. Чинь, Тхэ Зунг. Оптимизация системы противопожарной защиты жилых зданий повышенной этажности с учетом социальных и климатических особенностей Вьетнама [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Чинь Тхэ Зун. – Москва, 2008. – 204 с.

125. Бартелеми, Б. Огнестойкость строительных конструкций [Текст] / пер. с франц. М.В. Предтеченского; под ред. В.В. Жукова. Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – Москва: Стройиздат, 1985. – 216 с.

126. Молчадский, И.С. Приведение температурного режима реальных пожаров к стандартному [Текст] / И.С. Молчадский // Огнестойкость строительных конструкций: Сб. тр. ВНИИПО МВД СССР. – Вып. 7. – Москва: ВНИИПО, 1979. – С. 3–7.

127. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения [Текст]: справ. изд. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук [и др.]. – В 2-х кн. – Москва, Химия, 1990. – 496 с. – 1 кн.

128. Баратов А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения [Текст]: справ. изд. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук [и др.]. – В 2-х кн. – Москва, Химия, 1990. – 496 с. – 2 кн.

129. Корольченко, А.Я., Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения [Текст]: справочник / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – В 2-х ч. – Москва: Пожнаука, 2004. – Ч. I. – 713 с; Ч. 2. – 774 с.

130. Асеева, Р.М. Горение древесины и ее пожароопасные свойства [Текст]: монография / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 262 с.

131. Мамаев, А.Н. Основы медицинской статистики [Текст] / А.Н. Мамаев. – Москва: Практическая медицина, 2011. – 128 с.

132. Mc Grattan Kevin B. Fire Dynamics Simulator (version 5). Technical Reference Guide [Текст]. – Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2007. – 86 p.

133. Моделирование пожаров и взрывов [Текст] / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – Москва: Пожнаука, 2000. – 482с.

134. Kim S.H., Huh K.Y. Assessment of The Finite-Volume Method and The Discrete Ordinate Method for Radiative Heat Transfer In a Three-Dimensional Rectangular Enclosure [Текст] // Numerical Heat Transfer. – 1999. – Part B. – pp. 85 – 112.

135. Есин, В.М. Исследование процесса распространения продуктов горения в коридорах, шахтах лифтов и лестничных клетках жилых домов. Этап 3. Экспериментальное исследование температур и скоростей распространения продуктов горения в коридорах жилых домов [Текст]: отчет о НИР ФГБУ ВНИИПО МЧС России / В.М. Есин, А.С. Турков, А.Н. Баратов. – Москва, 2016 – 41 с.

136. Соломонов, В.В. Обеспечение огнестойкости и огнесохранности при проектировании монолитных железобетонных перекрытий высотных зданий [Текст] / В.В. Соломонов, И.С. Кузнецова // Пожарная безопасность в строительстве – 2011 – № 1 – С. 32–34.

137. Инженерное оборудование высотных зданий [Текст] / Бродач М.М., Антонов А.А., Бирюков С.В. [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 458 с.

138. СП 131.13330.2012. Строительная климатология [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 275 и введ. в действие с 1 января 2013 г. В СП 131. 13330.2012 «СНиП 23-01–99* Строительная климатология» внесено и утверждено изм. № 2 приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 ноября 2015 г. № 823/пр и введ. в действие с 1 декабря 2015 г.) Актуализированная редакция СНиП 23-01–99* (с изм. № 1, 2) // Техэксперт:

информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения 11.12.2012).

139. ГОСТ Р 55994–2014 ISO/TR 15658:2009 «Испытания на огнестойкость. Руководящие указания по планированию и проведению крупномасштабных испытаний и моделированию без использования печи» [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200110470> (дата обращения 11.12.2012).

140. Асеева, Р.М. Горение древесины и её пожароопасные свойства: монография [Текст] / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 262 с.

141. СП 5.13130.2009. Свод правил системы противопожарной защиты, установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил (ред. от 01.06.2011) (утв. приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 175) // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/195658/> (дата обращения 11.12.2012).

142. Динь Конг Хынг. Динамика развития пожаров в высотных зданиях [Текст] / Динь Конг Хынг, О.О. Ворогушин, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2012 – Т. 21, № 12. – С. 60–66.

143. Динь Конг Хынг. Пожаротушение тонкораспыленной водой в отсеках высотного здания [Текст] / Динь Конг Хынг, А.Я. Корольченко, А.С. Охроменко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013 – Т. 22, № 3. – С. 63–66.

144. Шебеко, Ю.Н. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении [Текст] / Ю.Н. Шебенко А.Ю. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2015 – № 1. – С. 31–39.

145. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом МЧС РФ от 21 февраля 2013 г. № 116 // Гарант: информ.-правовое

обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70233778/> (дата обращения 11.12.2012).

146. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01–2003 [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 279 // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70327784/> (дата обращения 11.12.2012).

147. Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий: Метод. Рекомендации к СП 7.13130.2013 [Текст] / И.И. Ильминский., Д.В. Беляев., Вислогузов П.А. [и др.]. – Москва: ВНИИПО, 2013. – 58 с.

148. Рекомендации АВОК Р НП «АВОК» 5.5.1–2018 «Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий» [Текст]. – Утв. и введ. приказом Президента НП «АВОК» от 01 сентября 2018 г. – М.: ООО ИИП "АВОК-ПРЕСС", 2018 год – 68 с.

149. Vabrauskas, V. The Historical Basis of Fire Resistance Testing. Part II [Текст] / V. Vabrauskas, R.V. Williamson // Fire Technology. – 1978. – Vol. 14, no. 4. – PP. 304–316.

150. Минайлов, Д.А. Выбор температурного режима огневых испытаний строительных конструкций [Текст]: матер. двадцать третьей международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2014» / Д.А. Минайлов. – Место издания: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 251–254.

151. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. – Москва: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

152. Пособие по применению методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной опасности [Текст]. – Москва: ВНИИПО, 2014. – 226 с.

153. Обухов, Ф.В. Пожарная безопасность [Текст] / Ф.В. Обухов – Москва: Недра, 1975. – 192 с.

154. Белавский, В.А. Анализ температурных режимов реальных пожаров в жилых и общественных зданиях [Текст] / В.А. Белавский. // Строительство и техногенная безопасность. – 2009. – Вып. 29. – с. 48 – 57.

155. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций [Текст] / А.И. Яковлев. – Москва: Стройиздат, 1988. – 143 с.

156. Бубнов, В.М., Карпов А.С. «Огнестойкость железобетонных конструкций» [Текст]: учеб. пособие / В.М. Бубнов, А.С. Карпов. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 76 с.

157. Физические величины [Текст]: справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

158. Франчук, А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов [Текст] / А.У. Франчук. – Москва: НИИ строительной физики, 1969. – 142 с.

159. Терещнев, В.В. Пожаротушение в зданиях повышенной этажности: учеб. пособие [Текст] / В.В. Терещнев, А.В. Подгрушный, Н.С. Артемьев – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 117 с.

160. Пожарная безопасность многофункциональных высотных зданий и сооружений [Текст]: материалы XIX науч.-практ. конф. Ч.3. – Москва: ВНИИПО, 2005. – 214 с.

161. Кирюханцев, Е.Е. О повышении эффективности тушения пожаров в высотных зданиях [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 5. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-5/15-05-13.ttb.pdf> (дата обращения 28.05.2013).

162. ГОСТ Р 53296–2009. Установка лифтов для пожарных в зданиях и сооружениях. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. –

Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071914> (дата обращения 28.05.2013).

163. Семёнов, Р.А. Исследование тушения пожаров в высотных зданиях на этапе строительства [Текст] / Р.А. Семёнов // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – Вып. № 3 (61). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 28.11.2015).

164. Профилактика и тушение пожаров в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности с вентилируемыми фасадами [Текст]: учеб. пособие / А.П. Чуприян, Б.А. Борзов, А.В. Матюшин [и др.]; под общ. ред. А.П. Чуприян – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. – 334 с.

165. Кирюханцев, Е.Е. Определение времени свободного развития пожаров в высотных жилых зданиях [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // МНПК «Пожаротушение – 2014». – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2014 – С. 217–220.

166. Соколов, С.В. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах [Текст] / С.В. Соколов, Д.В. Костюченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 6. – С. 70–75.

167. Терещнев, В.В. Пожарная тактика [Текст] / В.В. Терещнев. – Екатеринбург: Издательство Калан, 2013. – 168 с. – Книга 9: Пожаротушение в зданиях.

168. Методические указания к решению тактических задач по теме «Основы прогнозирования обстановки на пожаре. Локализация и ликвидация пожаров» [Текст] / А.В. Подгрушный, В.В. Терещнев, Б.Б. Захаревский [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 37 с.

169. Брушлинский, Н.Н. Фактор времени [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Д.В. Костюченко // Пожарное дело. – 2012. – № 4. – С. 26–29.

170. НПБ 250–97. Лифты для транспортирования пожарных подразделений в зданиях и сооружениях [Электронный ресурс]: общие технические требования // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2014. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/3922872/> (дата обращения 28.11.2015).

171. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом МЧС РФ от 24 апреля 2013 № 288) // Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения 28.11.2015).

172. Аникеев, С.В. Обеспечение пожарной безопасности строящихся высотных зданий и сооружений г. Москвы [Текст]: матер. научно-практической конференции «Комплексное обеспечение безопасности и антитеррористической защищённости высотных зданий и уникальных сооружений г. Москвы, 21–22 марта 2007 г. – Москва, 2007.

173. Климушин, Н.Г. Тушение пожаров в зданиях повышенной этажности [Текст] / Н.Г. Климушин, В.М. Кононов. – Москва: Стройиздат, 1983. – 104 с.

174. Терещнев, В.В. Обоснование параметров для разработки нормативов по боевому развертыванию пожарных подразделений на автоцистернах и автонасосах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Владимир Васильевич Терещнев. – Москва, ВИПТШ, 1989 – 201 с.

175. Подгрушный, А.В. Повышение тактических возможностей пожарных подразделений на основе совершенствования управления боевыми действиями [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Александр Васильевич Подгрушный – Москва, Академия ГПС МЧС России, 2003. – 281 с.

176. Степанов, О.И. Информационно-аналитическое обеспечение управления пожарными подразделениями при тушении развившихся пожаров в жилом секторе [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Олег Игоревич Степанов – Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016. – 25 с.

177. Терещнев, В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров зданий повышенной этажности [Текст] / под общ. ред. В.В. Терещнев, Н.С. Артемьева, В.А. Троханов – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 261 С.

178. Комбинированный метод тушения пожаров в высотных зданиях с использованием насосно-рукавной системы высокого давления [Текст] /

С.А. Зеленков, А.В. Подгрушный, А.Н. Денисов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 8. – С. 56–64.

179. Geoff Craighead. High-Rise Security and Fire Life Safety [Текст] / Geoff Craighead. – Third Edition. – Место издания: Butterworth-Heinemann; 3 edition, 2009. – р. 696.

180. Report on Residential Fireground Field Experiments [Текст] / Jason D. Averill, Lori Moore-Merrell, Adam Barowy // NIST Technical Note 1661. – 2010. – 1661. – Р. 103.

181. Butler Report on High-Rise Fireground Field Experiments [Текст] / Jason D. Averill, Lori Moore-Merrell, Raymond T. Ranellone Jr., Ed. by M. Kathryn // NIST Technical Note 1797. – 2013. – 1797. – Р. 150.

182. СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил (ред. от 09.12.2010). – Утв. и введ. в действие приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 178 // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/55070400/> (дата обращения 11.12.2012).

183. Васильев, Д.В. восстановление сухотрубов противопожарных водопроводов в многофункциональных высотных зданиях [Электронный ресурс] / Д.В. Васильев, В.В. Жучков // Технологии техносферной безопасности [сайт]. – 2015. – Вып. № 4 (62). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 13.09.2017)

184. Thomas G.C. Structural fire design: the role of time equivalence [Текст] / G.C. Thomas, A.H. Buchanan, C.M. Freischmann // Fire Safety Science. – Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. – University of Ulster, 2004. – Р. 547–557.

185. Холщевников, В.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием [Текст]

/ В.В. Холщевников, Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 8. – С. 34–49.

186. Холщевников, В.В. Безопасность эвакуации людей из высотных зданий и требования ее обеспечения в МГСН 4.19–2005 [Текст] / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – № 3. – С. 62–66.

187. Холщевников, В.В. Нормирование безопасной эвакуации людей из высотных зданий [Текст] / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 2. – С. 50–52.

188. Холщевников, В.В. Эвакуация людей из высотных зданий [Текст]: учеб. пособие / В.В. Холщевников. – Москва: МГСУ, Институт строительства и архитектуры, 2011. – 275 с.

189. Поэтапная эвакуация из высотных зданий [Текст]: отчет НИР / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 123 с.

190. Самошин, Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Дмитрий Александрович Самошин. – Москва, 2017. – 357 с.

191. СП 59.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 35-01–2001 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» [Электронный ресурс]: свод правил. – Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 ноября 2016 г. № 798/пр и введ. в действие с 15 мая 2017 г. – Техэксперт: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200089976> (дата обращения 13.09.2017).

192. Холщевников, В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах [Текст]: учеб. пособие / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, А.П. Парфененко [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.

193. Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 31 марта 2011 года №156 //

Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/55171543/> (дата обращения 13.09.2017).

194. Ройтбурд, С.М. Инженерное обеспечение путей эвакуации из многоэтажных зданий [Текст]: обзор. информ. / С.М. Ройтбурд. – Москва, 1983. – 60 с.

195. Лифты как средство эвакуации населения многоэтажных зданий [Текст] / Л.И. Вольф-Троп, С.М. Ройтбурд, В.В. Холщевников // Подъемно-транспортное и свайное оборудование. –1978. – № 2. – С. 18–21.

196. Об утверждении правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде» [Электронный ресурс]: приказ МЧС РФ от 9 января 2013 г. № 3 // Гарант: информ.-правовое обеспечение [сайт]. – Электрон. дан. – Москва, 2017. Режим доступа: <https://base.garant.ru/70340860/> (дата обращения 13.09.2017).

197. Истратов, Р.Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений [Текст] / Р.Н. Истратов // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 6. – С. 54–63. ISSN 0869-7493.

198. Сборник заданий для практических занятий по дисциплине «Организация и ведение аварийно-спасательных работ» [Текст]: учеб.-метод. пособие / Г.Х. Харисов, А.Н. Калайдов, А.Н. Неровных [и др.]. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 51 с.

199. Гравит, М.В. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов [Текст] / М.В. Гравит, И.Н. Карькин, И.И. Дмитриев, К.А. Кузенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – 28(2). – С. 66-80. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.02.66-80.

200. Evaluating the physical demands on firefighters using hand-carried stair descent devices to evacuate mobility-limited occupants from high-rise buildings [Текст] /

Steven A. Lavender, Glenn E. Hedman, Jay P. Mehta [и др.]. // Applied Ergonomics – 2013. – P. 1–9.

201. Иванов, В.Н. Комплексный подход к определению требуемых пределов огнестойкости высотных жилых зданий [Текст]: В.Н. Иванов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – № 1'18. – С. 28–38. DOI 10.25257/FE.2018.1.28-38.

202. Давыдкин, Н.Ф. Гибкие технологии проектирования систем пожарной безопасности объекта [Текст] / Н. Ф. Давыдкин, Е.А. Мешалкин // Пожарная безопасность. – 2000. – № 3. – С. 94–99.

203. Общие требования к комплексному обеспечению безопасности многофункциональных высотных зданий и комплексов. Раздел I «Противопожарная защита высотных зданий и уникальных объектов» [Текст]: учеб.-метод. пособие / М.М. Любимов, Н.Ф. Давыдкин, В.Л. Страхов [и др.]. – Москва: ВАНКБ, НПКЦ, АГПС МЧС России, МГСУ, УКСБ и ИО, 2004. – С. 135.

204. Пожарная безопасность в строительстве [Текст]: учебник / В.М. Ройтман, Д.А. Самошин, С.В. Томин [и др.]; под общ. ред. Б.Б. Серкова. – В 2-х ч. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 480 с. – Ч. 2: Пожарная профилактика на объектах защиты.

Список сокращений и условных обозначений

- АСР – аварийно-спасательные работы;
- АУПС – автоматическая установка пожарной сигнализации;
- АУПТ – автоматическая установка пожаротушения;
- ВЗ – высотное здание;
- ВЖЗ – высотное жилое здание;
- ГДЗС – газодымозащитная служба;
- ЗиС – здания и сооружения;
- Лифт для транспортирования пожарных подразделений – лифт для пожарных;
- МГН – маломобильные группы населения;
- МГСН – московские городские строительные нормы;
- МПЗ-АПМ – автомобиль пожарный многоцелевой с установкой пожаротушения температурно-активированной водой;
- ОФП – опасные факторы пожара;
- ПДВ – противодымная вентиляция;
- <п>ПТВ – пожарно-техническое вооружение;
- ПСЧ – пожарно-спасательная часть;
- РФ – Российская Федерация;
- СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания;
- СНиП – строительные нормы и правила;
- СОПБ – система обеспечения пожарной безопасности;
- СОУЭ – система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;
- СП – свод правил;
- СППЗ – система противопожарной защиты;
- СТО – стандарт отрасли;
- СТУ – специальные технические условия в области пожарной безопасности;
- ТАВ – температурно-активированная вода;
- ТСН – территориальные строительные нормы;
- ЧСС – частота сердечных сокращений.



Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального
хозяйства Российской Федерации»



МИНИСТРОЙ
РОССИИ

02.07.2019 № 0015-НДЦ

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»



Р.М. Маскулов
2019 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук научного сотрудника учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, майора внутренней службы Иванова Владимира Николаевича на тему: «Оптимизация нормативных требований к пределам огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий»

Комиссия в составе: Начальник Управления технического регулирования Пронин Денис Геннадиевич, Начальник научно-образовательного центра Полонкочева Людмила Магомедовна, подтверждает что при разработке нормативного документа СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» использованы результаты диссертации Иванова В.Н., а именно алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости и значения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных (жилых) зданий до 150 м на основе комплексной оценки их пожарной опасности.

Председатель комиссии:

Д.Г. Пронин

Члены комиссии:

Л.М. Полонкочева

Утверждаю
вице-президент НП «АВОК»



А. Н. Колубков

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук научного сотрудника учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, майора внутренней службы Иванова Владимира Николаевича в нормативный документ по пожарной безопасности

Комиссия в составе: вице-президента НП «АВОК» А. Н. Колубкова и исполнительного директор НП «АВОК» В. В. Потапова подтверждает, что при разработке нормативного документа СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий», утвержденного Приказом МИНСТРОЙ РОССИИ №542/пр от 03 августа 2016 года, использованы результаты диссертации Иванова В.Н., а именно обоснование устройства пожарного стояка и расположения во внутреннем объеме высотных зданий с целью снижения времени развертывания сил и средств пожарных подразделений и обеспечения требуемых расходов воды на цели пожаротушения.

Председатель комиссии:



А. Н. Колубков

Члены комиссии:



В. В. Потапов



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе
кандидат военных наук

М.В. Бедило

2018 г.

**АКТ**

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук научного сотрудника учебно-научного центра пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, майора внутренней службы Иванова Владимира Николаевича в учебном процессе Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе: начальника учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, д.т.н., профессора Серкова Бориса Борисовича, заведующего кафедрой ПБС, доцента Шевкуненко Юрия Георгиевича, доцента кафедры ПБС, доцента Фирсовой Татьяны Федоровны и доцента кафедры ПБС Бариновой Елены Леонидовны подтверждает, что результаты диссертационного исследования Иванова Владимира Николаевича внедрены в учебный процесс кафедры пожарной безопасности в строительстве при разработке учебно-методических материалов по дисциплине «Экспертиза пожарной безопасности» и «Здания и сооружения и их устойчивость при пожаре».

Комиссия:

Начальник УНЦ ППБС
д.т.н., профессор

Б.Б.Серков

Заведующий кафедрой ПБС, доцент

Ю.Г. Шевкуненко

Доцент кафедры ПБС, доцент

Т.Ф. Фирсова

Доцент кафедры ПБС

Е.Л. Баринаова