

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы
МЧС России на кафедре пожарной безопасности в строительстве

Научный руководитель: Кирюханцев Евгений Ефимович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Шебеко Юрий Николаевич
доктор технических наук, профессор
ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета»
научно-исследовательский институт
противопожарной обороны Министерства
Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий», главный
научный сотрудник отдела пожарной безопасности
промышленных объектов, технологий и
моделирования техногенных аварий

Пронин Денис Геннадиевич
кандидат технических наук,
ФГБУ «ЦНИИП МИНСТРОЯ России», начальник
управления технического регулирования

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»

Защита состоится «18» декабря 2019 г. в 11 часов 30 минут на заседании
диссертационного совета Д 205.002.02 на базе Академии Государственной
противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва,
ул. Б. Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии
ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/cf8/cf8e5c205d70accd2882c7186a659e05.pdf>

Автореферат разослан «23» октября 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В современных социально-экономических условиях в нашей стране получило развитие строительство жилых зданий высотой до 150 м. Население жилых зданий в целом характеризуется высокой уязвимостью при пожаре, так как в них проживают люди всех возрастных групп, от грудных младенцев до глубоких стариков, а также большая часть инвалидов и маломобильных групп населения (МГН). При этом следует иметь в виду, что наибольшее количество пожаров, погибших и пострадавших отмечается именно в жилых зданиях.

Одним из основных элементов системы противопожарной защиты в случае пожара является обеспечение огнестойкости здания, в котором они проживают. Однако в настоящее время аргументированных требований к нормированию пределов огнестойкости несущих конструкций высотных жилых зданий нет. Например, максимальный требуемый предел огнестойкости несущих конструкций высотных жилых зданий в зарубежных нормах составляет R180, тогда как в России он на практике может приниматься в специальных технических условиях от R150 до R240 без какого-либо научного обоснования. С одной стороны это может вести к невозможности гарантировать защиту людей и имущества в случае пожара, а с другой – к необоснованно избыточной стоимости строительства.

Всё это подчеркивает необходимость определения оптимальных значений требуемых пределов огнестойкости с учетом «реальных» температурных режимов пожара с учетом работы систем пожарной автоматики и действий пожарных подразделений, а также времени спасения и эвакуации людей.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований, посвященных развитию теории оценки огнестойкости конструкций и зданий, например, оценке фактических пределов огнестойкости (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. Harmathu и др.), оценка требуемых пределов огнестойкости рассматривается в работах В.И. Мурашёва, М.Я. Ройтмана, В.М. Ройтмана, И.С. Молчадского, В.И. Присадкова, Д.Г. Пронина, Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко и И.В. Костерина. С учетом действий пожарных подразделений посвящены данной тематике только работы авторов Ф.В. Обухова и А.С. Туркова. Но не один из выше представленных ученых не рассматривал вопрос определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий в зависимости от комплекса различных факторов.

Цель исследования – определение факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости и разработка алгоритма определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий на основе комплексного подхода к оценке их пожарной опасности.

Задачи исследования:

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

2. Установить параметры «реальных» температурных режимов пожаров в высотных жилых зданиях и особенности их изменения в зависимости от пожарной нагрузки, планировочных схем зданий, работы активных систем противопожарной защиты и влияния скорости ветра.

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

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 основных несущих конструкций высотных жилых зданий в зависимости от режимов реального пожара, времени эвакуации, спасения людей из здания и продолжительности действий пожарных подразделений.

Объект исследования – огнестойкость высотных жилых зданий.

Предмет исследования – требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий.

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 высотного жилого здания;
- повышена точность методики расчета времени спасения маломобильных групп населения с помощью лифта для транспортирования пожарных подразделений 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 в следующем:

1. Определении прямых и косвенных факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости несущих конструкций высотных жилых зданий:

- количественных значений пожарной нагрузки в современных квартирах высотных жилых зданий в России;
- количественных значений времени прокладки рукавных линий между маршами с использованием лифта для транспортирования пожарных подразделений;

– количественных значений времени спасения условно пострадавшего на носилках пожарными из 50-этажного высотного здания, а также скорости движения пожарных по маршу вверх и вниз с носилками;

2. Разработке алгоритма определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий и возможности использования полученных результатов для определения и дальнейшего нормирования требуемых пределов огнестойкости при проектировании зданий и сооружений 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 высотных жилых зданий полевым методом с помощью программы *Fire Dynamics Simulator (FDS)*, решение теплотехнической задачи – *ANSYS Mechanical*. А также моделирование расчетного времени эвакуации и спасения маломобильных групп населения из пожаробезопасных зон высотных жилых зданий производилось с помощью программы *Pathfinder 2018*. Основу эмпирических данных составили данные действий пожарных подразделений по разворачиванию рукавных линий, а также по спасению маломобильных групп населения с помощью лифтов для транспортирования пожарных подразделений и переноской их на носилках по лестнице из здания. Обработка эмпирических статистических данных производилась с помощью программы *AtteStat 12.0.5*.

Достоверность полученных 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 результатами пожарно-тактических учений. Полученные экспериментальные результаты имеют удовлетворительную сходимость с расчетными данными.

Материалы диссертации реализованы при разработке:

– нормативного документа по проектированию высотных зданий СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»;

– нормативного документа по проектированию высотных зданий СП 253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий»;

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

Основные результаты работы были доложены на 13 конференциях:

Международном семинаре «Пожарная безопасность объектов хозяйствования» (Казахстан, г. Кокшетау, 2018 г.); Научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (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 (г. Москва, ВНИИПО МЧС России, 2012 г.); Научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2014, 2017 гг.); Научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации», 2013, 2014 гг.), Международной научно-технической конференции «Системы безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012 г.).

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий (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 высотных жилых зданиях 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);

- алгоритм спасения маломобильных групп населения из высотных жилых зданий с помощью лифта для транспортирования пожарных подразделений и параметры спасения (время, скорость) «пострадавшего» с помощью носилок по маршам незадымляемой лестничной клетки.

2. Алгоритм определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий.

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 и приложения. Содержание работы изложено на 225 страницах текста, включает в себя 23 таблицы, 103 рисунка, список литературы из 204 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и задачи исследования, рассмотрены объект и предмет исследования, показаны научная новизна работы и ее практическая и теоретическая значимости.

В первой главе приведен анализ основных проблем в высотном строительстве, представлен анализ данных официальной статистики и реальных пожаров в высотных зданиях. Основной акцент в строительстве высотного жилого домостроения в России направлен на возведение зданий высотой до 150 м. Проанализировано изменение требуемых пределов огнестойкости в нормативных актах и документах СССР и России, начиная с 1929 г. и по настоящее время. Изучены существующие подходы и методы определения требуемых пределов огнестойкости в России и за рубежом.

Анализ наиболее крупных пожаров в высотных жилых зданиях показал ряд особенностей их пожарной опасности: возможность быстрого развития пожара и опасных факторов пожара (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 транспортирования пожарных подразделений и подачи средств тушения, особенно на стадии строительства), а также продолжительное время эвакуации и спасения людей.

Анализ статистических данных пожаров в жилых зданиях (17–25 и более 25 этажей), произошедших в России с 2002 по 2016 гг., показывает тенденцию снижения количества пожаров, количество которых в среднем для зданий 17–25 этажей превышает 650, а для зданий более 25 этажей – 10 пожаров в год. При этом за исследуемый период в России не выявлено ни одного случая потери несущей способности (R) несущих конструкций высотного здания. В высотных жилых зданиях основными причинами возникновения пожаров являются: неосторожное обращение с огнем, курение (человеческий фактор) и неисправность электрооборудования. Основным местом возникновения пожара (очага пожара) являются жилые помещения, кухни и электрощитовые. Не менее чем в 85 % случаев в высотных жилых зданиях пожар не распространился за пределы квартиры.

Сравнительный анализ зарубежных и отечественных нормативных документов и обобщения итогов деятельности нормативно-технических советов МЧС России показал, что требуемые пределы огнестойкости конструкций основного несущего каркаса принимаются в зависимости только от высоты здания. За рубежом, например, эти значения могут зависеть и от других факторов (таблица 1).

Проведенный анализ требований зарубежных нормативных документов показывает то, что максимальный требуемый предел огнестойкости несущих конструкций высотных жилых зданий составляет R180, тогда как в России он составляет R240. Всё это подчеркивает необходимость определения оптимальных значений требуемых пределов огнестойкости с учетом «реальных»

температурных режимов (свободного развития, действий автоматических установок пожаротушения и пожарных подразделений) для расчетов эквивалентной продолжительности пожара ($\tau_{\text{экв}}$) и времени обеспечения пожарной безопасности людей (основного контингента людей, маломобильных групп населения и пожарных).

Таблица 1 – Сравнительный анализ требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий в отечественных и зарубежных строительных нормативных документах

Требования зарубежных норм		Требования отечественных норм	
IBC, NFPA 202, NFPA 5000 (США)	120 мин – для зданий высотой до 128 м, 180 мин * – для зданий высотой > 128 м	МГСН 4.04–94, ТСН 31-304–95	180мин – для зданий высотой до 100 м, 240мин – для зданий высотой >100 м
The building standard low of Japan 2004 (Япония)	120 мин , 180 мин **	Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м (2002 г.)	180мин – для зданий высотой до 100 м, 240 мин – для зданий высотой > 100 м
ТКП 45-3.02-108–2008 (02250) Высотные здания (Белоруссия)	120 мин – для зданий высотой до 100 м), 180 мин *** – для зданий высотой > 100 м	МГСН 4.19–05, ТСН 31-332-2006	180мин – для зданий высотой до 100 м, 240 мин – для зданий высотой > 100 м
Германия	120 мин – для зданий высотой 200 м, 180 мин – для зданий высотой > 200 м	СТО 36554501-006–2006, СТО 01422789-001–2009	180мин – для зданий высотой до 100 м, 240мин – для зданий высотой > 100 м
Building Regulations 2000 Approved Document B, 2000 ed. Fire safety (Великобритания)	120 мин – для высотных офисов и гостиниц 90 мин – для жилых высотных зданий	СП 267.1325800.2016, Проект СП XXX.1325800.2017	150мин – до 100 м, 180мин – от 100 до 150 м, 240 мин – >150 м

Примечания: * допускается снижение на 60 мин при устройстве автоматических установок пожаротушения (АУПТ);

** допускается снижение требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций верхних этажей зданий;

*** но не менее чем на 30 мин больше расчетного времени эвакуации

Таким образом, на основе анализа и обобщения факторов, определяющих требуемый предел огнестойкости несущих конструкций жилого здания, были выявлены основные (рисунок 1). Каждый из трех указанных факторов далее был последовательно рассмотрен в настоящей работе.

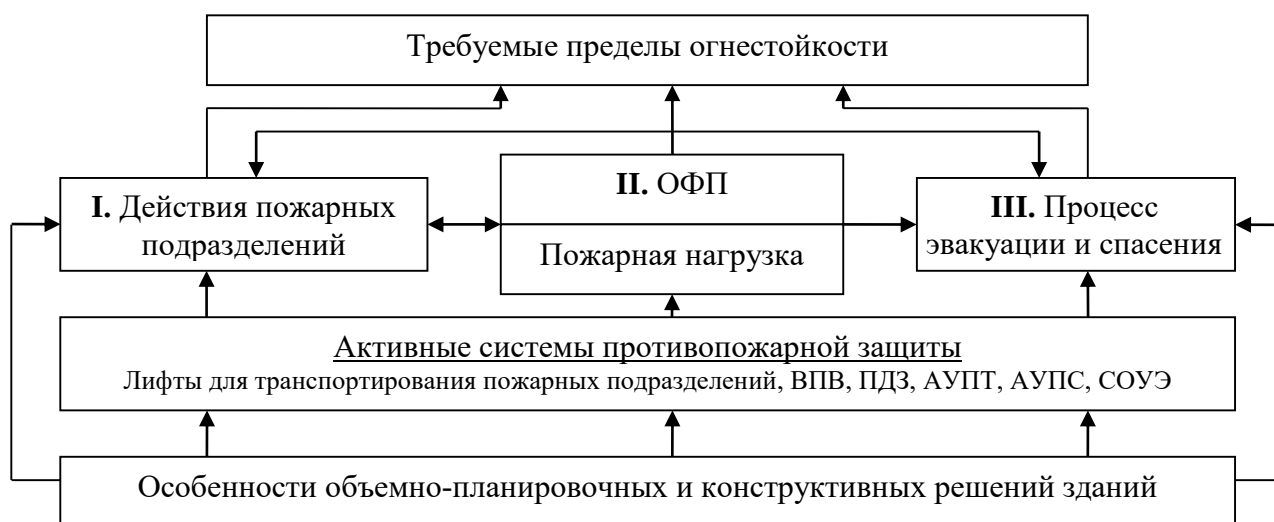


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на требуемые пределы огнестойкости

Во второй главе проведено качественное и количественное исследование пожарной нагрузки в помещениях современных квартир высотных жилых зданий России и моделирование развития возможных пожаров в *Fire Dynamics Simulator*, а также приведены данные изменения скорости ветра по высоте здания и ее влияние на температурный режим в жилом помещении.

В качестве объектов моделирования были выбраны высотные жилые здания с планировочными решениями коридорного и секционного типов и свободной планировки.

На первом этапе было проведено обследование более 50 планировочных решений квартир и дизайн-проектов с расположением в плане квартир с мебелью и их геометрическими размерами, а также наполнение их вещами с целью определения пожарной нагрузки современных жилых зданий различной этажности. В качестве особенностей планировочных решений выделено наличие многоуровневых квартир (2 и 3-х), наличие атриумов, объединяющих несколько этажей и значительная площадь квартир ($> 200 \text{ м}^2$ и расположением одной квартиры на весь этаж), реже всего встречаются квартиры-студии и однокомнатные квартиры (от $65\text{--}90 \text{ м}^2$). Большая площадь квартир сказывается на снижении величины удельной пожарной нагрузки (рисунок 2). Для квартир и каждой высоты высотных жилых зданий были сформированы соответствующие выборочные совокупности, проверенные на достаточность методами математической статистики (рисунок 3).

Далее полученное значение пожарной нагрузки переводилось в эквивалент древесины хвойных пород нормализованной плотности (влажностью 12 % и средней плотностью $492,67 \text{ кг/м}^3$). Среднее значение удельной пожарной нагрузки получилось равным $495,7 \text{ МДж/м}^2$ со стандартным отклонением $122,7 \text{ МДж/м}^2$ ($35,92 \text{ кг/м}^2$ в переводе на древесину).

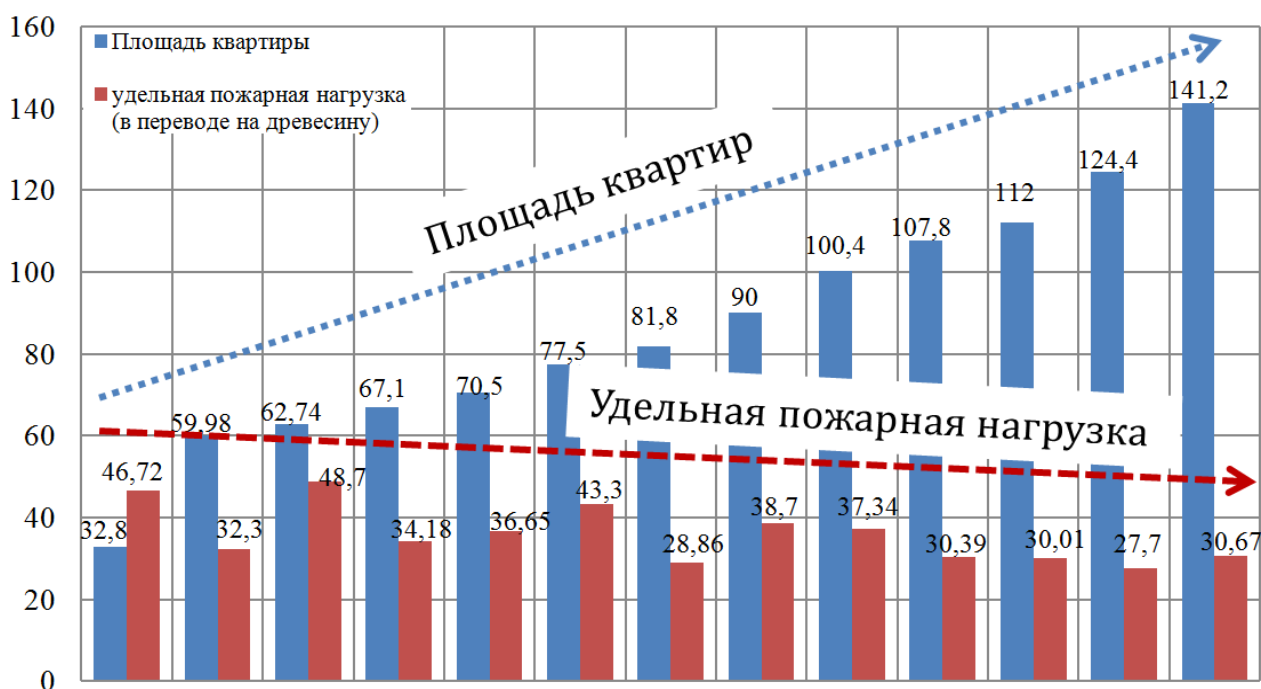


Рисунок 2 – Удельная пожарная нагрузка и ее соотношение с площадью обследуемых квартир высотных жилых зданий

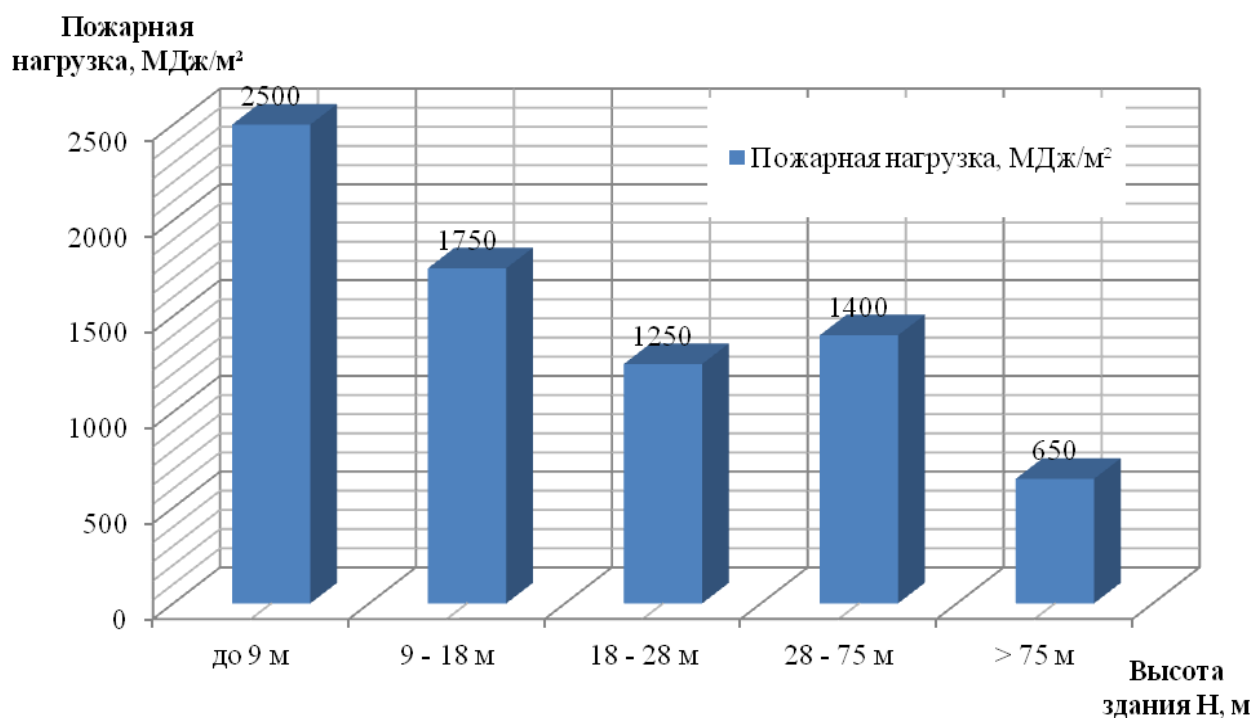


Рисунок 3 – Сопоставление усредненных значений пожарной нагрузки в квартирах жилых зданий различной высоты

На втором этапе было проведение моделирования при различных вариантах расположения горючей нагрузки: равномерно по всей площади помещений; размещение по всей площади помещения штабеля; действительного расположения мебели в наиболее часто встречаемых двух-, трех- и четырехкомнатных квартирах по дизайн-проекту. Данные подходы позволяют

учитывать всю продолжительность пожара, в том числе и стадию затухания. Проведено моделирование «реальных» температурных режимов в зависимости от мощностей тепловыделения (Q , кВт/м²) по справочным данным, но при данном подходе не учитывается стадия затухания пожара (нисходящая температурная кривая). Полученные «реальные» температурные режимы были сопоставлены со стандартным температурным режимом методом сравнения площадей под температурными кривыми. По результатам сравнения сделан вывод о том, что стандартный температурный режим более «жесткий» для высотных жилых зданий, чем множество «реальных».

Далее проведен анализ технических требований к активным системам противопожарной защиты в высотных жилых зданиях в России и за рубежом. Создана модель помещения (усредненная квартира площадью 100 м²) в планировочном решении коридорного типа с устройством автоматической установкой пожаротушения (АУПТ) и расположением полученной пожарной нагрузки равной 35,92 кг/м² в виде штабеля древесины на уровне пола (рисунок 4).

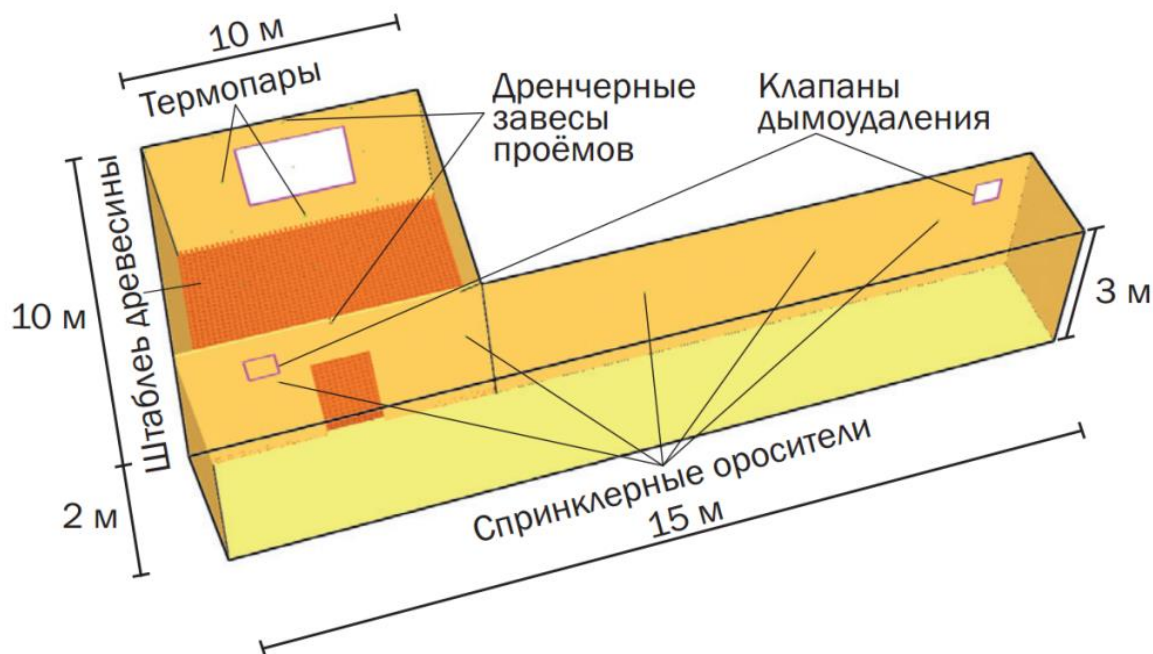


Рисунок 4 – Модель определения «реальных» температурных режимов с активными системами противопожарной защиты

Получены «реальные» температурные режимы в объеме квартиры с учетом действий АУПТ (дренчерная завеса над входной дверью и спринклерная система тушения в коридоре), системы дымоудаления из коридора и их совместного действия (рисунки 4, 5).

По всем полученным «реальным» температурным режимам различных сценариев по максимальным (пиковым) значениям температур был построен наиболее «критичный реальный» температурный режим пожара при свободном развитии пожара с действием активных систем противопожарной защиты без учета действий пожарных подразделений (рисунок 5).

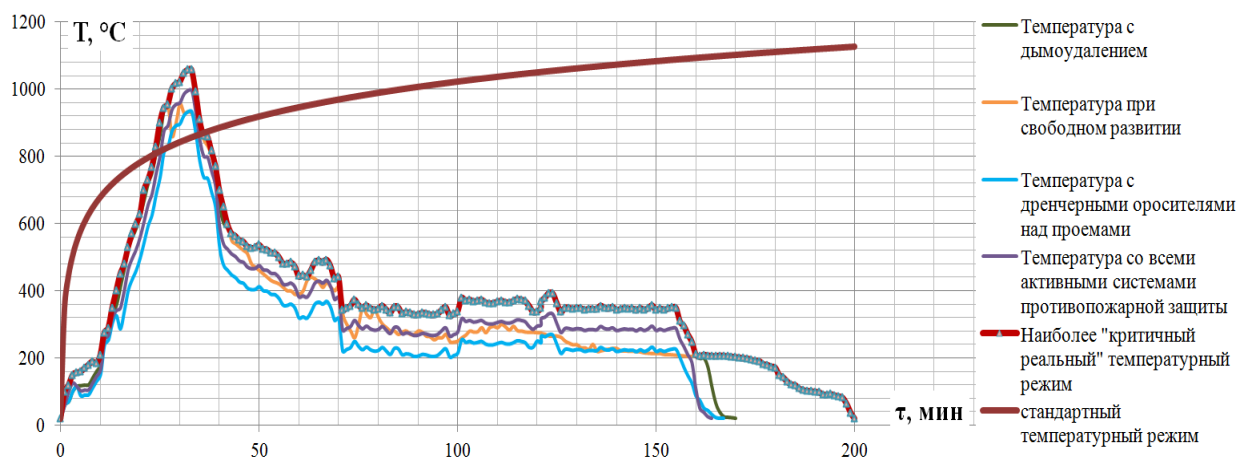


Рисунок 5 – Наиболее «критичный реальный» температурный режим в квартире высотного жилого здания

В качестве особенностей развития пожара и распространения опасных факторов пожаров высотных зданий можно выделить повышение ветровых воздействий с высотой здания.

С увеличением скорости ветра, поступающего перпендикулярно через оконный проем, максимальная температура в помещении достигает больших значений, а время выгорания горючей нагрузки снижается (рисунок 6). Отсюда следует, что скорость ветра необходимо учитывать при определении «реальных» температурных режимов пожара в высотных жилых зданиях и при расчете распространения опасных факторов пожара при вскрытии остекления.

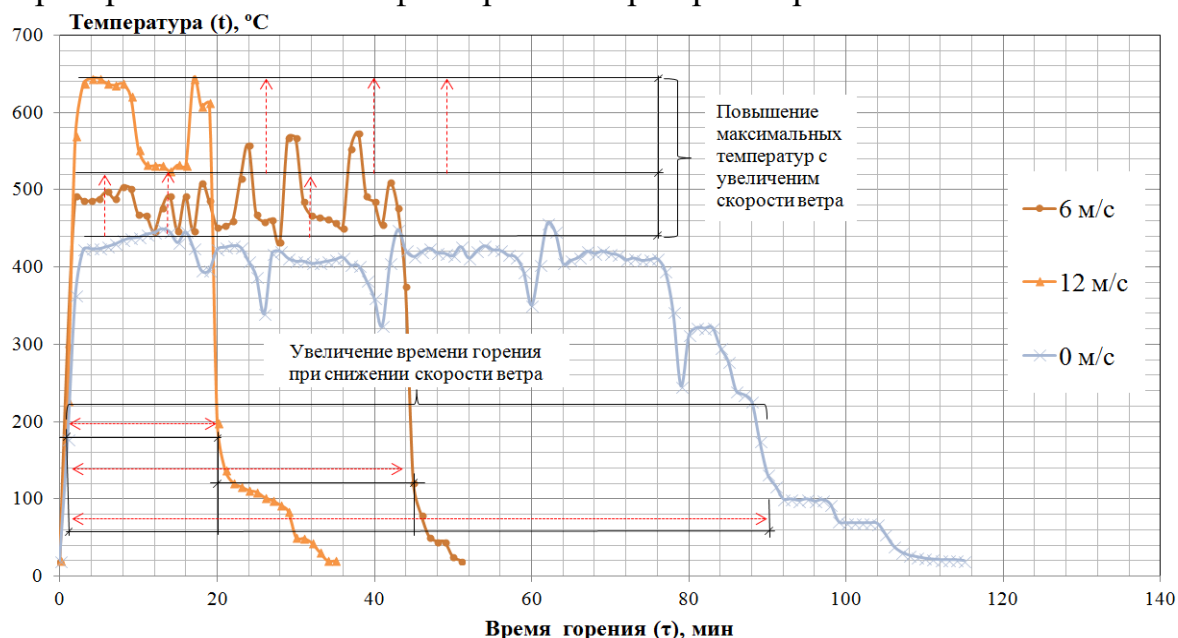


Рисунок 6 – Температурные режимы в зависимости от скорости ветра

По полученному наиболее «критичному реальному» режиму пожара в качестве примера был произведен теплотехнический и статический расчеты монолитной железобетонной колонны с минимально допустимым принимаемым

сечением 400×400 мм из тяжелого бетона класса В30 на известняковом щебне и арматуре 4ø40 А400, а также сравнение с расчетом по стандартному температурному режиму. Полученные результаты потери и пределов огнестойкости при «реальном» и стандартном температурных режимах были сопоставлены (рисунки 7–9).

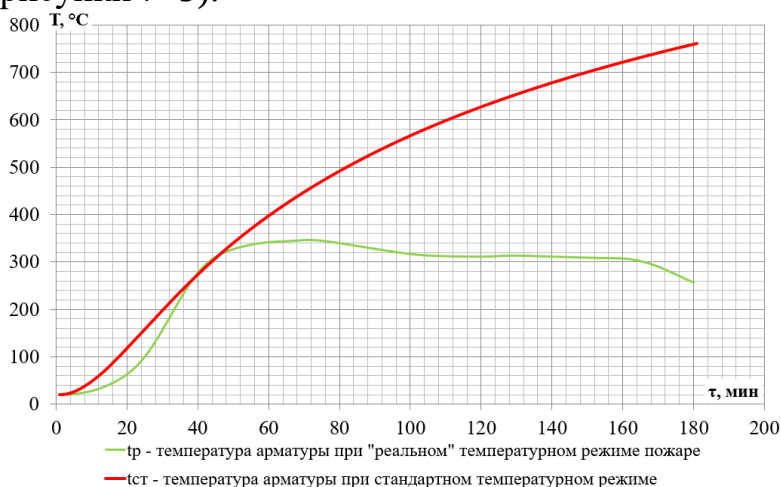


Рисунок 7 – Прогрев арматуры монолитной железобетонной колонны при «реальном» температурном режиме пожара (четырёхсторонний обогрев)

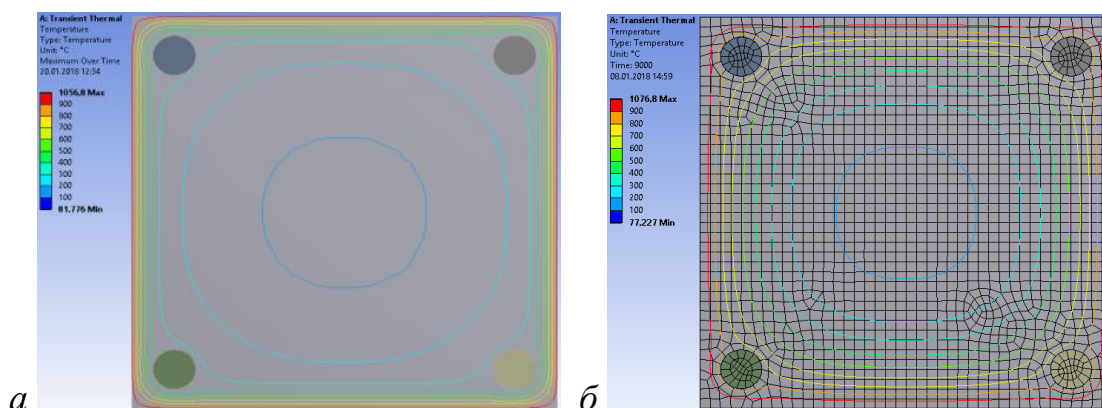


Рисунок 8 – Прогрев бетона монолитного железобетонной колонны при «реальном» (а) и стандартном (б) температурных режимах (четырёхсторонний обогрев)

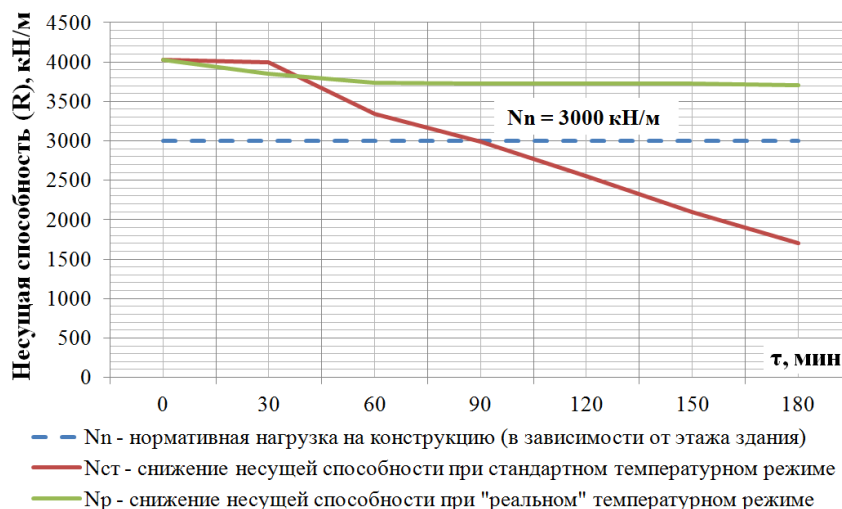


Рисунок 9 – Зависимости потери несущей способности монолитной железобетонной колонны от времени воздействия «реального» и стандартного температурных режимов воздействия пожара

По стандартному температурному режиму предел огнестойкости по несущей способности монолитной колонны составил 85 минут при нормативной нагрузке 3000 кН/м (меняется в зависимости от воздействия различных постоянных и временных нагрузок на конструкцию и по высоте здания), а по «реальному» температурному режиму потери огнестойкости вообще не наступило. Соответственно, подтверждается, что стандартный температурный режим более «жесткий» по сравнению с «реальными» температурными режимами пожара в высотных жилых зданиях и при испытании по стандартному температурному режиму конструкции уже имеют определенный запас огнестойкости.

Расчет огнестойкости на примере железобетонной колонны при «реальном» температурном режиме пожара показал, что потери огнестойкости по несущей способности не возникает, поэтому принимаемый требуемый предел огнестойкости основных несущих конструкций в 240 минут значительно превышен, а его значение не более 180 минут для высотных жилых зданий до 150 м будет вполне достаточен.

В третьей главе были проанализированы оперативные планы тушения пожаров на высотные здания ММДЦ «Москва-сити» с апартаментами. Рассмотрены при пожарно-тактических учениях схемы и продолжительность развертывания сил и средств в высотных жилых зданиях г. Москва. Выявлено, что основными их недостатками являются: отсутствие параметров движения пожарных, не рассмотрены варианты распространения пожара по фасаду здания, и продолжительное время развертывания сил и средств пожарных подразделений в развитой стадии пожара.

Результаты проведенного анализа существующих схем развертывания сил и средств пожарных подразделений в высотную часть здания указывают на необходимость применения внутренних систем противопожарного водоснабжения для нужд пожаротушения и уход от прокладки магистральных рукавных линий на всю высоту высотных зданий для различных стадий жизненного цикла (стадий строительства, эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции).

Пожарные будут находиться в высотном жилом здании при пожаре с целью осуществления действий по тушению пожара и проведению спасательных работ в течение всей продолжительности пожара до момента его ликвидации. Пожарная безопасность пожарных на протяжении всего времени их работы находится в прямой зависимости от требуемых пределов огнестойкости несущих конструкций. Поэтому предложено определение требуемых пределов огнестойкости от расчетного времени тушения пожара ($\tau_{р.туш}$):

$$P_{тр} \geq \tau_{р.туш}. \quad (1)$$

Далее представлены результаты экспериментального исследования по развертыванию рукавных линий между лестничными маршами в незадымляемой лестничной клетке типа Н2 для подачи компрессионной пены от системы *Caft* в

высотном здании «Москва» комплекса «Город Столиц» ММДЦ «Москва-сити» с использованием лифта для транспортирования пожарных подразделений. Цель – определение возможности введения первых стволов на тушение пожарными подразделениями в стадии развития пожара в квартиры высотного жилого дома инновационными средствами тушения. Данная схема развертывания была выбрана в связи с тем, что для подачи по вертикали на тушение компрессионной пены (так же, как и температурно-активированной воды) не требуется устройство переносных емкостей и мотопомп на промежуточных этажах. Для определения скоростей движения пожарных использовалась видеосъемка. При известных временных интервалах, протяженности путей движения и действий пожарных по развертыванию рукавных линий между маршами незадымляемой лестничной клетки были получены усредненные данные по времени подъема пожарных 42 секунды/этаж.

По результатам проведенных натурных наблюдений и эксперимента развертывания рукавных линий между маршами незадымляемой лестничной клетки сделан вывод по их продолжительности (38–59 минут на магистральную линию из 10 рукавов), значительной трудоемкости и нецелесообразности в виду введения пожарных стволов на тушение в развитой стадии пожара. Даже при исправности лифта для транспортирования пожарных подразделений и относительно спокойных условиях работы пожарных при учениях потребовалось значительное время и трудозатраты пожарных. Поэтому предлагается варианты устройства сухотрубов на стадии строительства и внутреннего (водонаполненного) пожарного стояка на стадии эксплуатации здания (рисунок 10), которые позволяют подавать огнетушащие вещества в стадии развития пожара.

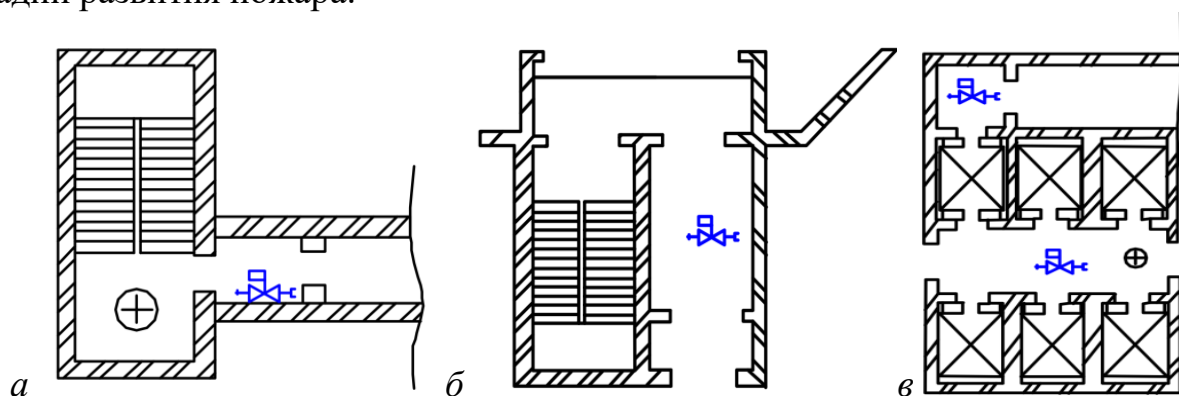


Рисунок 10 – Варианты размещения пожарного стояка в плане этажа высотных жилых зданий:

а – в тамбур-шлюзе при лестничной клетке типа НЗ (Н2+Н3); *б* – в тамбуре при воздушной зоне лестничной клетки типа Н1; *в* – в тамбур-шлюзе при лифте для транспортирования пожарных подразделений и/или лифтовом холле

Развертывание сил и средств пожарных подразделений на высоту 150 м в развивающейся стадии развития пожара возможно только при устройстве и использовании внутренних систем – внутреннего пожарного водопровода и предлагаемых (водонаполненного) пожарного стояка и сухотрубов, что позволит

уменьшить расчетное время тушения пожара, снизить «реальный» температурный режим пожара и, соответственно, обеспечить пожарную безопасность пожарных в здании.

В четвертой главе экспериментально определено, что время спасения «пострадавшего» пожарными с помощью носилок с 50-го этажа без использования лифта для транспортирования пожарных подразделений составляет не более 1,1 часа.

Первоочередной задачей (решающим направлением) после прибытия пожарных подразделений при наличии угрозы жизни и здоровью людей, является их спасение. Поэтому предлагается определение требуемых пределов огнестойкости в зависимости от расчетного времени спасения ($\tau_{\text{р.сп}}$):

$$P_{\text{тр}} \geq \tau_{\text{р.сп}}. \quad (2)$$

В высотных жилых зданиях могут быть маломобильные группы населения и даже немобильные люди, неспособные самостоятельно покинуть здание, расположение которых по этажам величина случайная и вероятностная.

С целью определения времени спасения из пожаробезопасной зоны были проведены эксперименты по спасению маломобильных групп населения с помощью лифта для транспортирования пожарных подразделений и спасения с помощью медицинских носилок (1 пилотный эксперимент по спасению в инвалидной коляске) по лестнице в объеме незадымляемой лестничной клетке непосредственно наружу с 50-го этажа (≈ 165 м) (рисунок 11).

Спасение неспособного самостоятельно покинуть здание человека на носилках рассматривался как наихудший сценарий спасения при неисправности или нахождении на техническом обслуживании лифта для транспортирования пожарных подразделений, пожаре в лифтовой установке или строящемся объекте. В качестве пожарных-спасателей и спасаемых выступили добровольцы – курсанты и слушатели Академии ГПС МЧС России мужского пола в разной весовой категории (60, 75 и 90 кг; таблица 2). Для фиксации значений времени и дальнейшего определения скорости использовалась видеосъемка. В эксперименте по спасению маломобильных групп населения принимали участие 12 слушателей 5 курса, прошедшие соответствующую профессиональную подготовку за время обучения. В серии натурных экспериментов были определены скорость движения пожарных (звена газодымозащитников) с носилками по лестнице вверх, горизонтальному пути и лестнице вниз со спасаемым (рисунки 12, 13).

По команде организатора эксперимента пожарные с носилками поднимались по лестнице на 50 этаж, передвигались до условной пожаробезопасной зоны, после чего укладывали «пострадавшего» на носилки и спускались вниз по лестнице до выхода из здания.



Рисунок 11 – Кадры проведения экспериментов по определению параметров спасения «пострадавшего» пожарными на носилках и инвалидной коляске по незадымляемой лестнице с 50-го этажа

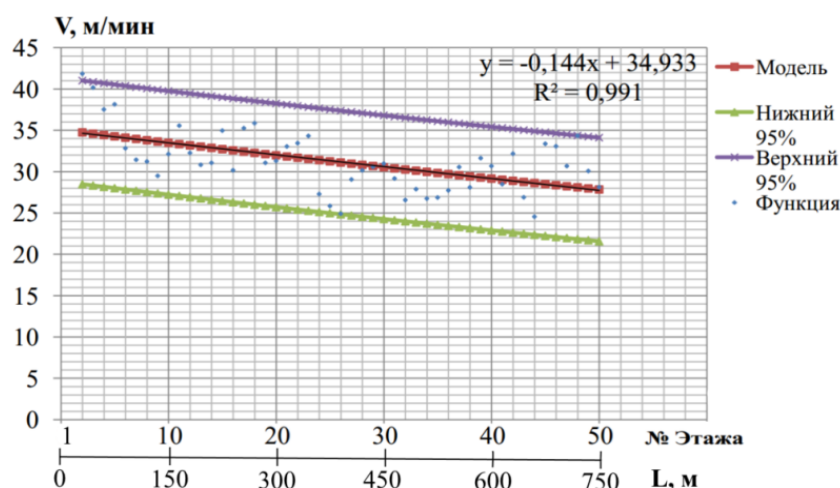


Рисунок 12 – Зависимость скорости движения двух пожарных с дыхательными аппаратами по незадымляемой лестнице вверх с носилками от преодолеваемого этажа (подъем)

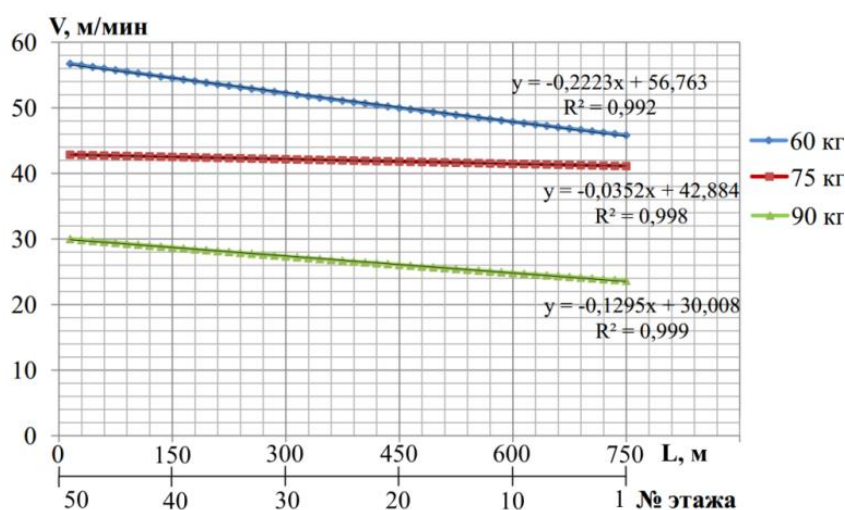


Рисунок 13 – Зависимость скорости движения двух пожарных с дыхательными аппаратами по незадымляемой лестнице вниз с «пострадавшим» на носилках с массой тела 60, 75 и 90 кг от преодолеваемого этажа и пройденного пути (спуск)

**Таблица 2 – Время спасения пожарными людей различной массы
с 50-го этажа**

Вес пожарных, кг	Вес «пострадавших», кг		
	60	75	90
	Общее среднее время спасения с 50-го этажа, мин		
60	38,3	46,7	61,3
75	18,7	36,9	43,1
90	16,6	18,4	34,2

По данным экспериментов по спасению на носилках «пострадавшего» (вес 90 кг) пожарными (вес 60 кг) максимальное время спасения варьируется около одного часа, при этом количество остановок и время отдыха при спуске вниз с каждым этажом увеличивается (таблица 2). Так, после спуска по лестнице вниз на 10 этажей количество остановок для отдыха и восстановления частоты сердечных сокращений, которая достигала значений до 200 уд./мин, пожарные-спасатели останавливались для восстановления на каждой лестничной площадке этажей на время не более одной минуты.

Время спасения из пожаробезопасной зоны с помощью лифта для транспортирования пожарных подразделений определялось эмпирически и расчетом по формуле:

$$\tau_{\text{рсп}}^{\text{ПЛ}} = 2t_1 + 4t_2 + 2t_3 + 2t_4 + \frac{L_1}{v_{\text{п1}}} + \frac{L_2}{v_{\text{п2}}}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{рсп}}^{\text{ПЛ}}$ – расчетное время спасения с использованием лифта для транспортирования пожарных подразделений, с;

t_1 – время входа-выхода в лифт для транспортирования пожарных подразделений звена ГДЗС (при полностью открытых створках дверей лифта) и выхода из него, с;

t_2 – время открытия и закрытия створок двери(ей) лифта для транспортирования пожарных подразделений, с;

t_3 – время подъема лифта для транспортирования пожарных подразделений со звеном ГДЗС с основного посадочного этажа до этажа со спасаемыми (пожаробезопасной зоны, лифтового холла) и спуска с ними, с;

$$t_3 = \frac{H_{\text{эт}} \cdot (N_{\text{эт}} - 1)}{v^{\text{ПЛ}}}, \quad (4)$$

где $H_{\text{эт}}$ – высота этажа, м;

$N_{\text{эт}}$ – этаж подъема лифта для транспортирования пожарных подразделений до этажа со спасаемым(и);

$v^{\text{ПЛ}}$ – скорость подъема лифта для транспортирования пожарных подразделений с пожарными-спасателями и спуска со спасаемыми, м/с (по паспорту завода изготовителя);

t_4 – время входа-выхода спасаемого(ых) через проем двери лифта для транспортирования пожарных подразделений с помощью двух пожарных-спасателей, с;

$$t_4 = N_{\text{сп}} \cdot t^{\text{сп}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{сп}}$ – количество спасаемых людей, максимальное количество которых ограничено площадью пола кабины лифта для транспортирования пожарных подразделений, либо максимально допустимой грузоподъемностью;

$t^{\text{сп}}$ – время входа, закатывания-выкатывания инвалида-колясочника, вноса спасаемых и выхода, выкатывания или выноса через проем двери лифта для транспортирования пожарных подразделений с помощью двух пожарных-спасателей, затрачиваемое на одного спасаемого(ых), с;

L_1 – путь, пройденный пожарными от двери лифта для транспортирования пожарных подразделений до спасаемого(ых), м;

L_2 – путь, пройденный пожарными со спасаемым(и) до двери лифта для транспортирования пожарных подразделений, 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.

Время спасения с помощью лифтов для транспортирования пожарных подразделений 5 % маломобильных групп населения от общего количества людей в высотном жилом здании не выше 150 м пожарными из пожаробезопасных зон, устраиваемых в лифтовых холлах, не будет превышать 15–20 минут.

Основной мобильный контингент людей из высотных жилых зданий до 150 м эвакуируется по незадымляемым лестничным клеткам своевременно и беспрепятственно непосредственно наружу и на безопасное расстояние от здания (в зависимости от его высоты не менее чем на 150–200 м) не больше 60 минут, что в 4 раза меньше принимаемых пределов огнестойкости несущих конструкций в 240 минут.

Обобщены данные по исследованному комплексу факторов, которые объединены в одну концепцию с точки зрения двух направлений обеспечения пожарной безопасности: пожарная безопасность людей – основного мобильного контингента эвакуирующихся, спасаемых маломобильных групп населения, пожарных и пожарной безопасности объекта защиты во время и после пожара.

Разработан алгоритм оптимального определения требуемых пределов огнестойкости с точки зрения обеспечения пожарной безопасности людей и сохранения объекта как материальной ценности (рисунок 14).

Отмечено, что основная проблема принятия требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных зданий с повышенным запасом заключается в том, что не увязаны между собой задачи по обеспечению требуемой огнестойкости, огнестойкости (2-кратный запас огнестойкости) и прогрессирующего обрушения (2-кратный запас).

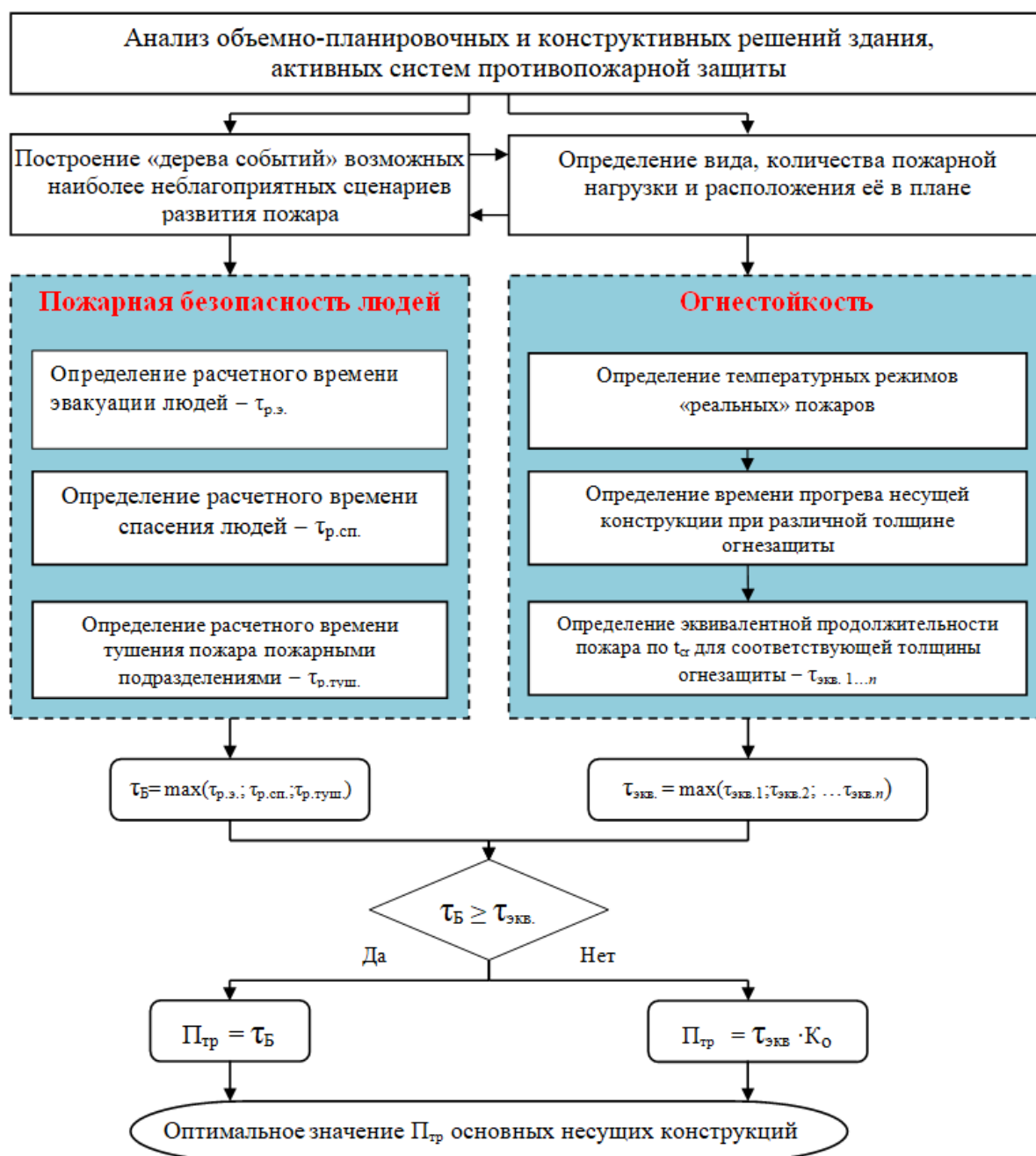


Рисунок 14 – Алгоритм определения оптимальных значений требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий:

$\tau_{р.э}$ – расчетное время эвакуации людей из здания; $\tau_{р.сп}$ – расчетное время спасения людей из здания; $\tau_{р.туш}$ – расчетное 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 расчетного времени эвакуации людей, расчетного времени спасения людей или расчетного времени тушения пожарными подразделениями); $t_{кр}$ – критическая температура прогрева; K_o – коэффициент огнестойкости; $\Pi_{тр}$ – требуемый предел огнестойкости основных несущих конструкций

Сопоставление изученных факторов, позволяет сделать вывод о том, что принимаемые требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций в 240 минут (R240) имеют завышенный запас как минимум в два раза (рисунок 15).

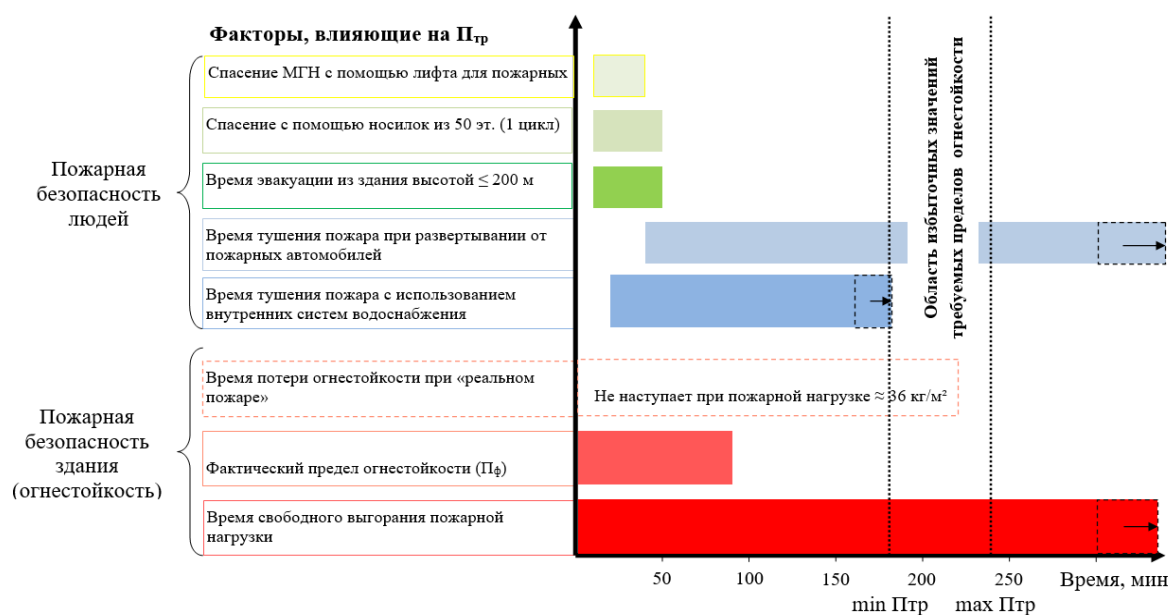


Рисунок 15 – Сопоставление основных факторов, влияющих на требуемые пределы огнестойкости

На основе анализа нормативных требований ранее существовавших нормативных документов в России по проектированию и строительству высотных зданий и существующих норм зарубежных стран разработана блок-схема системы обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий с учетом возможностей и действий пожарных подразделений.

В результате исследования комплексной оценки пожарной опасности высотных жилых зданий сформулирована концепция определения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий в зависимости от пожарной безопасности людей и сохранения объекта как материальной ценности, отвечающие современным тенденциям «гибкого» (объектно-ориентированного) нормирования. Установлено, что с точки зрения комплексной оценки пожарной опасности высотных жилых зданий и расчетов на примере колонны требуемые пределы огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий не должны превышать R180.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые разработана научно-обоснованная концепция нормирования требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий 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 высотных жилых зданий, 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 высотных жилых зданиях, 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 высотных жилых зданий и устанавливать прогнозные сценарии развития пожара для высотных жилых зданий.

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 высотных жилых зданий высотой до 150 м при невозможности использования лифтов для транспортирования пожарных подразделений. На основе этих экспериментальных данных повышена точность методики расчета времени спасения маломобильных групп населения из высотных жилых зданий.

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 высотных жилых зданий (от 38 – 59 минут на прокладку 10 рукавов), а также особенности объемно-планировочных решений высотных жилых зданий 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 высотных жилых зданий.

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 высотных жилых зданий. С учетом комплексной оценки пожарной опасности высотных жилых зданий и исследованных факторов, влияющих на требуемые пределы

огнестойкости, нормативные значения требуемых пределов огнестойкости основных несущих конструкций высотных жилых зданий до 150 м не должны превышать 180 минут. Данные результаты исследования были внедрены СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования».

Основные результаты работы опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. Иванов, В.Н. Проблемы пожарной безопасности высотных зданий и пути их решения [Электронный ресурс] / В.Н. Иванов, Е.Е. Кирюханцев // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 4. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_21482429_42968270.pdf (дата обращения 13.09.2014).

2. Иванов, В.Н. О повышении эффективности тушения пожаров в высотных жилых зданиях [Электронный ресурс] / В.Н. Иванов, Е.Е. Кирюханцев // 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).

3. Иванов, В.Н. Проблемы разработки и согласования специальных технических условий в области пожарной безопасности [Электронный ресурс] / В.Н. Иванов, Е.Е. Кирюханцев // 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).

4. 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 – С. 28–38.

Остальные публикации по теме диссертации:

5. Кирюханцев, Е.Е. Высотные здания и комплексы: проблемы пожарной безопасности и пути решения [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.А. Бейсенгазинов, В.Н. Иванов // Материалы международного научного семинара «Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности: новые направления и перспективы». – Кокшетау, КТИ МЧС РК, 2012 г. – С. 13–20.

6. Иванов, В.Н. Противопожарное нормирование высотных жилых домов [Текст] / В.Н. Иванов, Е.Е. Кирюханцев // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности-2012». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012 – С. 82–83.

7. Иванов, В.Н. Противопожарная защита высотных жилых зданий [Текст] / В.Н. Иванов, Е.Е. Кирюханцев // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов VI междунар. науч.-практ. конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов): в 2 ч. Ч. 1 – Минск: КИИ, 2012 – С. 69–71.

8. Кирюханцев, Е.Е. Противопожарная защита высотных жилых домов до 100 метров [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // XXIV МНПК по проблемам

пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч.1 М.: ВНИИПО, 2012 г. – С. 194–197.

9. Кирюханцев, Е.Е. Огнестойкость высотных жилых домов [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // Материалы 21-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2012». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – С. 179–181.

10. Кирюханцев, Е.Е. Тушение пожаров в высотных зданиях [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // МНПК «Пожаротушение – 2013». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – С. 234–238.

11. Иванов, В.Н. Система обеспечения пожарной безопасности высотных жилых зданий [Текст] / В.Н. Иванов // Материалы 2-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2013». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013 – С. 82–84.

12. Иванов, В.Н. Основные факторы, влияющие на огнестойкость конструкций [Текст] / В.Н. Иванов, Р.В. Мироненко // Материалы 3-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2014». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014 – С. 41–43.

13. Кирюханцев, Е.Е. Определение времени свободного развития пожаров в высотных жилых зданиях [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, В.Н. Иванов // МНПК «Пожаротушение – 2014». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014 – С. 217–220.

14. Иванов, В.Н. Анализ заключений по согласованию специальных технических условий в области пожарной безопасности [Текст] / В.Н. Иванов // Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017 – С. 366–371.

15. Иванов, В.Н. О требуемой степени огнестойкости высотных жилых зданий [Текст] / В.Н. Иванов // Материалы 5-й научно-практической конференции «Ройтмановские чтения». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 99–102.

16. Иванов, В.Н. Проблема нормирования требований к пределам огнестойкости высотных жилых зданий [Текст] / В.Н. Иванов // Материалы VII Международного научного семинара в режиме видеоконференцсвязи «Пожарная безопасность объектов хозяйствования». – Кокшетау, КТИ КЧС МВД Республики Казахстан, 2018. – С. 31–33.

Подписано в печать 15.10.2019 г. Формат 60×84/1/16.

Печать офсетная. Усл.-печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ №13

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4