

На правах рукописи



Шахуов Талгат Жумагулович

**НОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
К ЭВАКУАЦИОННЫМ ПУТЯМ И ВЫХОДАМ ИЗ ЗДАНИЙ МЕЧЕТЕЙ**

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: доктор технических наук, доцент
Самошин Дмитрий Александрович

Официальные оппоненты: Колодкин Владимир Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Удмуртский Государственный уни-
верситет», директор института гражданской
защиты

Гравит Марина Викторовна
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
доцент кафедры строительства уникальных
зданий и сооружений

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет»

Защита состоится «29» мая 2019 г. в 11 часов 30 минут на заседании диссертаци-
онного совета Д 205.002.02 в Академии Государственной противопожарной
службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4.

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

<https://academygps.ru/upload/iblock/139/1397585e82f10a77d38c2728c66f30a8.pdf>

Автореферат разослан «27» марта 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Религия ислам на сегодняшний день является второй по численности в мире после христианства. На данный момент насчитывается, по разным оценкам, около 1,8 млрд мусульман, что составляет примерно 24 % населения Земли. Для такого количества верующих требуется большое количество специализированных культовых зданий – мечетей. В последние годы в России строится все больше мечетей и за последние 30 лет их количество возросло более чем в 70 раз.

В настоящее время вопросу обеспечения пожарной безопасности в мусульманских молитвенных сооружениях следует уделить особое внимание, поскольку данные объекты являются местами с массовым пребыванием людей. В мире существуют такие молитвенные сооружения ислама, которые способны вмещать тысячи и даже миллионы человек (таблица 1).

Таблица 1 – Данные о крупнейших мечетях в мире

Название мечети и географическое местонахождение	Вместимость мечети, млн чел
Аль-Харам, Саудовская Аравия, г. Мекка	1,2
Мечеть Пророка, Аравия, г. Медина	0,6
Мечеть Шах Фейсал, Пакистан, г. Исламабад	0,3

В будничные дни посещаемость мечетей небольшая, но в дни исламских праздников и пятничных молитв численность прихожан резко возрастает. Их передвижение по мечети осложняется особенностями процесса богослужения, характерными для данной религии. Здания этого класса функциональной пожарной опасности имеют существенные отличия от зданий других конфессий. Во-первых, при входе в мечеть верхняя обувь снимается и укладывается в специально отведенное место. При выходе люди тратят некоторое время на поиск и надевание своей обуви, что увеличивает время эвакуации. Кроме того, из-за обучающихся снижается пропускная способность участков пути. Во-вторых, начатая коллективная молитва в случае наступления стихийного бедствия или пожара будет завершена верующими только по окончанию молитвы имамом (человек, руководящий молитвой). В-третьих, не вместившиеся в мечеть молятся на улице и тем самым препятствуют выходу людей из мечети.

Анализ нормативной базы показал, что в законодательстве Российской Федерации лишь в 2017 году объекты религиозного назначения выделены в отдельный класс функциональной пожарной опасности. С 1 января 2017 года введен в действие СП 258.1311500.2016 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности», однако приведенные в нем требования не имеют научного обоснования и противоречивы, что не позволяет гарантировать безопасную эвакуацию людей в культовых зданиях.

Таким образом, необходимость исследования данной проблемы обуславливается:

– отсутствием данных о времени начала эвакуации в зданиях подобного типа;

– отсутствием данных о параметрах движения прихожан в мечетях, о скоростях движения людей и пропускной способности эвакуационных путей и выходов, для определения которых необходимо знать и учитывать демографический состав людей, посещающих мечеть.

Все это приводит к невозможности обоснованно назначать размеры эвакуационных путей и выходов в мечетях.

Степень разработанности темы исследования. Анализ эмпирической базы свидетельствует о большом объеме проведенных отечественных и зарубежных исследований, рассматривающих движение людских потоков в зданиях различного назначения (Беляев С.В., Милинский А.И., Предтеченский В.М., Калинин В.А., Дувидзон Р.М., Холщевников В.В., Григорьянц Р.Г., Копылов В.А., Буга П.Г., Доценко А.Г., Гвоздяков В.С., Алексеев Ю.В., Еремченко М.А., Фелькель Х., Овсянников А.Н., Никонов С.А., Айбуев З.С.-А., Исачев И.И., Самошин Д.А., Парфененко А.П., Кудрин И.С., Истратов Р.А., Слюсарев С.В., Фан А., Fruin J.J., Pauls J.L., E. Galea). Однако исследований, посвященных движению людей в культовых зданиях мусульманского толка, не проводилось. В недавних работах отечественных авторов (Таранцев А.А., Шидловский Г.Л., Матвеева Н.П.) выполнены отдельные исследования особенностей процесса эвакуации из культовых сооружений, но они относятся к православным храмам. Не содержат необходимых данных зарубежные нормы (например, нормы США NFPA 101), международные стандарты (например, ISO/TR 16738:2009) и справочники (например, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering).

Таким образом, в настоящее время параметры, описывающие процесс эвакуации людей из мечетей с учетом их психофизиологических возможностей, не изучены ни в России, ни в других странах мира. В связи с этим невозможно обоснованно нормировать размеры эвакуационных путей и выходов и оценивать безопасность эвакуации различных групп граждан в случае пожара.

Высокая потенциальная опасность одновременного нахождения большого количества людей в ограниченном по площади здании, их особенное психологическое состояние в это время, правила проведения богослужений, усложняющих в целом процесс эвакуации – все это на фоне нерешенных теоретических и практических задач обеспечения их безопасности при пожаре подтверждает актуальность настоящего исследования в этой области.

Анализ состояния проблемы позволил сформулировать **цель исследования** – установление расчетных величин, необходимых для нормирования требований к эвакуационным путям и выходам в мечетях на основании исследований времени начала эвакуации и закономерностей движения людских потоков в мусульманских молельных домах.

Основные задачи исследования:

1. Изучить особенности проектирования и реализации основного функционального процесса в мусульманских молитвенных сооружениях;
2. Определить расчетный состав людского потока по полу и возрасту, а также установить связь площади их горизонтальных проекций с численностью функционального контингента в мечетях;

3. Определить параметры времени начала эвакуации в зависимости от места возникновения пожара в мечетях;

4. Установить значения параметров движения людских потоков при эвакуации из мечетей в случае пожара и определить зависимости между ними;

5. На основе многовариантного анализа процесса эвакуации разработать требования к объемно-планировочным, инженерным и организационно-техническим мероприятиям, направленным на обеспечение безопасной эвакуации людей в мечетях.

Объект исследования – процессы эвакуации людей в мечетях при возникновении пожара.

Предмет исследования – время начала эвакуации и закономерности движения людей в мечетях по различным видам пути, определяющие необходимые размеры эвакуационных путей и выходов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определен состав основного функционального контингента по полу и возрасту и установлена связь между площадью молельного зала и численностью людей;

2. Установлена связь времени начала эвакуации с особенностями богослужения в мусульманских культовых зданиях;

3. Впервые сформирована статистическая совокупность значений скорости движения смешанных потоков в мечетях в установленных интервалах плотности для всех видов коммуникационных путей;

4. Установлены параметры случайной функции, описывающей зависимость скорости от плотности смешанных потоков людей при их движении по горизонтальным путям, по лестнице вниз, через дверной проем, а также значения входящих в нее величин a и D_0 ;

5. Определены значения случайной величины скорости свободного движения V_0 людей в потоке по различным видам пути в зависимости от их эмоционального состояния.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в:

– использовании установленных закономерностей движения людских потоков при назначении геометрических размеров эвакуационных путей и выходов, обеспечивающих выполнение условий безопасной эвакуации в мечетях;

– обеспечении возможности проведения научно-обоснованных расчетов величин пожарного риска в мечетях на основе фактических значений, характеризующих процесс эвакуации людей;

– разработке организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности основного функционального контингента мечетей.

Методология и методы исследования. Обработка эмпирических данных производилась методами теории вероятности и математической статистики, которые реализованы в работе при помощи программ «*IBM SPSS Statistics 20*» и «*AtteStat 12.5*». Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП) в мечетях проводилось с использованием вычислительной про-

граммы *Fire Dynamic Simulator (FDS)*, реализующей полевою (дифференциальную) модель пожара.

Положения, выносимые на защиту:

- особенности формирования времени начала эвакуации в мечетях при коллективных молитвах;
- закономерности связи между параметрами потоков, формирующихся при эвакуации в мечетях;
- установленное влияние эмоционального состояния людей на скорость свободного движения;
- требования к эвакуационным путям и выходам мечетей для обеспечения безопасной эвакуации людей в случае пожара.

Степень достоверности и апробации результатов. Достоверность представленных результатов достигалась с помощью:

- организации натуральных наблюдений поведения людей в мечетях (99 замеров времени начала эвакуации и 1030 замеров параметров движения людского потока) по методике, неоднократно апробированной и опубликованной в научных изданиях;
- методов статистического анализа собранных эмпирических данных для получения максимально репрезентативной выборочной совокупности;
- методологии теории людских потоков, учитывающей психофизические особенности составляющих их людей;
- высоких показателей корреляционной связи между установленными зависимостями и экспериментальными данными.

Основные результаты исследования доложены на:

- 23-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2014» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2014 г.);
- IV Международном научном семинаре «Пожарная безопасность объектов хозяйствования» (г. Кокшетау, Республика Казахстан, Кокшетауский технический институт, 2015 г.);
- 24-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015 г.);
- VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации ЧС» (г. Кокшетау, Республика Казахстан, Кокшетауский технический институт, 2015 г.);
- 25-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016).

Материалы диссертации использовались:

- при разработке проектной документации на проектирование специальных технических условий для молитвенного помещения ММРО «Иман» Балашихинского района, расположенного по адресу: г. Балашиха, ул. Первомайская, 7;
- при разработке организационно-технических мероприятий и проведении учебных эвакуаций из центральной мечети «НурМубарак», расположенной по адресу: Республика Казахстан, п. Косшы, ул. Набережная, 2;
- при разработке проектной документации на проектирование специальных технических условий для Московской соборной мечети, расположенной по

адресу: г. Москва, Выползов переулок, 7;

– в учебном процессе РГУ «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД Республики Казахстан учебно-методического комплекса дисциплины «Пожарная безопасность в строительстве».

Публикации. По теме исследования опубликовано 9 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 125 страницах текста, включает в себя 23 таблицы, 53 рисунка, список литературы из 100 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, описаны методология и методы исследования, а также степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе определена необходимость обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий мечетей. Проведен анализ особенностей проектирования культовых сооружений в религии ислам, определены архитектурные каноны при проектировании мечетей. Выявлены недостатки и противоречия требований противопожарного законодательства. Анализ результатов выполненных исследований научной школы «Движение людских потоков» показал, что несмотря на обширность полученных результатов, нерешенными остаются вопросы, требующие проведения экспериментов для выявления особенностей эвакуации прихожан из зданий мечетей в случае возникновения пожара.

Во второй главе показано, что в настоящее время в Республике Казахстан и в Российской Федерации количества мечетей в больших городах недостаточно. Это подтверждается чрезвычайной заполненностью каждого здания подобного типа прихожанами в праздничные дни. Однако количество мечетей постоянно растет, а, следовательно, возникает вопрос о необходимости нормирования требований к эвакуационным путям и выходам, и разработке мероприятий по совершенствованию безопасности прихожан при проектировании новых и реконструкции ныне действующих культовых сооружений ислама.

В связи с этим на первом этапе исследований были проанализированы затраты времени в начальной стадии пожара – времени начала эвакуации. Величина времени начала эвакуации определяется следующими слагаемыми:

$$t_{н.э.} = (t_{об} + t_{оп}) + t_о + t_{под}; \quad (1)$$

где $t_{об}$ – время обнаружения очага горения; $t_{оп}$ – время оповещения, объявления тревоги; $t_о$ – интервал времени, необходимый человеку для осознания информации и оценки сложившейся ситуации; $t_{под}$ – время на подготовку к эвакуации или к защите помещения от воздействия ОФП.

В результате проводимого эксперимента было получено 99 замеров затрат времени $t_о+t_{под}$ до начала движения прихожанами в сторону эвакуационных выходов. Наблюдения показали, что в начале эвакуации формирующиеся людские потоки сразу приобретают параметры поточного движения, т.е. людские потоки формируются почти мгновенно. Такое формирование людских потоков резко отличается от образования потоков в ранее исследованных зальных помещениях с фиксированными местами для посетителей.

Гистограмма значений, полученная в результате обработки эмпирических данных, приведена на рисунке 1.

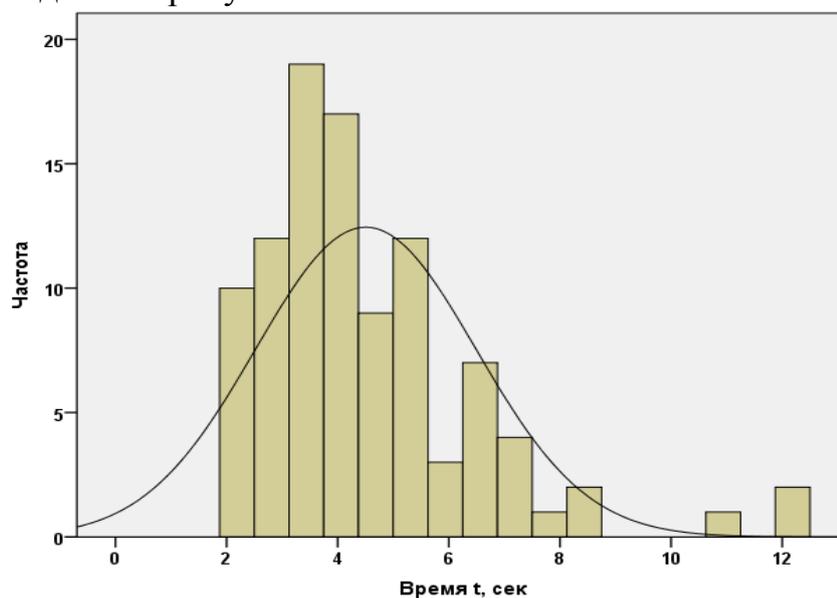


Рисунок 1 – Гистограмма распределения значений времени подготовки к эвакуации после слов имама

Анализ гистограммы показывает, что значения $t_о + t_{под}$ чрезвычайно низкие – 4,5 с, что свидетельствует о практически одновременном начале движения всех прихожан к выходам после получения сигнала о пожаре. Таким образом, в процессе эвакуации нагрузка на эвакуационные выходы будет максимальной, и именно пропускная способность проемов будет определять общее время эвакуации.

В молитвенной практике ислама молитва может быть закончена прихожанами только после того, как ее завершит или прекратит по каким-либо обстоятельствам имам (человек, возглавляющий молитву). В связи с этим главным фактором, определяющим подготовку прихожан к эвакуации во время молитвы, будет речь имама (около 10 с), которому необходимо будет самому «перестроиться» от сакрального состояния до реальной оценки происходящего, что вероятнее всего займет не менее 20 с. В результате, предполагаемое время $t_{н.э.}$ в модельных залах будет равняться приблизительно $t_{н.э.} = 35$ с (с учетом округления суммы $t_о+t_{под}$ до 5 с).

Значение $t_{н.э.}$ для остальных помещений, находящихся в мечети, будет состоять из слагаемых суммы «Инерционности АУПС», «Речи имама» и «Подготовки к эвакуации», что отражено на рисунке 2. Начало речи имама (команда для эвакуации) будет зависеть от времени срабатывания АУПС (около 1 мин = 60 с). Следовательно, предполагаемое время $t_{н.э.}$ для помещений, в которых пожар не может быть обнаружен визуально, будет равняться приблизительно $t_{н.э.} = 95$ с, что следует учитывать при построении системы пожарной безопасности.

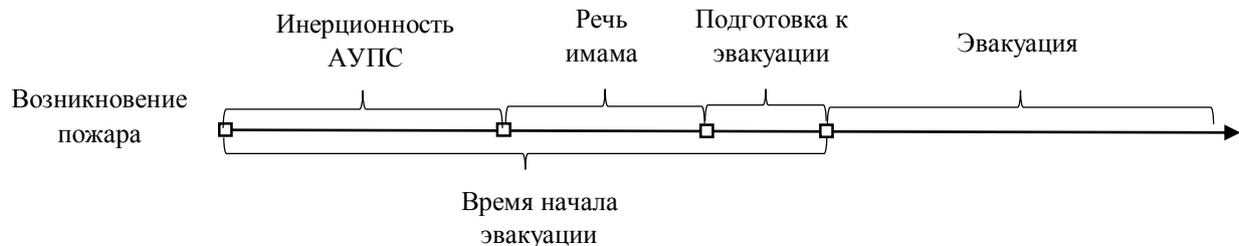


Рисунок 2 – Интервалы затрат времени для помещений, в которых пожар не может быть обнаружен визуально

В третьей главе представлена методика проведения исследований и показаны результаты статистической обработки экспериментальных данных. Наличие смешанного потока людей различных возрастных групп обуславливает необходимость определения точного демографического состава функционального контингента мечетей. Это необходимо для определения скорости движения смешанного потока прихожан, а также выявления особенностей параметров такого движения.

Наблюдения за демографическим составом людского потока в мечетях показали, что основной контингент прихожан (порядка 95 %) – это мужчины трудоспособного возраста, которые по своим физиологическим особенностям имеют довольно высокую скорость движения. Малое количество входящих на молитвы в мечети женщин и детей несовершеннолетнего возраста обуславливается дозволенностью им в религии совершать молитву дома, не приходя в культовое здание, для мужчин же посещение коллективных молитв является обязательным.

Установление характеристик движения людских потоков в зданиях происходило путем проведения серий натурных наблюдений в период с 2014 по 2016 г. в мечетях города Москвы.

В качестве участков для наблюдения за процессом движения прихожан были приняты: молельные залы, лестничные марши, дверные проемы, участки путей перед выходами из мечетей, а также прилегающая к мечети территория. Для фиксации параметров движения людских потоков использовались камеры службы безопасности мечети и дополнительные камеры, установленные исследователями (рисунок 3).

В качестве видеозаписывающего оборудования, которое устанавливалось заранее, использовались видеорегистраторы «DOD F900LS». Их достоинством является то, что они осуществляют съемку с большим углом обзора, равным

120°, что является достаточным для получения необходимых данных на рассматриваемых участках.

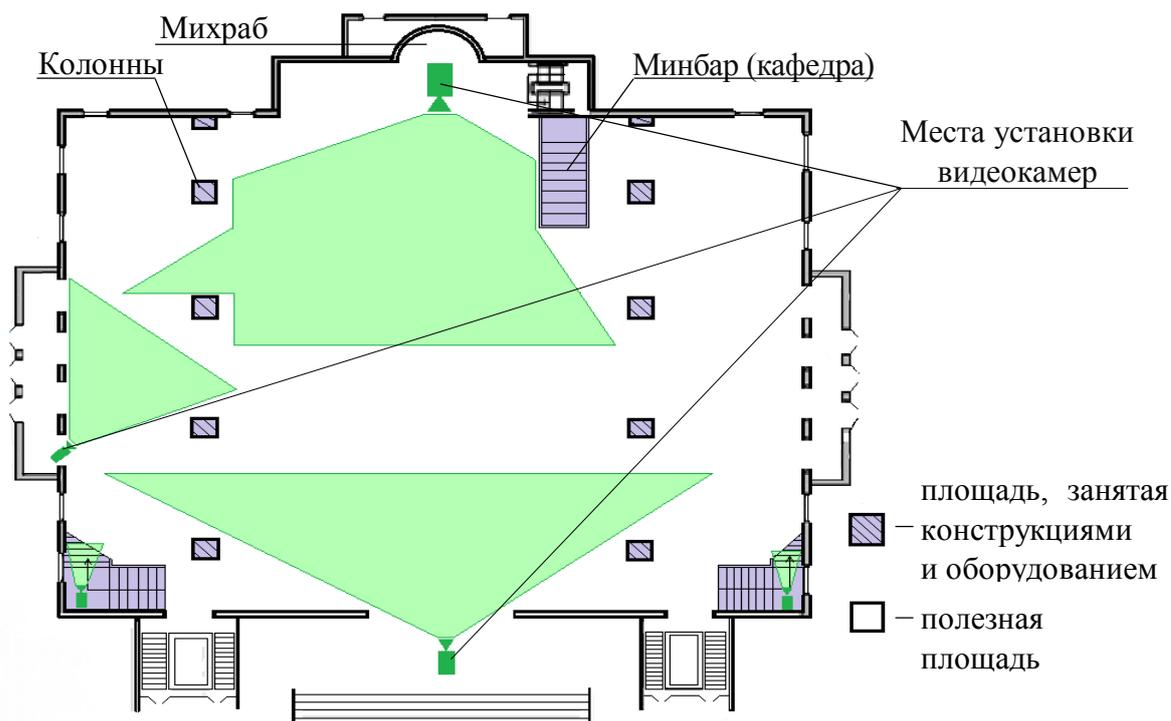


Рисунок 3 – План типовой мечети и места установки видеокамер

Параметры движения людей определялись при помощи специальной масштабной сетки с размерами ячеек 1×1 м, которая натягивалась над участками до натуральных наблюдений, фиксировалась видеокамерами и затем удалялась.

После того как на видеозаписи появлялись первые кадры с масштабной сеткой, видео останавливалось и на дисплей монитора переносился контур этой сетки. Получив на мониторе начерченную сетку, продолжался просмотр отснятой видеозаписи эксперимента, где людские потоки двигались по установленному участку пути, пересекая контуры ячейки сетки, нанесенные на дисплей монитора (рисунок 4).



Рисунок 4 – Фрагмент видеозаписи процесса движения людей на выходе из мечети

Далее при помощи программ *Quick Time* и *Screen Marker* на персональном компьютере проводилась обработка полученных данных для дальнейшего анализа. Отмечалось время входа человека на рассматриваемый участок, подсчитывалось количество людей в той же самой ячейке перед ним, и тем самым определялась плотность потока D (чел/м²), при которой наблюдаемый человек проходил расстояние $l = 1$ м (равное длине ячейки) за определенное количество кадров (тем самым определялся интервал времени t). Скорость перемещений человека $V_{\text{пер}}$ (м/мин) за n кадров наблюдения за ним определялась по формуле:

$$V_{\text{пер}} = \frac{l}{t} \cdot 60 \quad (2)$$

Определение скорости движения через проем имеет некоторые отличия от определения скорости на участках других видов пути, поскольку длина участка пути в проеме равна нулю. При движении через проем подсчитывалось количество людей N_t , проходящих через него за определенный интервал времени t . Величина t определялась продолжительностью существования перед границей проема конкретного значения плотности D . Затем рассчитывалась интенсивность движения q_D (чел/(м·мин)) через проем шириной δ (м) при наблюдаемой в течение интервала времени t (мин) плотности потока D (чел/м²) перед ним:

$$q_D = N_t / (\delta \cdot t), \quad (3)$$

а затем скорость V_D (м/мин) перехода через границу проема при плотности D :

$$V_D = q_D / D. \quad (4)$$

Таким образом, в ходе экспериментальной работы были получены 1032 значения скорости движения людей по различным видам пути.

Эмпирический материал (параметры скорости и интенсивности), полученный в ходе экспериментов, был использован для дальнейшего статистического анализа.

Для определения достаточности количества измерений n была использована формула:

$$n = (x \cdot v)^2 / \varepsilon^2, \quad (5)$$

где x – коэффициент доверительной вероятности $P(x)$, при $P = 0,95$ значение $x = 1,96$; v – значение меры изменчивости $v = (\sigma / X) \cdot 100$ %, представляющее собой выраженное в % отношение среднеквадратического отклонения (σ) выборки к среднему арифметическому значению (X); ε – показатель точности исследования, равный допустимой ошибке, не превышающей 5 %.

Представленные в таблице 2 значения показали, что полученного количества замеров скоростей движения людских потоков достаточно для дальнейшего анализа экспериментальных данных.

Таблица 2 – Требуемое количество измерений скорости движения прихожан в мечетях по различным видам пути

Вид пути	Количество измерений	
	Произведено	Требуемое
Проем	286	282
Горизонтальный путь	398	386
Лестница вниз	348	324

Для проверки гипотезы об однородности эмпирических выборок (т.е. значимость различий между ними) использовались разные статистические критерии для выборок, подчиняющихся нормальному распределению. Обследование выборочных совокупностей на нормальность производилось применением различных критериев в зависимости от численности значений скорости в экспериментах. Если выборки от 50 значений и более, то применялся критерий Пирсона (χ^2), если от 3–50 значений, то критерий Шапиро-Уилка (W).

Определив, что распределение выборки описывается нормальным законом распределения, провели проверку на наличие грубых погрешностей при помощи правила трех сигм (3σ), которая показала, что все значения в выборке лежат в интервалах ($X - 3\sigma$; $X + 3\sigma$).

Проведенное статистическое обследование позволило определить выборочные совокупности эмпирических данных о движении людей в мечетях по различным видам пути, отражающих основные характеристики генеральной совокупности (таблица 3).

Данные о количестве проведенных наблюдений (N) в интервалах плотности людских потоков (D , чел/м²), значениях числовых характеристик интенсивности движения через проем (q , чел/м·мин) приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Скорости движения людей по горизонтальному пути и по лестнице вниз

Интервал плотности D , чел/м ²	Количество наблюдений n	Математическое ожидание скорости $m(V)$, м/мин	Среднее квадратическое отклонение $\sigma(V)$, м/мин	95 % доверительный интервал	
				Нижняя граница	Верхняя граница
Горизонтальный путь					
0–1	56	112,20	17,84	107,70	116,70
1–2	63	69,20	24,16	64,10	74,30
2–3	72	52,93	16,96	52,81	56,05
3–4	59	41,87	11,18	37,57	46,14
4–5	64	33,15	14,13	28,95	37,35
5–6	45	26,88	9,54	23,98	29,78
6–7	39	21,52	12,46	19,02	24,02
Лестница вниз					
0–1	68	109,01	21,15	104,60	113,40
1–2	64	80,31	16,94	75,11	85,51
2–3	44	56,69	13,62	52,59	60,79
3–4	45	41,13	10,58	38,53	43,73
4–5	48	29,50	11,77	25,26	33,75
5–6	46	20,22	9,62	17,92	22,52
6–7	33	12,50	14,04	10,60	14,40

Таблица 4 – Средние значения интенсивности движения через проем

Интервал плотности D , чел/м ²	Количество наблюдений N	Среднее значение интенсивности q , чел/(м·мин)
1–2	47	123,56
2–3	75	154,36
3–4	49	168,53
4–5	66	171,01
5–6	49	164,43

Полученные данные были необходимыми для последующего анализа, который стал предметом выявления зависимости скорости от последовательно изменявшихся плотностей. Их построения производились по апробированной методологии. Зависимость скоростей движения от его плотности в общем виде отображается формулой (6):

$$V_D = V_0 \cdot (1 - R), \quad (6)$$

где V_0 – случайная величина скорости свободного движения потока людей, когда значение плотности не оказывает влияния, м/мин; R – функция, отражающая степень влияния внешнего фактора на сенсорную систему людей, она не зависит от уровня эмоционального состояния прихожан, а отражает влияние плотности людского потока D на скорость их движения.

Эмпирические значения R_D для каждого интервала плотности во всех сериях проведенных натуральных наблюдений определялась по формуле:

$$R_D = \Delta V_D / V_0, \quad (7)$$

где $\Delta V_D = m(V_0) - m(V_D)$, m – математическое ожидание для V_D и V_0 соответственно.

В основе проявляющегося влияния плотности людского потока на его скорость лежат психофизические закономерности взаимосвязи между физическими характеристиками различного характера стимулов, порождаемых плотностью людского потока, и интенсивностью ощущений, реакцией на которые и является изменение скорости движения людей:

$$R_T = a \ln (D / D_0), \quad (8)$$

где D – значение плотности людского потока, при котором определяется значение R_T ; D_0 – пороговое значение плотности, по достижении которого она начинает ощущаться как воздействующий фактор при движении; a – эмпирический коэффициент, отображающий интенсивность воздействия плотности при движении. Коэффициенты a и D_0 в приведенном выше выражении были определены методом средних и методом наименьших квадратов с помощью программы *Microsoft Excel*. Результаты выполненной аппроксимации $R = f(D)$ представлены на рисунке 5.

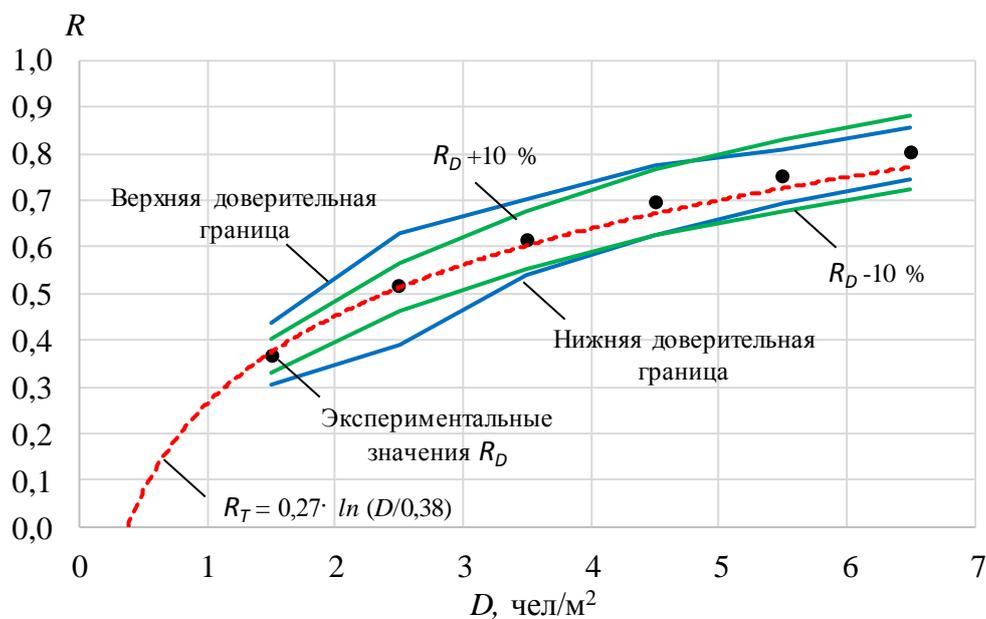


Рисунок 5 – Аппроксимация зависимости $R = (f)D$ при движении людского потока по горизонтальному участку пути

Для смешанного состава людского потока, состоящего преимущественно из мужчин трудоспособного возраста, при движении по различным видам пути в мечети значения a и D_0 приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения a и D_0 при движении людских потоков по различным видам пути в мечети

Вид пути	a	D_0 , чел/м ²
Горизонтальный путь	0,271	0,38
Лестница вниз	0,410	0,75
Дверной проем	0,352	0,67

В теории движения людских потоков удалось выделить эмоциональные состояния и соответствующие им категории движения.

Для понимания зависимости скорости V_0 (м/мин) свободного движения людей в мечетях от степени их психологической напряженности, связанной с показателем эмоционального состояния (\mathcal{E}), применялась статистическая теория распределения крайних членов выборки.

В результате для прихожан строилось эмпирическое распределение максимальных значений скоростей движения. При оценке однородности средних значений скорости свободного движения прихожан V_0 (м/мин), различия между выборочными совокупностями оказались несущественными. Иными словами, при объединении выборок по горизонтальным путям, по лестнице вниз, а также через дверной проем наблюдаемые значения критериев не превышают критических, следовательно, гипотеза об однородности выборочных совокупностей подтверждается. Исходя из этого, максимальные значения скоростей движения по всем видам рассматриваемых путей объединены в общий вариационный ряд.

После необходимых расчетов была установлена связь скорости свободного движения прихожан на различных видах пути в мечетях в зависимости от вероятного наблюдаемого уровня их эмоционального состояния (Ξ):

$$V_0^3 = 76,25 - 6,6 \cdot \ln(-\lg(0,1 + 1,284\Xi)), \quad (9)$$

По уравнению (9) построен график (рисунок 6), характеризующий влияние уровня эмоционального состояния прихожан на их двигательную активность, что позволило установить зависимость скорости свободного движения (V_0 , м/мин) от уровня эмоционального состояния людей в мечетях.

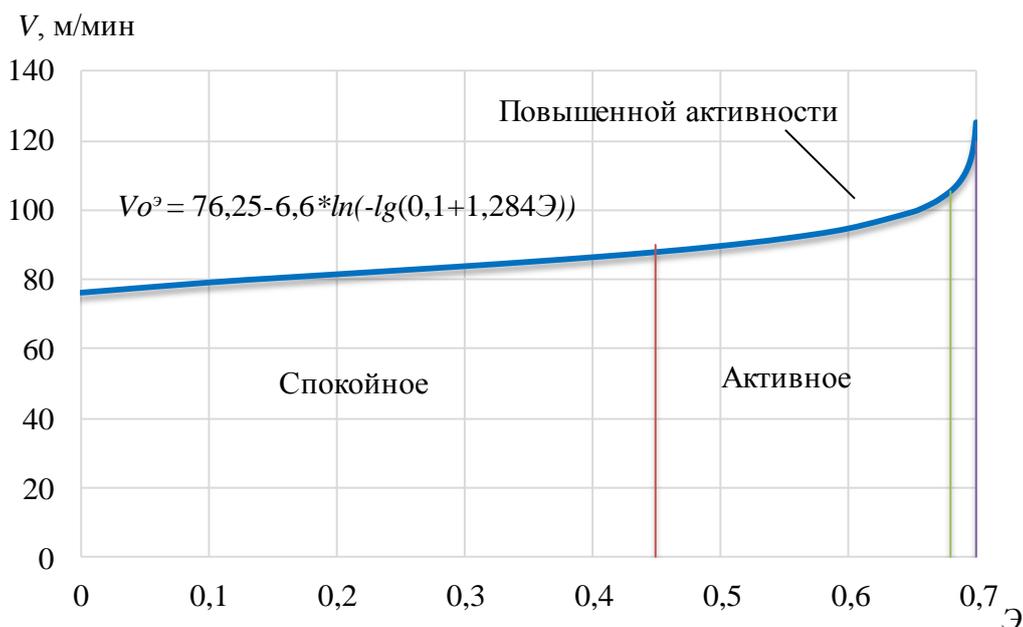


Рисунок 6 – Зависимость скорости свободного движения прихожан от уровня эмоционального состояния

Установленные значения скоростей свободного движения для прихожан в мечети представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Скорости свободного движения людей в мечетях при соответствующих категориях движения

Категории движения	Скорость свободного движения людей V_0 , м/мин
Комфортное	< 76,3
Спокойное	76,3–88,0
Активное	88,0–105,5
Повышенной активности	105,5–125,5

Таким образом, на основе проведенных натуральных наблюдений и экспериментов исследования движения людских потоков в мечетях определены численные характеристики параметров элементарных случайных функций, описывающих зависимость скорости от плотности людских потоков при их движении по различным видам пути. Также найдены все значения величин, характеризующие закономерности связи между параметрами людских потоков в мечетях.

Зависимости скорости движения потока от его плотности по горизонтальному пути и лестнице вниз показаны на рисунке 7.

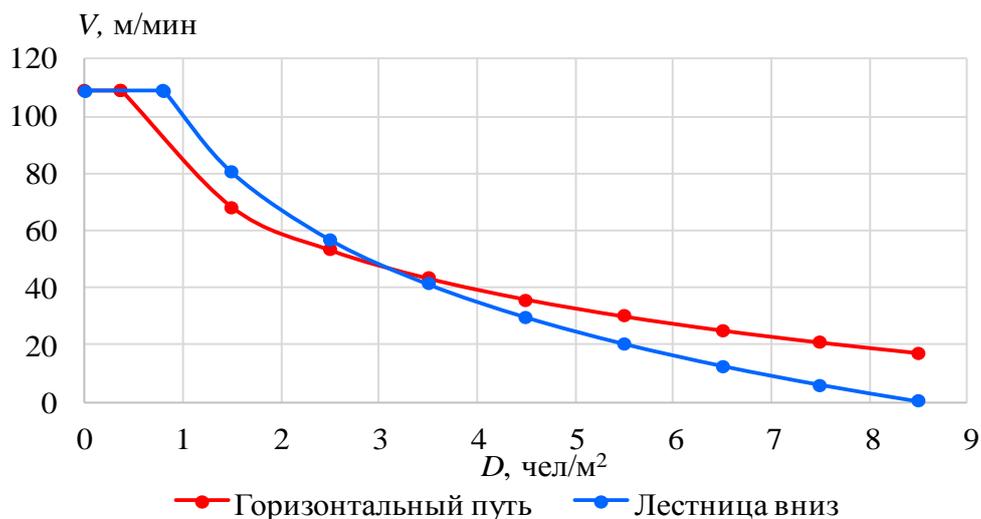


Рисунок 7 – Зависимость скорости движения потока от плотности по горизонтальному пути и по лестнице вниз

На графике (рисунок 7) видно, что скорость движения в начальном диапазоне (до 3 чел/м²) выше, чем скорость людей в аналогичном диапазоне плотностей, а при высоких плотностях скорость падает значительно. Это связано с тем, что «лестница вниз» – сложный вид пути, где люди не стараются обогнать друг друга.

Зависимость интенсивности движения в дверном проеме q от плотности потока показана на рисунке 8. Значение максимальной интенсивности составляет $q_{\max} = 171$ чел/(м·мин).

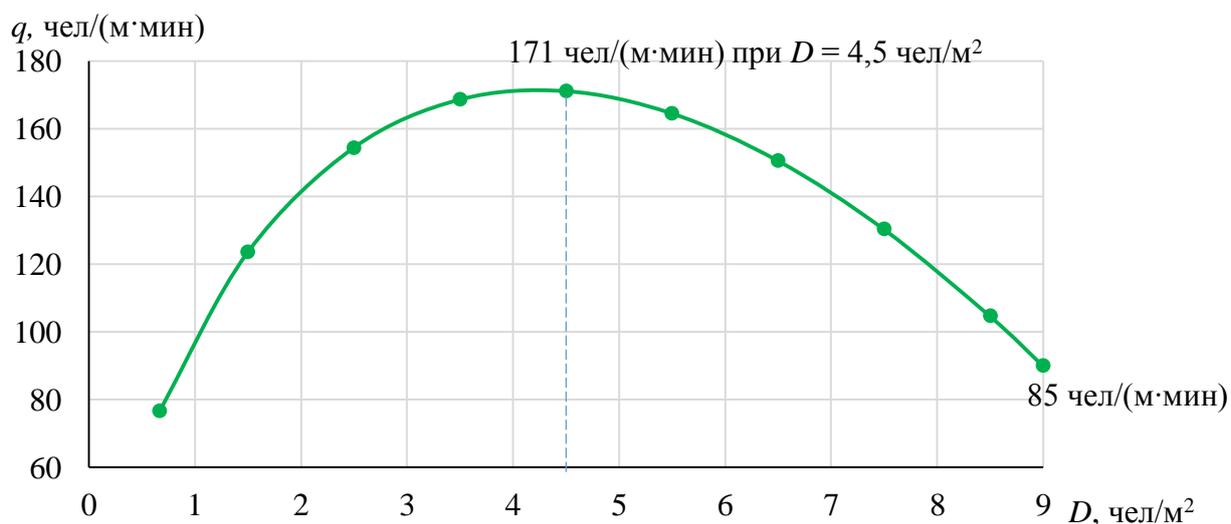


Рисунок 8 – Зависимость интенсивности движения потока от плотности через проем

В четвертой главе проведен анализ факторов, определяющих возможность своевременной эвакуации людей из мечетей, на основе которого предложены рекомендации по нормированию требований пожарной безопасности.

Для оценки безопасности людей динамика нарастания ОПП определялась с помощью дифференциальной модели *Fire Dynamics Simulator (FDS)*.

В конструктивном плане в любой мечети можно выделить две ярко выраженные зоны (молельный зал и холл мечети), где постоянно пребывают люди во время молитвы (рисунок 9).

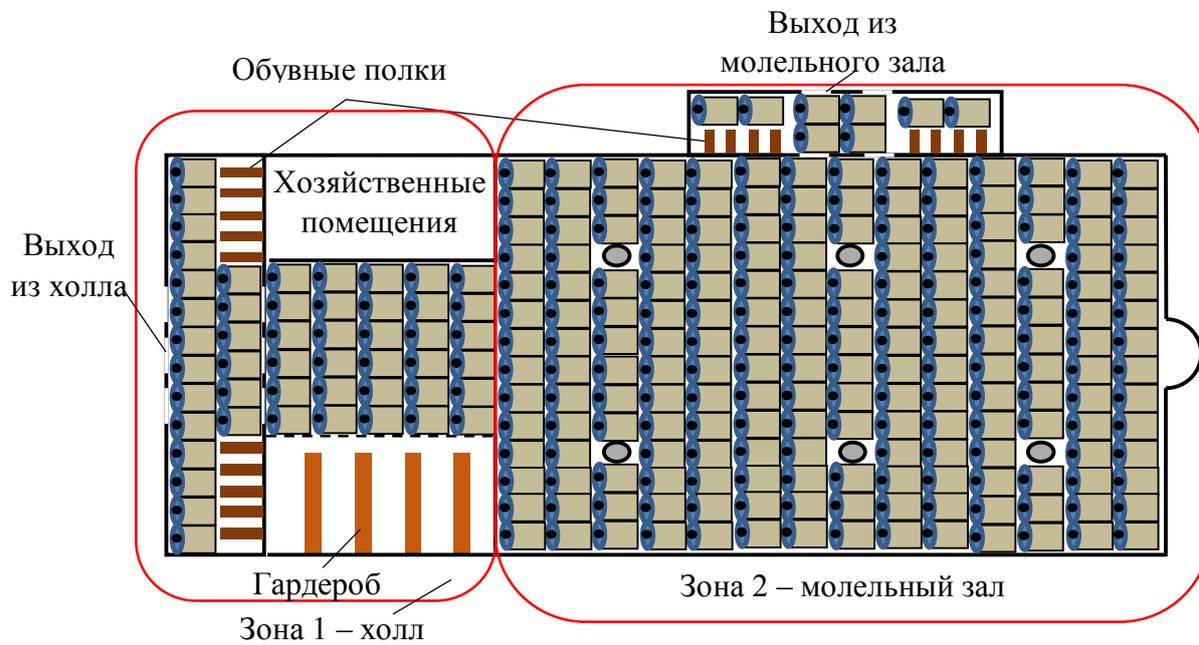
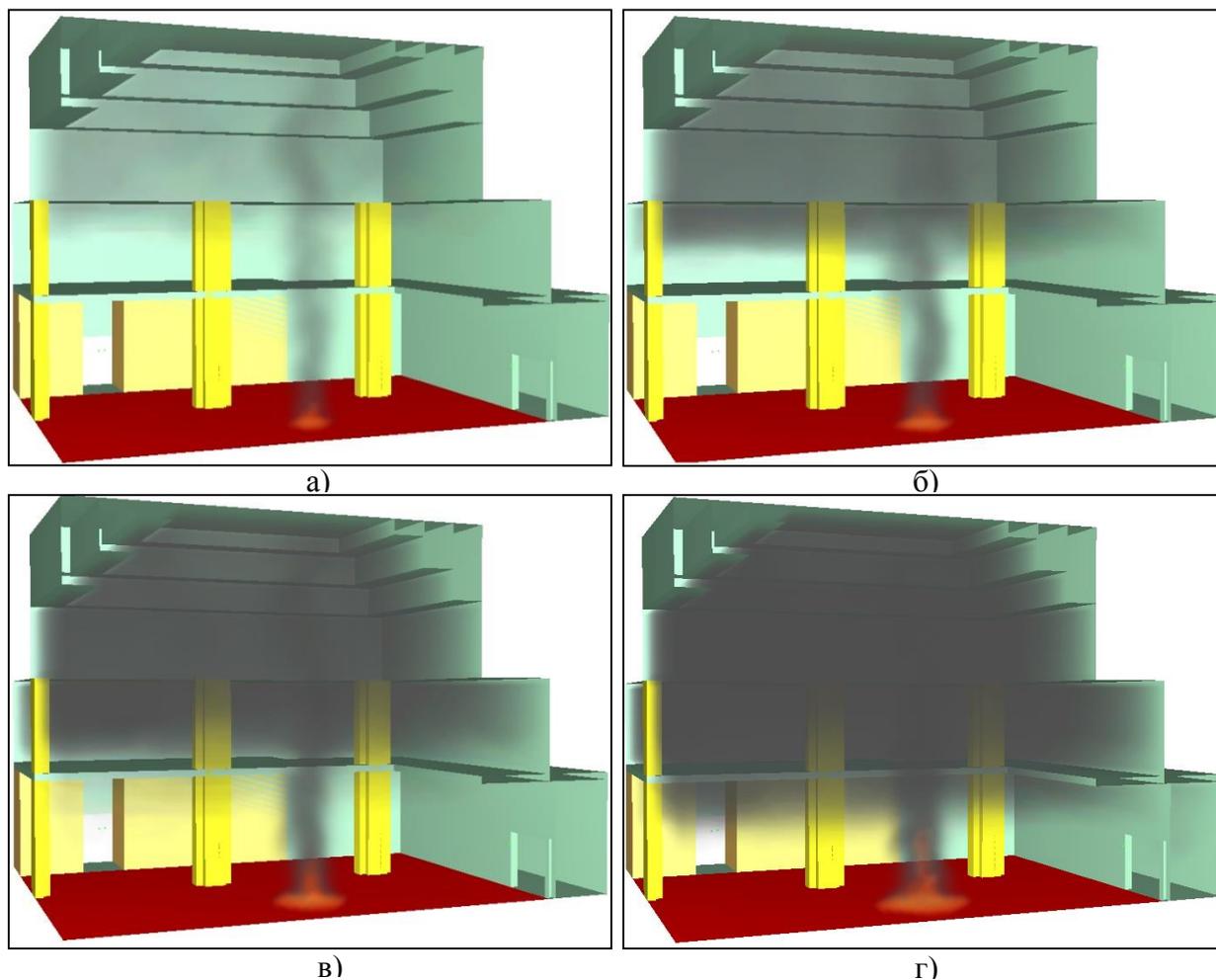


Рисунок 9 – Характерные зоны нахождения людей в мечети

Исходя из этого, рассматриваются два основных сценария пожара в мечети: в молельном зале и холле на основе объемно-планировочных решений типовой, с точки зрения мусульманской архитектуры, Московской соборной мечети, построенной в 2015 году.

Результаты моделирования времени блокирования путей эвакуации в молельном зале показывают (рисунок 10), что время наступления критических значений опасных факторов пожара достаточно велико (более 6 мин. для данного сценария) и своевременность эвакуации обеспечивается. Важным выводом является то, что в молельных залах мечетей размеры эвакуационных выходов необходимо нормировать на основе такого критерия безопасной эвакуации, как беспрепятственность, т.е. движение без образования высоких травмоопасных плотностей (5 чел/м^2). Время скопления людей не должно превышать 5 минут.



**Рисунок 10 – Распространение дыма в молельном зале:
а) на второй минуте; б) на третьей минуте;
в) на четвертой минуте; г) на пятой минуте**

Моделирование развития ОФП по второму сценарию для определения времени блокирования эвакуационных выходов в холле мечети, которое зависит от пожарной нагрузки, формы развития пожара и места возгорания, показало, что минимальным $t_{\text{бл}}$ является значение, равное 1,4 мин., т.е. 84 с. Это означает, что в холле мечети требования к нормированию путей эвакуации следует определять на основе своевременности эвакуации.

Следующим стало установление связи площади мечети с численностью людей. При определении расчетной численности следует иметь в виду, что во время коллективных молитв верующие располагаются не только в самом молельном зале (рисунок 11), но и на любых свободных местах – например, на лестничных площадках и холле (рисунок 12).



Рисунок 11 – Расположение людей в молельном зале



Рисунок 12 – Расположение людей в холле мечети

Установление соотношения площади и численности людей в мечети показало, что количество прихожан можно определить из расчета $0,6 \text{ м}^2$ площади, свободной от оборудования, конструкций и элементов убранства зала, на 1 человека, либо, если их совокупная площадь не известна – $0,7 \text{ м}^2/\text{чел}$ (лестничные площадки, фойе).

При проектировании мечети суммарную ширину эвакуационных выходов из холла следует определять из следующего выражения:

$$\sum b_{\text{вых}} = N / q_{D\text{max}} \cdot t_{\text{бл}}, \quad (10)$$

где N – вместимость мечети (из расчета $0,7 \text{ м}^2/\text{чел}$), чел.; $q_{D\text{max}}$ – интенсивность людского потока (равная $90 \text{ чел}/\text{м}\cdot\text{мин}$) при максимальной плотности равной

9 чел/м²; $t_{нб}$ – необходимое время эвакуации, определяемое критическим значением воздействия ОФП, равное 1,4 мин. (84 с.).

С учетом полученных в настоящей работе данных формула (10) примет вид:

$$\sum b_{\text{вых}} = 0,008 \cdot N, \quad (11)$$

где N – вместимость мечети, чел.

Определение суммарной ширины эвакуационных выходов позволяет утверждать, что самое опасное место в мечети – это не мольный зал, а холл – место, где прихожане снимают верхнюю одежду. В действующих на сегодняшний день нормах об этом ничего не говорится.

Важно отметить, что ширину выходов следует назначать пропорционально ширине человека в плечах ($b = 0,6$ м), но не менее ширины кресла-коляски ($b = 0,9$ м). В таком случае ширина двери должна рассчитываться из условия не менее 0,9 м и далее с шагом 0,6 м, в зависимости от установленной суммарной ширины эвакуационных выходов. Это позволит обеспечить беспрепятственную эвакуацию различных групп мобильности.

Следовательно, ширина дверного проема может быть равна: 0,9 м; 1,5 м; 2,1 м; 2,7 м (рисунок 13) и т.д.

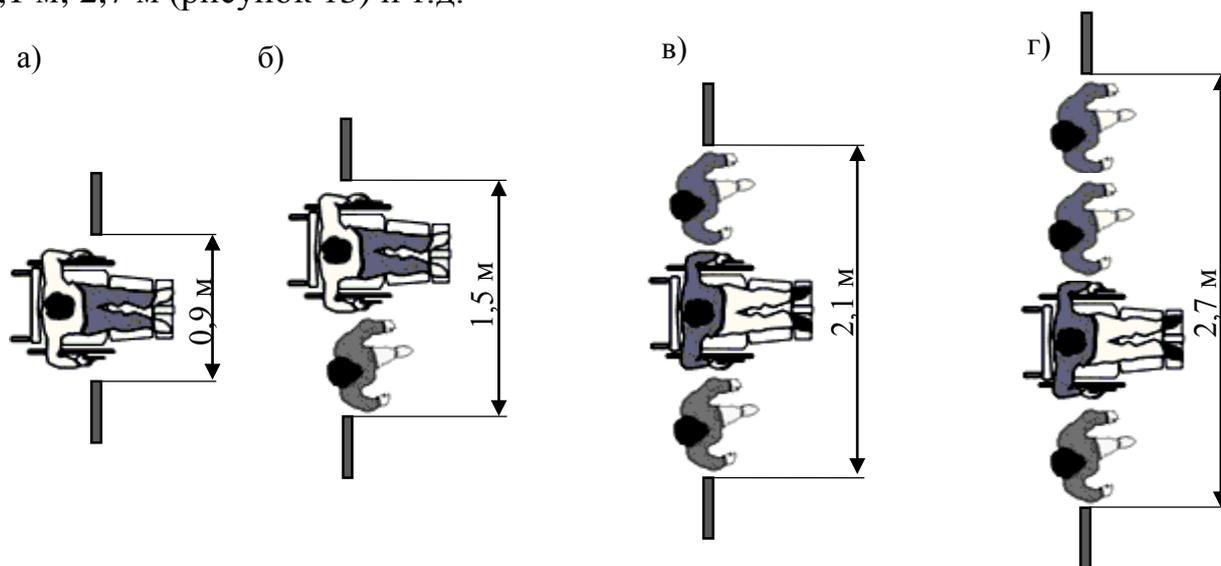


Рисунок 13 – Варианты преодоления створа дверного проема с учетом совместного движения людей различной мобильности:

а) $\delta = 0,9$ м; б) $\delta = 1,5$ м; в) $\delta = 2,1$ м; г) $\delta = 2,7$ м

Однако наличие выходов требуемой ширины не является достаточным условием для обеспечения безопасной эвакуации людей. Необходимо не допускать оставления обуви на путях эвакуации. Помимо того, что большое количество обуви на полу само по себе существенным образом загромождает пути эвакуации, в дальнейшем оно ведет к созданию помех за счет людей, остановившихся для ее надевания (рисунок 14).



Рисунок 14 – Обувь, оставленная на путях эвакуации

Кроме того, для беспрепятственной эвакуации из мечети необходимо освободить от моления некоторую площадь на улице близ выходов (рисунок 15).

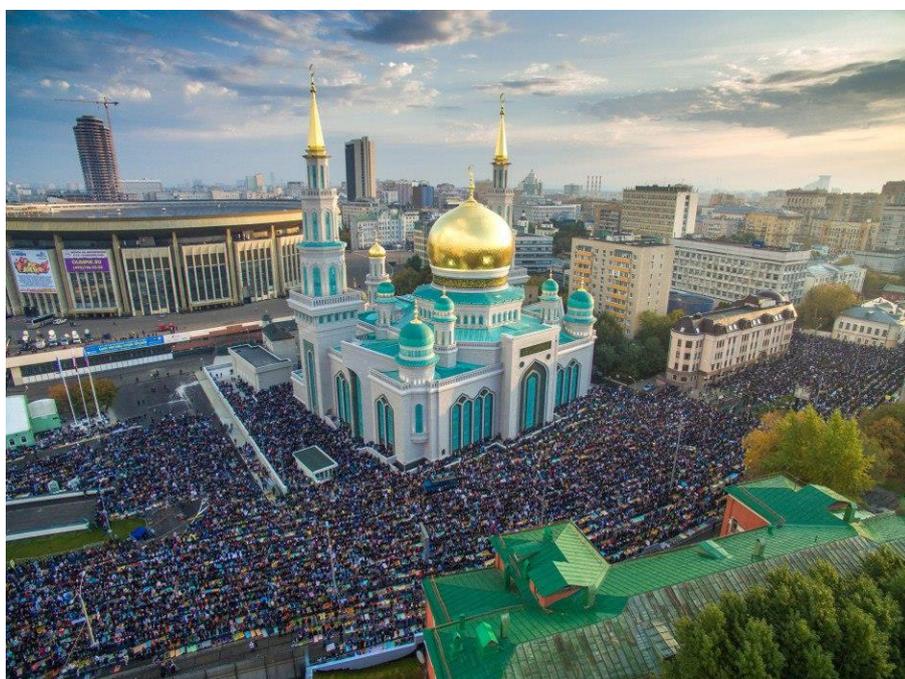


Рисунок 15 – Коллективная молитва в праздничный день

Минимальная необходимая площадь рассчитывается с учетом того, чтобы на улицу могли беспрепятственно выйти люди, находящиеся в холле мечети. Зная количество людей в холле, можно определить необходимую для них площадь на улице.

Для беспрепятственного выхода людей из молельного зала необходимо освободить холл мечети от находящихся там людей. Так как обычно вся прилегающая территория занята людьми (рис. 15), для этого необходимо предусмотреть на ней свободную от людей зону. Свободная зона принимается в виде прямоугольника со сторонами следующих размеров (рис. 16). Ширина прямоугольника равна удвоенной суммарной ширине проемом ($c = 2 b_{\text{вых}}$), а длина определяется из выражения (12) при известном количестве человек в холле:

$$a = \frac{N_{холл}}{4b_{вых}}, \quad (12)$$

или в зависимости от площади холла (13):

$$a = \frac{F_{холл}}{2,8b_{вых}} \quad (13)$$

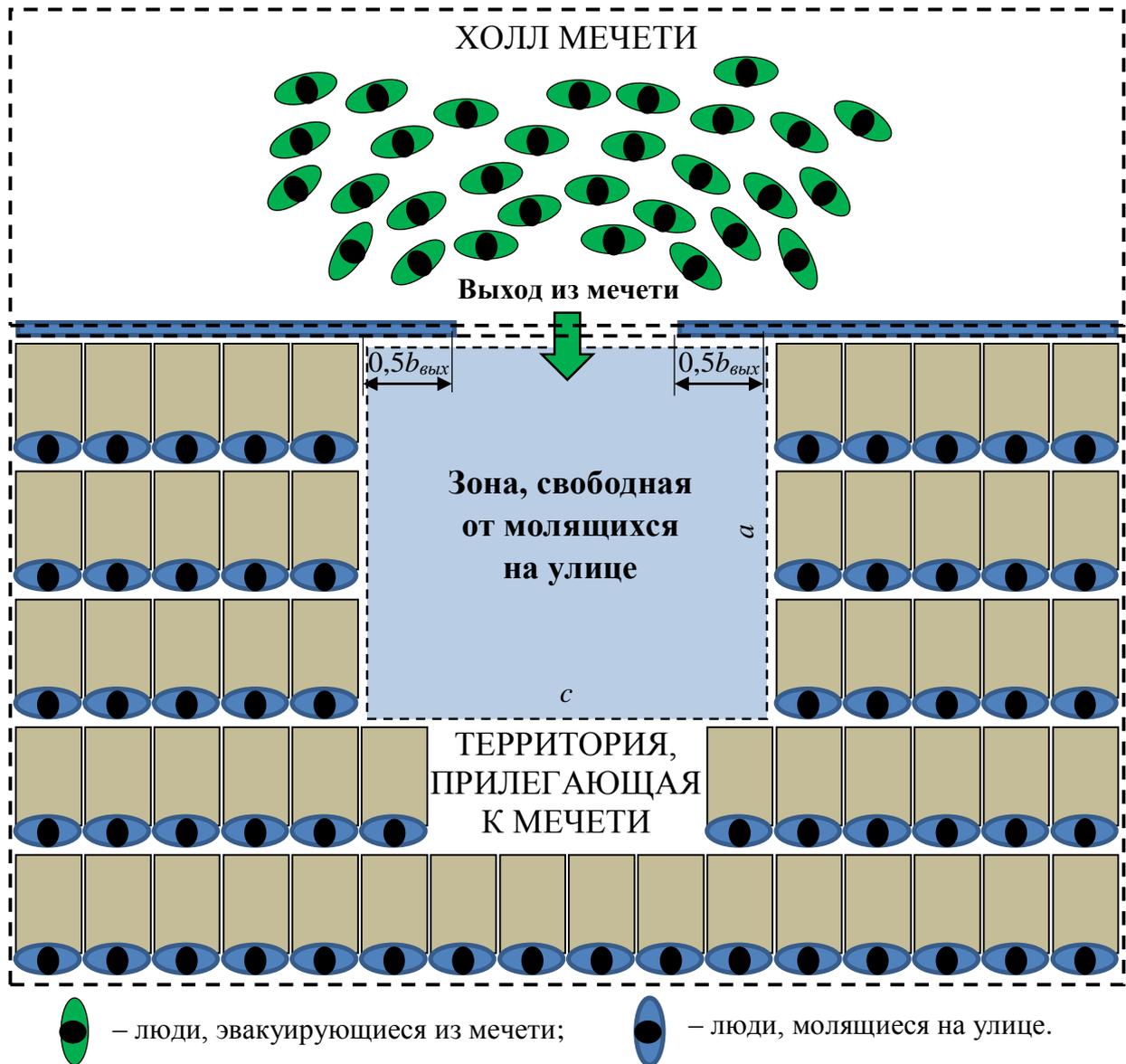


Рисунок 16 – Размер свободной зоны на улице у выхода из мечети

Таким образом, в настоящей работе установлены не только необходимые для обеспечения безопасной эвакуации людей размеры эвакуационных путей и выходов, но и рассмотрены условия, необходимые для реализации возможности их использования в случае пожара.

В **заключении** сформулированы основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения настоящего исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертации определены исторические и функциональные особенности проектирования и строительства мечетей, учитывающие специфику богослужения религиозной деятельности ислама. Выявлена недостаточность и противоречивость нормирования размеров эвакуационных путей и выходов в мечетях. Показано, что системы автоматического пожаротушения и противодымной защиты не учитывают особенности основного функционального континента и не защищают в должной мере пути эвакуации в случае пожара.

2. Установлено, что несмотря на большой объем исследований, проведенных научной школой «Теория движения людских потоков», рассматривающей движение людских потоков в зданиях различного назначения, работ, посвященных движению людей в объектах религиозного назначения мусульман, выполнено не было. Более того, не обнаружено и опубликованных исследований в этой области в зарубежных литературных источниках.

3. Натурные наблюдения показали, что отличительной особенностью мечетей, по сравнению со зданиями другого функционального назначения, является низкое время начала эвакуации людей, которое составляет в среднем 4,5 с. Это означает, что движение людей к выходам начинается практически одновременно, поэтому в мечетях в процессе эвакуации нагрузка на эвакуационные выходы будет максимальной.

4. На основе данных видеонаблюдений определен расчетный состав людского потока по полу и возрасту. Анализ показал, что в основном мечети посещают мужчины трудоспособного возраста (более 95 %), имеющие высокую скорость эвакуации. Установлена связь площади и численности людей, что позволяет корректно определять количество прихожан в мечетях для решения задач пожарной безопасности.

5. На основании 1 032 замеров параметров людского потока в мечетях сформирована статистическая база параметров, характеризующих движение людей в мечетях, и определены психофизические закономерности связи между ними при движении по горизонтальным путям, через дверные проёмы, а также по лестнице вниз. Установлены закономерности связи между скоростью свободного движения прихожан и их эмоциональным состоянием.

6. Для каждой из характерных зон мечети установлены критерии для обеспечения безопасной эвакуации людей: для молельного зала – беспрепятственность, а для входной группы (холла) – своевременность эвакуации. Совокупность полученных в работе данных позволила решить проблему нормирования размеров эвакуационных путей и выходов, причем размеры эвакуационных выходов рекомендовано назначать пропорционально ширине человека в плечах.

7. На основе результатов данного исследования разработан комплекс требований к системам пожарной автоматики, размерам эвакуационных путей и выходов и организации процесса эвакуации для снижения риска гибели и травмирования людей в случае пожара.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. Шахуов, Т.Ж. Особенности процесса эвакуации из мусульманских культовых зданий [Электронный ресурс] / Д.А. Самошин, Т.Ж. Шахуов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – Вып. 5 (63). – С. 35–43. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/33-05-15.ttb.pdf>.

2. Шахуов, Т.Ж. О составе людского потока и вместимости мечети для оценки безопасности эвакуации [Электронный ресурс] / Т.Ж. Шахуов, Д.А. Самошин // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – Вып. 5 (69). – С. 35–43. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/10-05-16.ttb.pdf>.

3. Шахуов, Т.Ж. Исследование времени начала эвакуации людей в мечетях [Текст] / Шахуов Т.Ж., Самошин Д.А. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 1. – С. 20–24.

4. Шахуов, Т.Ж. Зависимости между параметрами людских потоков при эвакуации из мечетей [Текст] / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, Т.Ж. Шахуов // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 5. – С. 54–65. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.54-65.

Остальные публикации по теме диссертации:

5. Шахуов, Т.Ж. Влияние эмоциональной напряженности при возникновении опасной ситуации на скорость эвакуации людей [Текст] / Т.Ж. Шахуов, Д.А. Самошин // Материалы 23-й международной научно-технической конференции: Системы безопасности – 2014. – М.: Академия ГПС МЧС России 2014. – С. 363–366.

6. Шахуов, Т.Ж. Проблемы безопасной эвакуации из зданий мечетей при пожарах [Текст] / Д.А. Самошин, Т.Ж. Шахуов // Материалы 24-й международной научно-технической конференции: Системы безопасности – 2015. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 150–153.

7. Шахуов, Т.Ж. Установление связи площади и численности людей в мечети [Текст] / Т.Ж. Шахуов // Сборник статей и материалов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Секция 3 – 2016. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016. – С. 287–289.

8. Шахуов, Т.Ж. Результаты исследования процесса эвакуации людей из мусульманских культовых зданий [Текст] / Т.Ж. Шахуов, Д.А. Самошин // Материалы 5-й международной научно-практической конференции: Ройтмановские чтения – 2017. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 111–114.

9. Шахуов, Т.Ж. Нормирование размеров эвакуационных выходов из зданий мечетей [Текст] / Т.Ж. Шахуов // Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2017. – С. 23–28.

Подписано в печать 13.03.2019. Формат 60x84^{1/16}.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № 127.

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