

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**Академия Государственной противопожарной службы**

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)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Самошин Дмитрий Александрович

Москва – 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                  | 4  |
| ГЛАВА 1. ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТРЕБОВАНИЯ,<br>ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРОЦЕССУ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ...                                         | 11 |
| 1.1 История формирования культовых сооружений в религии ислам .....                                                                             | 11 |
| 1.2 Особенности проектирования путей эвакуации в мечетях .....                                                                                  | 19 |
| 1.3 Теория движения людских потоков как инструмент нормирования<br>размеров путей эвакуации .....                                               | 25 |
| 1.4 Выводы по первой главе .....                                                                                                                | 37 |
| ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ<br>ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ .....                                                              | 38 |
| 2.1 Обстановка с пожарами в религиозных зданиях мусульман .....                                                                                 | 38 |
| 2.2 Особенности функционирования религиозных зданий мусульман .....                                                                             | 41 |
| 2.3 Исследование времени начала эвакуации ( $t_{н.э.}$ ) людей в мечетях .....                                                                  | 44 |
| 2.4 Выводы по второй главе .....                                                                                                                | 55 |
| ГЛАВА 3. ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ<br>И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МЕЧЕТЯХ .....                                                     | 56 |
| 3.1 Исследование демографического состава прихожан в мечетях .....                                                                              | 56 |
| 3.2 Организация и методика проведения натурных наблюдений<br>за движением людских потоков в мечети .....                                        | 57 |
| 3.3 Закономерности влияния эмоционального состояния<br>на скорость свободного движения прихожан в мечетях .....                                 | 71 |
| 3.4 Выводы по третьей главе .....                                                                                                               | 80 |
| ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ<br>ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ<br>ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ВЫХОДОВ ..... | 81 |
| 4.1 Выбор критериев безопасной эвакуации для различных<br>функциональных зон мечетей .....                                                      | 81 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 Установление связи площади с численностью<br>функционального контингента в мечетях..... | 93  |
| 4.3 Определение ширины эвакуационных выходов на основании<br>полученных данных .....        | 98  |
| 4.4 Выводы по четвертой главе .....                                                         | 105 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                            | 107 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                     | 109 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ. Акты внедрения результатов исследования .....                                   | 121 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время религия ислам считается одной из основных мировых религий. По некоторым оценкам, в настоящее время насчитывается порядка 1,8 млрд мусульман, т. е. около 24 % населения Земли [1]. Для такого количества верующих требуется большое количество специализированных культовых зданий – мечетей. В последние годы в Российской Федерации строится все больше мечетей и за последние 30 лет их количество возросло более чем в 70 раз [2].

На сегодняшний день обеспечению пожарной безопасности на объектах религиозного назначения мусульман необходимо обратить особое внимание, так как данные объекты представляют собой места с массовым нахождением людей всех возрастов (от детей до людей пожилого возраста), а также различных групп мобильности. В мире существуют такие мечети, которые способны вмещать около миллиона человек.

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. Рассмотрим отличия зданий подобного типа 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 обувающихся снижается пропускная способность участков пути. *Во-вторых*, в случае наступления пожара или стихийного бедствия, начатая коллективная молитва будет завершена верующими только по окончании молитвы имамом (руководящий молитвой человек). *В-третьих*, не вставившиеся 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 культовые объекты выделены в отдельный класс по функциональной пожарной опасности. Но несмотря на то, что статья 32 [3] дополнена подпунктом ж) Ф 3.7 – объекты религиозного назначения, требования к эвакуационным путям и выходам из помещений культового назначения мусульман отсутствуют. С 1 января 2017 года введен в действие СП 258.1311500.2016 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности», но 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 применить значения размеров эвакуационных выходов в мечетях.

Оценка систем противопожарной защиты людей в сооружениях и зданиях показывает, что обеспечение безопасности людей при пожарах достигается, прежде всего, организацией беспрепятственной и своевременной эвакуации, которая диктует необходимые для этого размеры эвакуационных путей и выходов.

**Степень разработанности темы исследования.** Анализ эмпирической базы показывает большой объем проведенных отечественных и зарубежных исследований, рассматривающих движение потоков людей в зданиях различного назначения (Беляев С.В., Милинский А.И., Предтеченский В.М., Копылов В.А., Дувидзон Р.М., Калинин В.А., Холщевников В.В., Григорьянц Р.Г., Доценко А.Г.,

Буга П.Г., Гвоздяков В.С., Алексеев Ю.В., Фелькель Х., Еремченко М.А., Овсянников А.Н., Айбуев З.С.-А., Никонов С.А., Исаевич 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 было. Работы отечественных авторов (Таранцев А.А., Шидловский Г.Л., Матвеева Н.П.) рассматривают некоторые особенности процесса эвакуации из религиозных зданий, но они касаются православных храмов. Международный нормативный документ ISO/TR 16738:2009 «Технический отчет. Пожарная безопасность в строительстве. Технические данные о методах оценки поведения и движения людей» также необходимых данных не содержит.

Таким образом, на сегодняшний день ни в Российской Федерации, ни в других странах мира не изучены параметры, описывающие процесс эвакуации из мусульманских культовых зданий с учётом психофизиологических возможностей функционального контингента. В этой связи, невозможно обоснованно нормировать размеры эвакуационных путей и выходов, а также оценивать безопасность эвакуации прихожан в случае пожара.

Имеющаяся сегодня методология исследования поведения людей на всех этапах эвакуации, созданная в России, позволяет оценить риск гибели людей в начальной стадии пожара, имеет сформированную методологическую основу для проектирования путей эвакуации в зданиях различного назначения и функционирования автоматической системы противопожарной защиты, которой они оборудуются. В связи с этим возникает необходимость в дальнейших исследованиях поведения прихожан при эвакуации в мечетях и в доработке на основе полученного анализа рекомендаций, направленных на уменьшение риска их гибели при пожаре.

Нахождение одновременно большого количества людей в пределах одного здания, ограниченной плотности, особенное состояние людей в этот момент, особенности богослужения, которые в целом усложняют процесс эвакуации, все это говорит об актуальности настоящего исследования.

Оценка состояния проблемы позволила сформулировать **цель исследования** – установление расчётных величин, необходимых для нормирования требований к эвакуационным путям и выходам в мечетях на основании исследования времени начала эвакуации и выявления 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 расчётный 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 потоков людей при эвакуации из мечетей в случае пожара и выявить зависимости между ними;
5. На основе многовариантного анализа процесса эвакуации разработать требования к объёмно-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, которые определяют 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. Собрана совокупность значений скорости движения смешанных потоков в мечетях в различных интервалах плотности для всех видов коммуникационных путей;

4. Установлены параметры случайной функции, которая описывает зависимость скорости от плотности людей при их движении по горизонтальным путям, по лестнице вниз, через дверные проемы в мечетях, а также значения, входящих в неё величин  $a$  и  $D_0$ ;

5. Определены значения скоростей свободного движения  $V_0$  прихожан в потоке по различным видам пути в зависимости от их эмоционального состояния и установлены на их основе категории движения.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в:

- использовании выявленных закономерностей движения потоков людей при назначении размеров эвакуационных выходов, обеспечивающих выполнение условий безопасной эвакуации в мечетях;

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

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

**Методология и методы исследования.** Обработка экспериментальных данных производилась методами теории вероятности и математической статистики, которые реализованы в работе при помощи программ «*IBM SPSS Statistic 2017*» и «*AteStat 12.6*». Моделирование наступления времени блокирования в мечетях проводилось с использованием программно-вычислительного симулятора *Fire Dynamic Simulator (FDS)*, реализуемый дифференциальную (полевую) 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;
- установлена зависимость скорости свободного движения прихожан от влияния их эмоционального состояния;
- 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 натурных 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 полученных эмпирических данных для получения максимально репрезентативной выборочной совокупности;
- методологии теории людских потоков, которая учитывает психофизические особенности основного функционального контингента;
- высоких корреляционных связей между экспериментальными данными и установленными зависимостями.

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, д. 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 строительства».

**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.

# ГЛАВА 1. ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРОЦЕССУ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ

## 1.1 История формирования культовых сооружений в религии ислам

Главные культовые здания ислама – мечети – служат местом для молитвы, где верующие, расположившись длинными рядами, обращают лик к «святым местам» ислама. Мечеть, подобно церкви, является местом для собраний, но ее главная ось имеет поперечное направление: вместо того, чтобы простираться в длину, она разворачивается в ширину, потому как особое значение уделяется количеству людей в ряду во время молитвы и этот факт, независимо от различия в стиле, придает мечети своеобразие, отличающее ее от памятников других конфессий [4].

На сегодняшний день решений архитектурных композиций мечетей достаточно много, и они не всегда схожи между собой. Однако проектирование всех таких зданий подчиняется общим правилам, учитывающим специфику богослужения религиозной деятельности ислама. Это указывает на необходимость изучения практики формирования и строительства мечетей и определения истинных архитектурных канонов при проектировании этого типа зданий. Только после этого можно производить исследования, связанные с пожарной безопасностью прихожан, учитывая все особенности мусульманского зодчества.

Для осуществления поставленной задачи необходимо обратиться к истории, к созданию первых молитвенных сооружений. Как уже отмечалось выше, сегодня существуют такие мечети, которые способны вмещать более миллиона человек (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Данные о крупнейших мечетях в мире

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

Главной особенностью при строительстве культовых зданий в исламе во все времена было и остается такое расположение мечетей, чтобы молящиеся были направлены при молитве в сторону Каабы (мусульманская святыня в виде кубической постройки) в г. Мекка в Саудовской Аравии. Направление, которое соблюдается всеми мусульманами при ежедневных молитвах в исламе, именуется Кибла. Это положение является обязательным условием для мечетей. Поэтому в композиции городской постройки мечети всегда располагаются так, чтобы стена молельного зала, лицом к которой верующие обращены при молитве, была расположена перпендикулярно направлению на Мекку. Соответственно, главный выход расположен с противоположной стороны мечети, вне зависимости от симметрии городских построек. Исходя из этого, определяется направление выходящего людского потока в случае пожара в мечети. Важно при этом не проектировать мечети вблизи сооружений и зданий с массовым пребыванием людей (спортивные сооружения, театры, концертные залы и т.п.), там, где людские потоки в случае деструктивного события могут пересечься.

Первой мечетью принято считать сооружение, построенное в 622 году в городе Медине в Аравии, которое представляло собой опирающуюся на колонны кровлю. Именно это примитивное сооружение послужило прообразом сегодняшних мусульманских храмов, со своими особенностями и правилами.

После того, как мусульмане захватили Мекку, в каждой последующей строящейся мечети в стене устанавливалась ниша, именуемая михрабом, которая обозначала направление на главную мечеть города Мекки, т.е. направление, куда необходимо обратить взор молящимся. Михраб является неотъемлемым элементом современных мечетей.

У стены, где находился михраб, как правило, с правой стороны от него располагался еще один структурный элемент мечети – минбар (кафедра), откуда имам (человек, руководящий молитвой) произносил проповеди в определенные дни (рисунок 1.1). Данная практика соблюдается и в настоящее

время. Применительно к пожарной безопасности, минбар может служить местом, откуда имам может руководить эвакуацией в молельном зале.

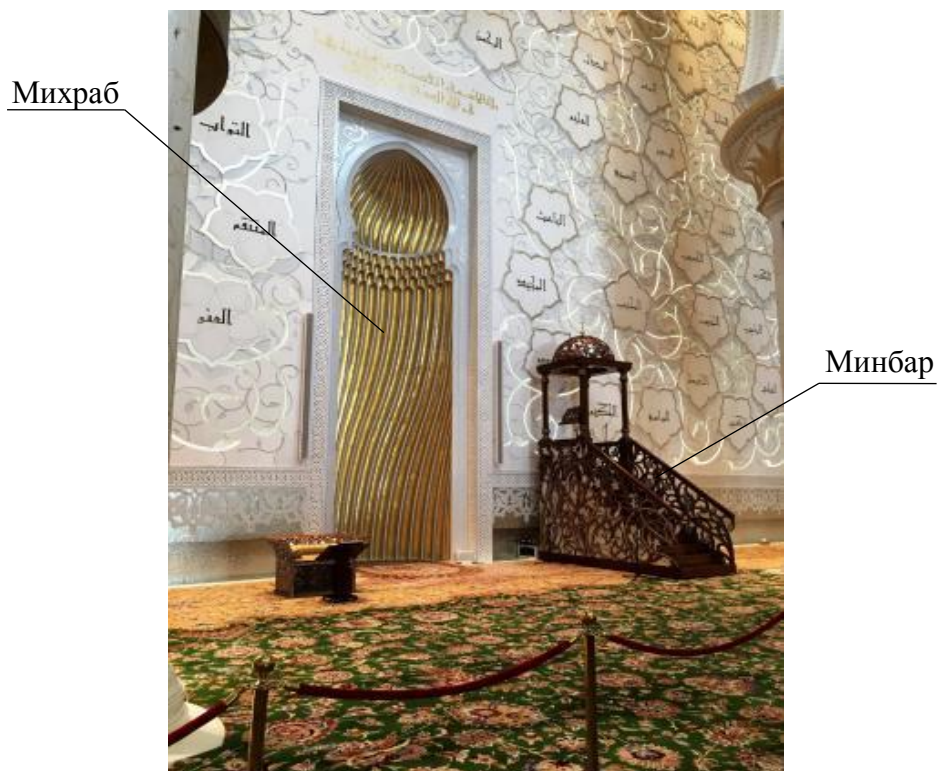


Рисунок 1.1 – Пример расположения михраба и минбара в мечети [5]

Говоря о михрабе (нише), следует обозначить, что на нынешнем этапе развития в ряде случаев он обретает сакральное значение, схожее с тем, которое несет алтарь в церкви. Земля под мечетью не считается священной, религиозные свойства несет михраб.

Начиная со второй половины VII века, в молельных залах мусульман возник новый элемент интерьера – максура. Это специально огороженная часть в молитвенном зале для отделения правителя или других высокопоставленных лиц от других людей, с целью защиты их от возможного нападения врага. Со временем максура потеряла свое функциональное назначение. Сейчас во внутреннем убранстве мечетей максура применяется очень редко и ей называют любую огороженную часть молитвенного зала, где совершают молитву уважаемые люди (как правило, граждане престарелого возраста) (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Пример максуры в современной мечети

В VII веке, когда мусульманское зодчество берет свое начало, уже вполне сложились архитектурные традиции Византии, где была широко распространена церковная архитектура, которая, безусловно, отложила свой отпечаток на мусульманском искусстве.

История знает случаи превращения церквей в мечети. Подобное произошло с церковью Святой Софии, расположенной в Константинополе (ныне Стамбул). План данного грандиозного сооружения использовался и в дальнейшем при строительстве мечетей (рисунок 1.3).

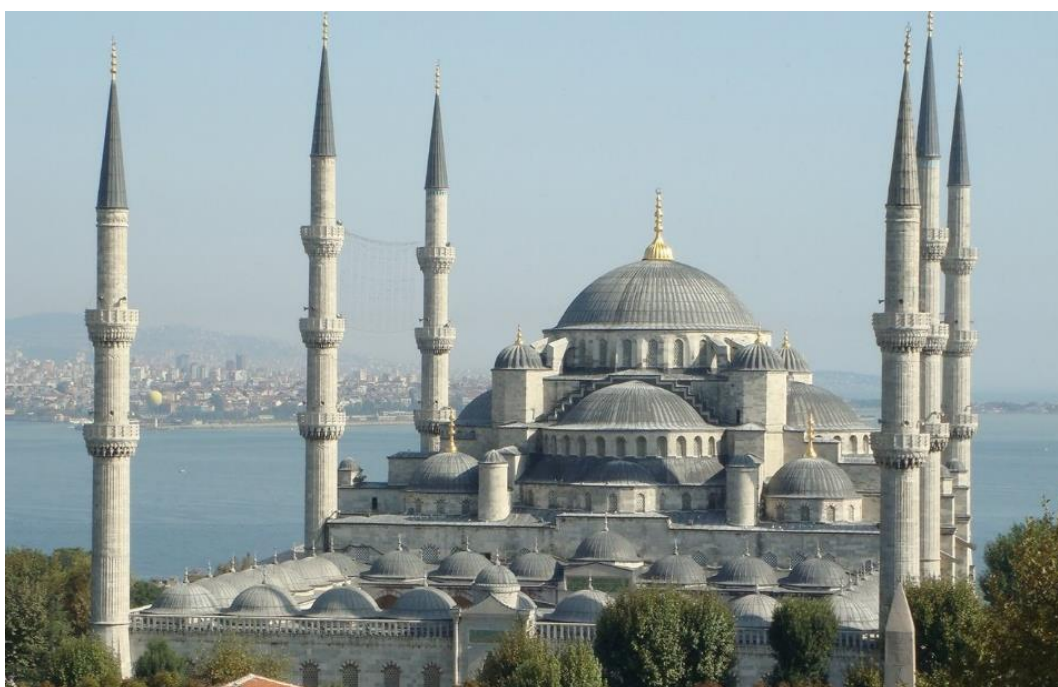


Рисунок 1.3 – Мечеть султана Ахмеда (Голубая мечеть) в Турции [6]

В XII веке строительным приемом стали купола конической формы, которые и сейчас широко распространены при строительстве мусульманских храмов (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Купол мечети с большим диаметром [7]

Важным составляющим компонентом мечетей, придающим уникальность и узнаваемость мусульманским храмам, является минарет. Необходимость его возведения была обусловлена тем, что призыв на молитву специальными лицами требовал наличия возвышенного места.

В архитектуре мусульманских культовых сооружений того времени прослеживалось явное превосходство одних минаретов над другими, они возвышались над городскими постройками и привлекали взор своей красотой.

Второстепенной функцией минаретов являлось использование их в военных целях. Конструкция башни позволяла использовать ее в качестве смотровой площадки, откуда на большом расстоянии можно было увидеть врага. Оборонительная функция минаретов некоторых мечетей диктовала особую форму их постройки (рисунок 1.5). Стены имели зубчатые вершины, а узкие прорезные окна и машикули (навесные бойницы, находящиеся в верхней части башен, для вертикального обстрела противника при его штурме,

сбрасывания камней и т.п.) позволяли лучникам занимать удобные оборонительные позиции [8].



Рисунок 1.5 – Минарет Кутубиа в Марракеше (Марокко) [9]

Минареты также служили ориентиром на местности. В средневековье в однообразности городской постройки человек мог легко увидеть их высокие башни, которые были единственными выделяющимися элементами архитектурной среды. Об этом упоминается в работе [10].

На сегодняшний день функции минаретов несколько отличаются от первоначального предназначения: призыв на молитву производится с установленных на них громкоговорителей. Но и в этом постепенно отпадает необходимость, потому как люди самостоятельно ориентируются на время по наручным часам, либо используют специальные приложения в гаджетах.

Рассматривая современные архитектурные сооружения ислама, можно говорить о том, что минареты сейчас выступают в основном в качестве мощного композиционного элемента для узнаваемости образа культового сооружения.

Современные архитекторы, преобразуя многовековой опыт строительства мечетей, достигли высокого мастерства в возведении культовых зданий ислама,

где купола достигают в диаметре десятков метров, а минареты сопоставимы с высотными зданиями.

Культура народа также налагала отпечаток на образы культовых сооружений. Особенностью архитектуры Среднего Востока стали айванные мечети, представляющие собой большие сводчатые залы, с трех сторон обнесенные стеной и открытые с четвертой стороны (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Мечеть айванного типа в Кашане [11]

На формообразование мечетей также оказывали влияние климатические условия местности. Например, в Объединенных Арабских Эмиратах, Аравии, Азии, Африке, Катаре и в других странах климат жаркий, и большую популярность имеют открытые дворы.

Сопоставляя ранние мечети с современными, примечательно то, что в первых мечетях преобладало горизонтальное направление. Другими словами, мечети имели плоскостную форму, когда габариты длины и ширины значительно превышают высоту здания. В большинстве же современных российских и казахстанских объектов мусульманского толка архитектурная композиция устремлена вверх: архитектурный объем вытянут и развивается ввысь, плоская форма первых мечетей практически полностью отсутствует. Нет нарастания архитектурной массы к михрабу. Здание центрично, архитектурное

тело имеет симметрию, купол не высится над михрабом. Примером может служить мечеть имени Машхура Жусупа в Павлодаре, Республика Казахстан (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Мечеть имени Машхур Жусупа в Павлодаре [12]

Можно предположить, что применение такого архитектурного приема в композиции сооружения будет влиять на поведение опасных факторов пожара в мечетях, и позволит им распространяться вверх за счет развитого по вертикали пространства, что увеличит время блокирования путей эвакуации.

Однако эти критерии, обозначенные выше не являются канонами для проектирования мечетей. В вопросах формообразования мечетей влияние сохранившихся традиций выходит на первый план, которые также меняются с со временем.

Рассмотрение вопросов образования и развития композиционных основ мечетей, необходимых для понимания возникновения отдельных обязательных их элементов, дает возможность выбора обоснованных направлений для решения задач пожарной безопасности.

## 1.2 Особенности проектирования путей эвакуации в мечетях

Рассмотрение основополагающих источников мусульманского права показывает, что основными местами, где совершаются молитвы, являются мечети. Сегодня главными мечетями города считаются соборные мечети, способные вместить наибольшее количество прихожан. Они представляют собой сооружения огромных размеров, обладающих, как правило, целым комплексом помещений, реализующих и обеспечивающих основной функциональный процесс здания. Мечети такого размера хорошо заметны в панораме города. Для всех сотен и тысяч посетителей мечети необходимо обеспечить не только комфортные условия (освещение и микроклимат, ровный пол и чистое ковровое покрытие, хорошую акустику и слышимость голоса имама и т.п.), но и безопасность в случае пожара, обеспечиваемую эвакуационными путями и выходами.

Ряд особенностей пространственной организации мечетей оказывает существенное влияние на эвакуационные пути и выходы. Так, при проектировании мечетей, в частности молитвенного зала, необходимо учитывать вопросы организации в них коллективной молитвы женщин вместе с мужчинами. Для обеспечения полной зрительной изоляции одних от других используются отдельные пути эвакуации.

В исламской религии для осуществления молитвы необходимо совершить ритуал омовения, необходимый для пребывания верующего в чистоте. Это требование стало основанием для формирования специальных комнат или участков для омовения при мечети, что по сей день является неотъемлемой ее частью. Также в числе помещений мечетей предусматривается комната для имама, имеющая коммуникационную связь с передней частью молитвенного зала, что обеспечивает возможность имаму занять свое место во время начала молитвы или проповеди, не перешагивая через ряды прихожан. Особую сложность представляет эвакуация из высотной части мечети – минарета, но, как правило, там предусмотрены лишь одиночные рабочие места.

Следует также отметить, что главные входы (которые будут эвакуационными выходами в случае ЧС) в молитвенные залы располагаются, как правило, с противоположной стороны относительно направления молитвы.

В качестве примера следует рассмотреть один из самых распространенных типов мечети в мире – османский (рисунок 1.8).

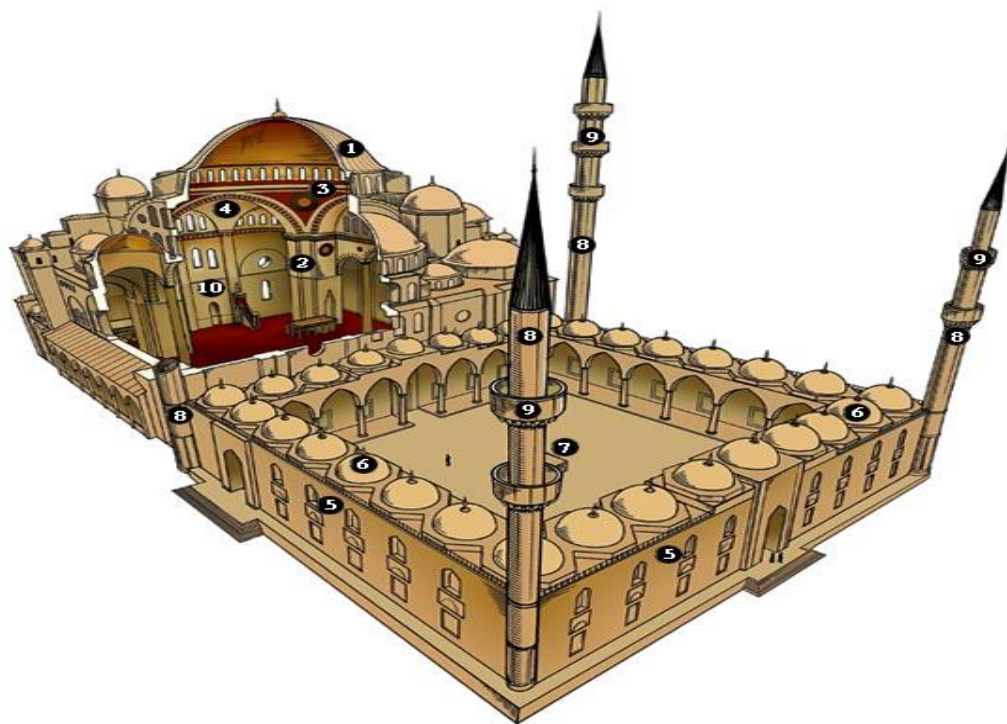


Рисунок 1.8 – Мечеть Сулеймание в Стамбуле [13],  
составными элементами которой являются:

- 1 – купол; 2 – опорные столбы; 3 – «паруса» (основание купола);
- 4 – полукупола; 5 – крытая галерея; 6 – малые купола;
- 7 – декоративный фонтан; 8 – минареты; 9 – балконы; 10 – михраб

Основным способом обеспечения пожарной безопасности людей является их беспрепятственная и своевременная эвакуация. Видимым признаком потенциальной сложности процесса эвакуации является то, что после окончания коллективных молитв даже в нормальных условиях перед выходами из молельного зала образуются скопления людей с высокой плотностью. Основной причиной является недостаточная пропускная способность эвакуационных выходов. Побочными же причинами являются нерациональное расположение обувных полок, ящиков для сбора пожертвований, а также

другие особенности, касающиеся как внутреннего убранства мечетей, так и религиозной практики мусульман.

Статистическая информация о количестве погибших людей на пожаре в России за 2009–2014 годы в зданиях религиозных объединений, отраженная Департаментом надзорной деятельности МЧС России, приведена в таблице 1.2 и на рисунке 1.9.

Таблица 1.2 – Основные показатели обстановки с пожарами в Российской Федерации за 2009–2014 гг. в зданиях религиозных объединений

| Исследуемый показатель    | Год  |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Количество пожаров, ед.   | 123  | 122  | 110  | 83   | 92   | 75   |
| Количество погибших, чел. | 2    | 2    | 5    | 4    | 1    | –    |

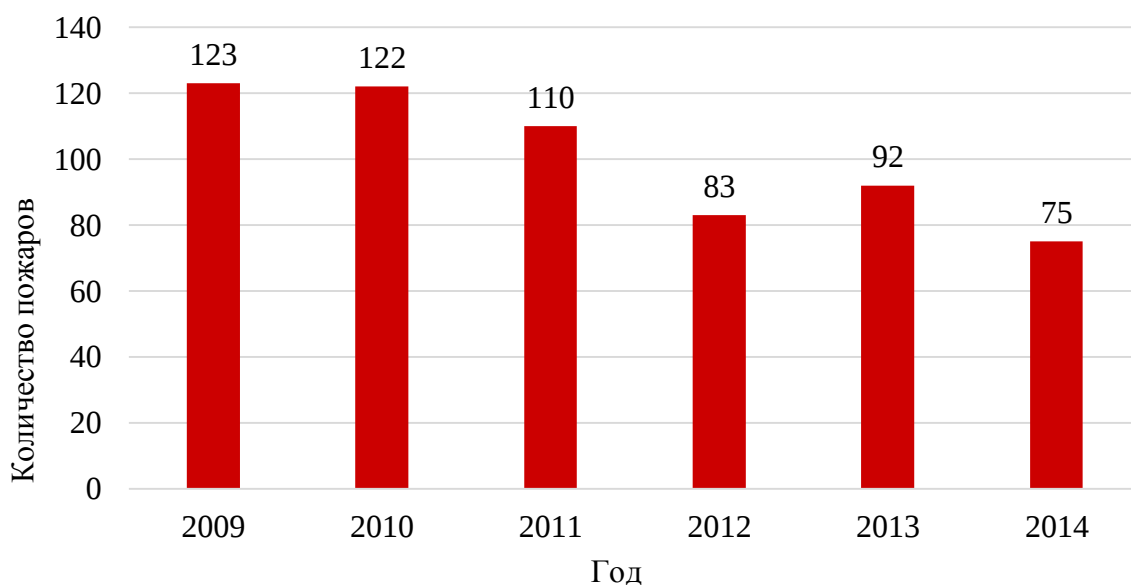


Рисунок 1.9 – Количество пожаров в зданиях религиозного назначения в России за 2009–2014 годы

Несмотря на явную потенциально высокую опасность мест с таким массовым скоплением людей, здания религиозного назначения, в том числе мусульманские, можно сказать «выпали» из противопожарного нормирования. Лишь благодаря вступившему в силу Федеральному закону от 29.07.2017 г. № 244-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”», в

статью 32 добавлен новый класс пожарной опасности «ж) Ф3.7 – объекты религиозного назначения». Но несмотря на это, требования к проектированию эвакуационных путей и выходов из зданий культового назначения мусульман не проработаны в достаточной степени.

Основополагающий документ в области проектирования путей эвакуации – СП 1.13130.2009 [14] – не содержит конкретных требований к зданиям класса Ф3.7. Но с 1 января 2017 года введен в действие свод правил СП 258.1311500 «Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности» [15], где имеется раздел о требованиях к путям эвакуации и эвакуационным выходам. В таблицах 1.3 и 1.4 приведены данные СП 258.1311500 о суммарной ширине эвакуационных выходов. Анализ данных, приведенных в указанных таблицах, приводит к выводу об их противоречивости. Например, в молельном зале объемом до 5 тыс. м<sup>3</sup> в здании I степени огнестойкости класса С0, суммарная ширина выходов должна быть  $1000/75 = 13,3$  м. Если этот молельный зал размещен на втором этаже здания, то суммарная ширина марша лестниц должна быть  $1000/165 = 6,0$  м. Таким образом, в лучшем случае (с точки зрения пожарной безопасности) будет избыточная ширина лестниц, а в худшем – их недостаточная ширина. В связи с этим совершенно не ясно, какая из этих двух цифр является корректной.

Таблица 1.3 – Нормируемая СП 258.1311500 суммарная ширина эвакуационных выходов из молельного зала [15]

| Степень огнестойкости здания | Класс конструктивной пожарной опасности здания | Количество людей на 1 м ширины эвакуационного выхода, чел., в залах объемом 10 м <sup>3</sup> |            |       |
|------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|
|                              |                                                | до 5                                                                                          | от 5 до 10 | от 10 |
| I, II                        | С0                                             | 75                                                                                            | 100        | 125   |
| II<br>III                    | С1<br>С0, С1                                   | 50                                                                                            | 70         | –     |
| IV                           | С0, С1                                         | 50                                                                                            | –          | –     |
| IV<br>V                      | С2–С3<br>С1–С3                                 | 40                                                                                            | –          | –     |

Таблица 1.4 – Нормируемая СП 258.1311500 суммарная ширина маршей лестничных клеток [15]

| Степень огнестойкости здания | Класс конструктивной пожарной опасности здания | Количество людей на 1 м ширины эвакуационного выхода, чел. |
|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| I, II                        | C0                                             | 165                                                        |
| II<br>III                    | C1<br>C0, C1                                   | 115                                                        |
| IV<br>V                      | C0, C1, C2, C3<br>C1, C2, C3                   | 80                                                         |

В нормативном документе [15] также приводятся данные о необходимом времени эвакуации из молельных залов. По всей видимости, это подразумевает, что размеры эвакуационных путей и выходов нормируются на основе такого критерия как своевременность. Однако ранее выполненный анализ объемно-планировочной структуры рассматриваемой группы показал, что в молельных залах мечетей, за счет объемного подкупольного пространства, время блокирования путей эвакуации будет иметь достаточно высокие значения, поэтому нормировать ширину эвакуационных выходов следует исходя из критерия беспрепятственности. Этот критерий будет напрямую зависеть от времени начала эвакуации людей и параметров людского потока, которые требуют дополнительного исследования.

Разработчики СП 258.1311500, возможно, не ставили перед собой цель разработать дифференцированные требования к градостроительным объектам деятельности различных конфессий. Дело в том, что самым опасным местом в мечети будет не молельный зал, а входная группа, так как там находятся тысячи пар обуви (загромождение путей эвакуации), гардероб (высокая пожарная нагрузка), невысокие потолки (быстрое блокирование путей эвакуации). Кроме того, на территории мечетей находится большое количество людей, что обуславливает снижение пропускной способности эвакуационных выходов из здания.

Еще одной проблемой является то, что не нормируется длина пути эвакуации для «задымляемых» лестничных клеток. Очевидно, что дойдя до лестничной клетки, люди не попадают в безопасную зону, а лишь переходят на

очередной участок движения, где они также уязвимы к воздействию опасных факторов пожара.

Основной системой, направленной на ограничение распространения пожара и защиту путей эвакуации от опасных факторов пожара, является автоматическая система пожаротушения. Однако в СП 5.13130.2009 [16] говорится, что культовые здания и комплексы оборудоваться такой системой не должны.

На наш взгляд, обеспечение молельных залов мечетей автоматическими установками пожаротушения нецелесообразно ввиду сложности монтажа и обслуживания данных систем в подкупольном пространстве, а также ввиду малой пожарной нагрузки в самих молельных залах. Но как же быть с холлами мечетей, пожарную безопасность в которых без внимания оставлять нельзя? В холлах мечетей скапливается большое количество людей, а также образуется высокая пожарная нагрузка за счет оставленной прихожанами обуви и одежды. Наличие в них такой системы является крайне необходимым.

Еще одной системой, направленной на защиту путей эвакуации, является система противодымной защиты, в том числе система удаления дыма. Однако ее применение вызывает ряд вопросов. Например, СП 7.13130.2009 [17] требует организации дымоудаления из помещений, описание которых соответствует молельным залам, а СП 258.1311500 [15] допускает для защиты молельных залов системы вытяжной противодымной вентиляции с естественным побуждением. Но в реальности даже в современных зданиях мечетей таких систем дымоудаления из молельных залов нет. Вторая группа помещений, откуда требуется удаление дыма – это коридоры без естественного проветривания в зданиях в 2 этажа и более. Но важно отметить, что в одноэтажных зданиях в таких коридорах дымоудаление не требуется.

Таким образом, можно говорить о том, что автоматические системы не учитывают особенности проектирования зданий, основного функционального континента и не защищают ни людей, ни пути эвакуации.

Ввиду несовершенства нормативной базы, отсутствия ясных требований к защите здания системами противодымной защиты и автоматическими установками пожаротушения и самое главное – отсутствия в нормативных документах обоснованных и логичных требований по нормированию эвакуационных путей и выходов из зданий мечетей, пожарная безопасность таких зданий не может быть гарантирована.

### **1.3 Теория движения людских потоков как инструмент нормирования размеров путей эвакуации**

Основоположником теории движения людских потоков по праву можно считать профессора С.В. Беляева [18, 19]. Он первым указал на связь плотности и скорости, хотя и опирался на небольшое количество замеров (около 200 данных), которые были проведены под его руководством. Результатом исследований явилось определение минимальных значений скоростей движений людских потоков, которые были характерны для нормальных условий эксплуатации зданий, и рекомендованы в качестве предельно возможных для аварийных ситуаций (пожара).

Работы М.Я. Ройтмана [20–23] были посвящены больше обобщению имеющихся данных и базировались на принципах профессора С.В. Беляева [18, 19]. Сам процесс вынужденной эвакуации людей был определен им тремя следующими этапами:

- вынужденная эвакуация людей из помещений, где они движутся несколько медленнее, чем в целом по зданию, особенно если это помещения с массовым пребыванием людей;
- вынужденная эвакуация людей из зданий по коридорам, лестничным клеткам, где люди движутся быстрее, чем в помещениях с массовым пребыванием людей;
- движение людей от эвакуационных выходов из зданий и их последующее рассеивание.

Более широким масштабом и совершенной методикой отличались от предыдущих работ исследования А.И. Милинского [24]. В данных исследованиях были изучены размеры людей, произведены замеры скорости движения и плотности потока людей по различным видам путей (горизонтальный, лестница вверх и вниз), проанализирована пропускная способность дверных проемов.

В ходе данных исследований произведено 2303 замера пропускной способности проемов и 3587 замеров скорости в различных интервалах плотности по различным участкам.

В исследовании А.И. Милинского [24] плотность потока людей рассматривалась как отношение количества человек (1.1) или суммы их горизонтальных проекций (1.2) к занимаемой ими площади. Последнее обстоятельство связано с тем, что исследования проводились в зданиях и сооружениях различного назначения, где состав людей, составляющих потоки, существенным образом отличался друг от друга [25, 26].

$$D = \frac{N}{b \cdot l}, \text{ чел/м}^2, \quad (1.1)$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^i N_i \cdot f_i}{b \cdot l}, \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (1.2)$$

где  $N_i$  – количество людей  $i$ -го типа в составе людского потока, чел. ( $i = 1 \dots n$ );

$b$  – ширина участка пути эвакуации, м;

$l$  – длина участка пути эвакуации, м;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м<sup>2</sup>.

Таким образом, формула (1.2) при определении плотности людского потока позволила учесть антропологические данные и влияние верхней одежды людей, формирующих эти потоки.

Несмотря на большой массив полученных результатов (рисунок 1.10), математического анализа данных не проводилось. В связи с этим не были выявлены объективные связи, закономерности и отношения, устанавливающие

сущность процесса движения людей. В данном направлении работу продолжил профессор В.М. Предтеченский.

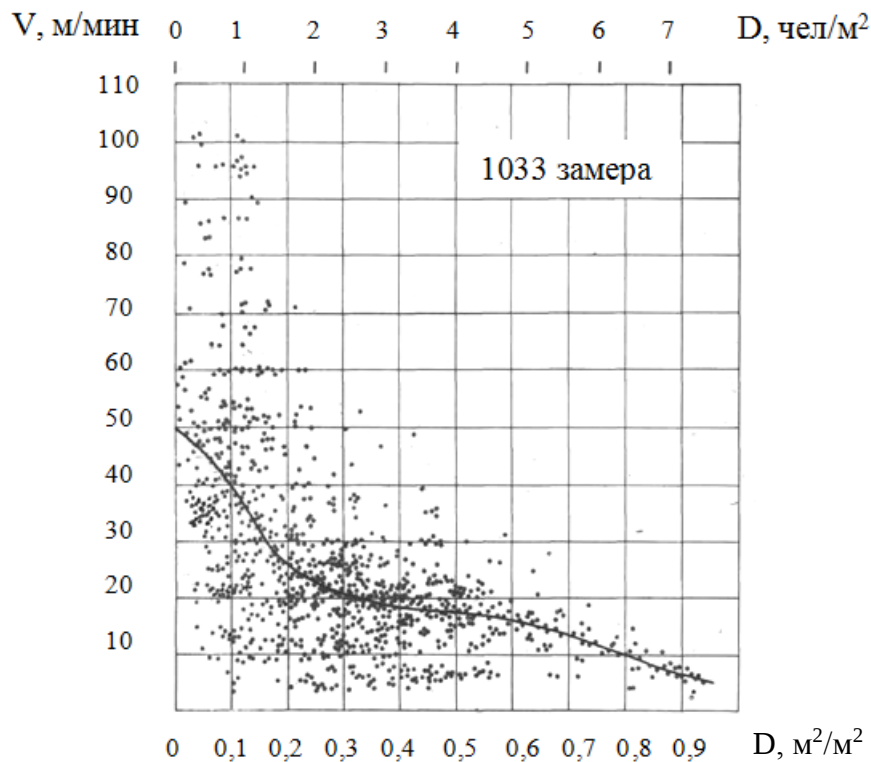


Рисунок 1.10 – Результаты замеров скоростей  
по горизонтальным путям в зданиях театров [24]

В работах [25, 26] проведены натурные наблюдения для выявления необходимых характеристик процесса движения людских потоков, а также конструирование соответствующих теоретических разработок с использованием известных математических методов.

При помощи визуального и фотокинометода исследователем были произведены натурные наблюдения, результатом которых явилось подтверждение достоверности эмпирических данных, полученных ранее и выявление некоторых необходимых характеристик процесса движения людских потоков. На основании этого была предложена классификация видов движения людей, установлены их расчетные случаи.

По мнению В.М. Предтеченского нормальное движение, как правило, протекает размеренно, без серьезных отклонений даже в таких случаях, когда плотность людского потока существенна, т.к. люди заранее имеют

представление о времени и цели своего маршрута. Даже такая ситуация, как падение человека, не дезорганизовало бы процесс движения в целом, а имело бы только локальный характер. Плотность людских потоков могла бы варьироваться, но обычно при таком виде движения она небольшая.

Комфортное движение является также разновидностью нормального движения, когда нет угрозы для жизни людей, и они находятся в спокойном психическом состоянии. Такое движение охарактеризовывает незначительная скорость при малых плотностях.

Аварийное же движение происходит, как правило, при повышенной психологической напряженности людей. Совершенно очевидно, что при возникновении угрозы для жизни людей повышается напряженность процесса эвакуации, люди стремятся как можно быстрее уйти от источника непосредственной опасности, а возникающие препятствия на пути могут привести к панике. Задержки движения приведут к переуплотнению потоков и возникновению механических воздействий (давления) людей друг на друга, что в результате может привести к физическим повреждениям.

Профессор В.М. Предтеченский предложил описывать зависимость скорости движения потока людей от плотности при нормальных условиях для горизонтального пути следующим эмпирическим выражением [25, 26]:

$$V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57. \quad (1.3)$$

Для перехода к эмпирическим зависимостям предлагалось выражение (1.3) умножить на коэффициент  $m$ , который определялся соответственно для дверного проема (1.4), лестницы вниз (1.5) и вверх (1.6, 1.7) по следующим формулам [26]:

$$m = 1,17 + 0,13 \sin(6,03D - 0,12); \quad (1.4)$$

$$m = 0,775 + 0,44e^{-0,39D} \sin(5,61D - 0,224); \quad (1.5)$$

$$m = 0,785 + 0,09e^{-3,45D} \sin(15,7D); \quad (1.6)$$

$$m = 0,785 - 0,10 \sin(7,85D + 1,57). \quad (1.7)$$

Применительно к лестнице вверх выражение (1.6) рекомендовано использовать при значениях плотности от 0 до 0,6 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а выражение (1.7) – при значениях плотности людского потока от 0,6 до 0,92 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

При переходе к иным видам движения (комфортному и аварийному) использовался коэффициент условий движения  $\mu$ , на который умножается значение скорости людского потока.

При нормальном условии движения  $\mu = 1$ ; при аварийном условии движения  $\mu_a > 1$ , при комфортном условии движения  $\mu_k < 1$ . Для горизонтального пути и дверного проема при значениях плотности от 0 до 0,92 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> значение  $\mu_a$  и  $\mu_k$  меняется по следующему закону [26]:

$$\mu_a = 1,49 - 0,36 D; \quad (1.8)$$

$$\mu_k = 0,63 + 0,25 D. \quad (1.9)$$

При движении по лестнице вниз значение коэффициента принимается  $\mu_a = 1,21$ ,  $\mu_k = 0,76$ , по лестнице вверх – значения  $\mu_a = 1,26$ ,  $\mu_k = 0,82$  [26].

Также была исследована величина интенсивности движения практически одновременно для всех участков пути при эвакуации. В процессе натурных наблюдений была выявлена зависимость изменения на путях эвакуации параметров движения людских потоков на границах смежных участков от ширины и вида пути, что в подобной практике исследовано впервые. Для того чтобы определить параметры движения людских потоков на последующем участке пути получены соответствующие логические выражения по данным предыдущих участков.

Это и позволило рассматривать процесс движения людских потоков как неразрывное целое. Далее представлено соотношение, выражающее изменение параметров движения людских потоков на границе смежных участков пути [26]:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (1.10)$$

где  $q_i$  – интенсивность движения людского потока на  $i$ -м участке пути эвакуации, м/мин;  $q_{i-1}$  – интенсивность движения людского потока на

предыдущем участке пути эвакуации, м/мин;  $\delta_i$  – ширина рассматриваемого  $i$ -го участка пути эвакуации, м;  $\delta_{i-1}$  – ширина предыдущего  $i$ -го участка пути эвакуации, м.

Таким образом, получена возможность аналитически определять расчетное время эвакуации людей при различающихся зависимостях между параметрами движения людских потоков. Помимо этого, выявлены закономерности образования скоплений людских потоков, установлено, что фактором влияния, определяющим скопления и сами задержки движения людских потоков, являются критические значения интенсивности движения. Выведены закономерности изменения параметров движения потоков людей при их слиянии, расчленении, а также при переформировании, т.е. при изменении скорости и плотности в ходе движения.

В последующем, изучение движения людских потоков как процесса получило развитие в исследованиях процесса движения людей в проходах между рядами мест в зрительных залах, а именно в работах Алексеева Ю.В. [27], Дувидзона Р.М. [28], Калининцева В.А. [29] и Холщевникова В.В. [30]. Также были отдельные работы, посвященные особым случаям движения людей. Например, работа Григорьянца Р.Г. [31] посвящена исследованиям длительно существующих людских потоков, а труд Гвоздякова С.В. [32] посвящен закономерностям движения пересекающихся людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях.

Следует отметить работу Копылова В.А. [33], который занимался исследованиями параметров движения людей при их вынужденной эвакуации. Копылов В.А. установил, что движение людей через проемы при эвакуации представляет один из наиболее ответственных этапов. Ширина эвакуационных выходов и их количество оказывают решающее влияние на исход аварийной ситуации. Особое внимание к движению через проемы определяется тем, что в зоне проема может возникнуть критическое положение, при котором движение происходит неравномерно и с пониженной пропускной способностью, вплоть до полной остановки. Быстрая ее ликвидация бывает затрудненной, а иногда

невозможной. Исследования показали, что на процесс эвакуации людей через проем большое влияние оказывает ширина проема.

П.Г. Буга [34] и В.С. Гвоздяков [32] рассматривали процесс движения людских потоков в городских транспортно-коммуникационных узлах, А.Г. Доценко [35] – движение людей на вокзалах и территориях, прилегающих к ним. Помимо этого, одной из работ профессора В.В. Холщевникова [36] являлся труд, посвященный оптимизации путей движения в высотных зданиях. Н.Е. Фоминым [37] и Е.В. Ельчаниновой [38] была выполнена работа по исследованию вопросов проектирования и эксплуатации метрополитенов и пересадочных узлов, А.А. Сопеловской [39] – работа по изучению процесса формирования транспортных и пассажирских потоков в пересадочных узлах пригородно-городского сообщения, Х. Фелькелем [40] – работа по разработке принципов нормирования путей эвакуации в производственных зданиях. Работа А.К. Овсянникова [41] стала логическим продолжением исследований Ю.В. Алексеева [27], Р.М. Дувидзона [28], В.А. Калинцева [29] и была направлена изучению закономерностей формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных и культурно-просветительских учреждениях. Людские потоки рассматривались только с точки зрения явления массового движения, когда все входящие в их состав люди и соответствующие им параметры движения были усреднены по отношению друг к другу. Попытку разделения людских потоков на отдельные возрастные группы была предпринята М.А. Еремченко [42]. Ее исследование было посвящено изучению процесса движения учеников в школьных зданиях.

Экспериментальная база, на которую центрировались теоретические построения работ [25, 26], получившие широкое признание за рубежом [43–45], хоть и являлась в 1960-х годах самой обширной в мире, но она составляла только четвертую часть той базы, которая имела к концу 70-х годов [46].

Столь обширное множество разнообразных результатов проведенных серий натурных наблюдений поставило вопрос теоретического обоснования наблюдаемых зависимостей между параметрами движения людских потоков.

Формированием научной парадигмы в данном направлении следует считать работу [47], в которой детально представлены:

- статистический анализ однородности выборочных совокупностей значений скорости движения людских потоков многочисленных серий натурных наблюдений и экспериментальных исследований;
- описание процесса движения людских потоков как случайного явления;
- общий вид зависимости скорости движения людских потоков от плотности и уровня эмоционального состояния в виде случайной функции [47]:

$$V_D^{\mathcal{E}} = V_0^{\mathcal{E}} \left( 1 - a \ln \left( \frac{D}{D_0} \right) \right), \quad (1.11)$$

где  $V_0^{\mathcal{E}}$  – скорость движения людского потока по участку пути эвакуации, м/мин;

$\mathcal{E}$  – эмоциональное состояние представителей людского потока;

$D$  – плотность людского потока на участке пути эвакуации, чел/м<sup>2</sup> или м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$V_0^{\mathcal{E}}$  – скорость свободного движения людского потока по участку пути эвакуации под влиянием психологической напряженности ситуации  $\mathcal{E}$ ;

$a$  – эмпирический коэффициент, показывающий интенсивность воздействия плотности людского потока на его скорость по участку пути эвакуации;

$D_0$  – значение максимальной плотности потока людей для участка пути эвакуации, по достижении которого она воспринимается людьми как фактор, воздействующий на скорость движения, чел/м<sup>2</sup> или м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

В качестве нормативных значений при установлении зависимости скорости от плотности людского потока по формуле (1.11) профессором Холщевниковым В.В. рекомендованы значения скорости для взрослых людей  $V_0^{\mathcal{E}} = 100$  м/мин при движении людей по горизонтальному пути, лестнице вниз и дверному проему, значение  $V_0^{\mathcal{E}} = 60$  м/мин – при движении по лестнице вверх, соответствующие категориям движения *повышенная активность* (рисунок 1.11). Также по формуле (1.11) построены графики зависимости интенсивности движения от плотности (рисунок 1.12), при значениях коэффициентов  $a$  и  $D_0$  приведенных в таблице 1.5 [48].

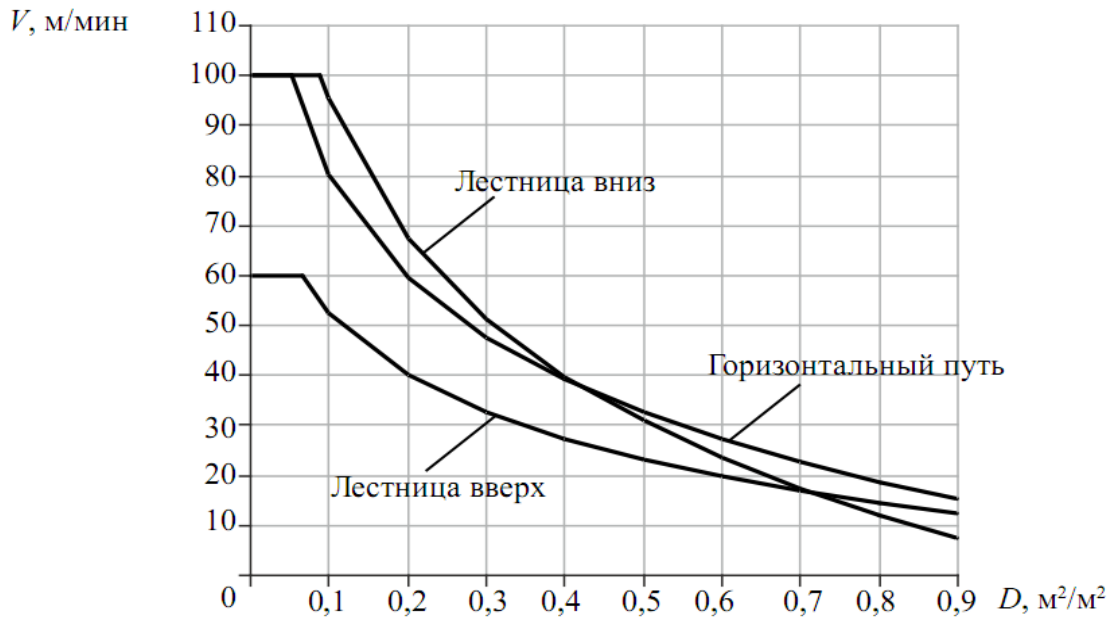


Рисунок 1.11 – Средние значения движения в зависимости от плотности потока людей в категории движения повышенная активность

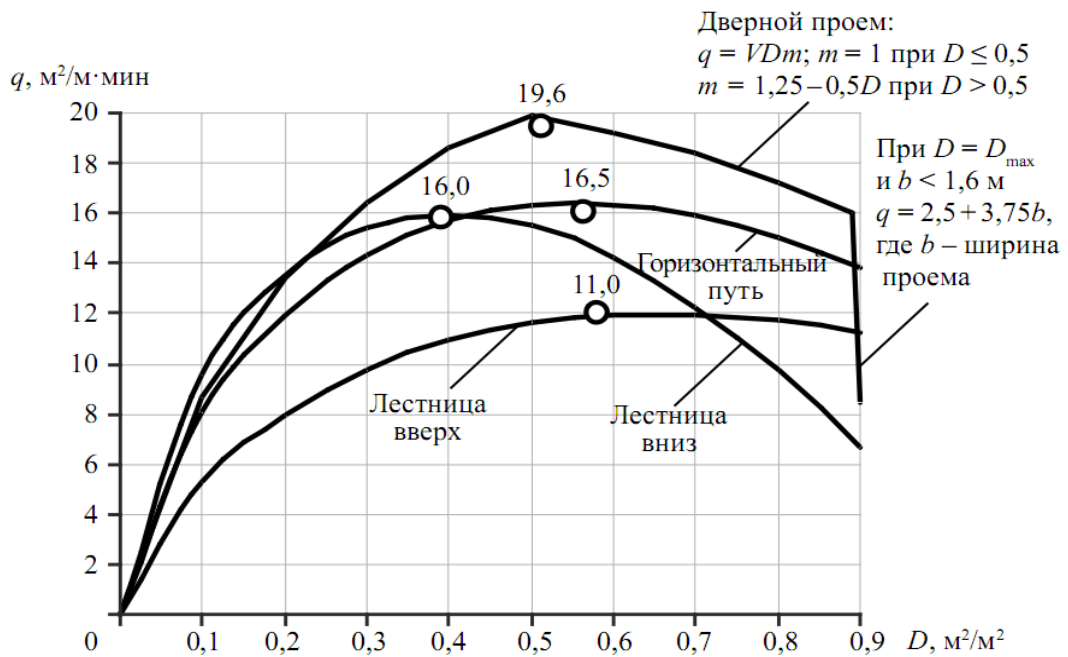


Рисунок 1.12 – Нормированные значения интенсивности потока людей в зависимости от плотности

Таблица 1.5 – Коэффициенты  $a$  и  $D_0$  для различных видов участков пути эвакуации

| Вид участка пути эвакуации     | $a$   | $D_0$ , чел·м <sup>-2</sup> |
|--------------------------------|-------|-----------------------------|
| Горизонтальный путь вне зданий | 0,407 | 0,69                        |
| Горизонтальный путь в зданиях  | 0,295 | 0,51                        |
| Дверной проем                  | 0,295 | 0,65                        |
| Лестница вниз                  | 0,400 | 0,89                        |
| Лестница вверх                 | 0,305 | 0,67                        |

В последние годы в Академии ГПС МЧС России были выполнены работы, в которых исследовался процесс эвакуации детей из дошкольных образовательных учреждений [49], движение граждан пожилого возраста в стационарах социальных учреждений [50], эвакуации детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с массовым пребыванием [51], и эвакуации людей из многоэтажных жилых зданий во Вьетнаме [52].

Также следует отметить работу Самошина Д.А. [53], в которой он дифференцировал состав и группы основного функционального контингента зданий и получил 10 расчетных групп, образование которых существует в составе потока (рисунок 1.13).

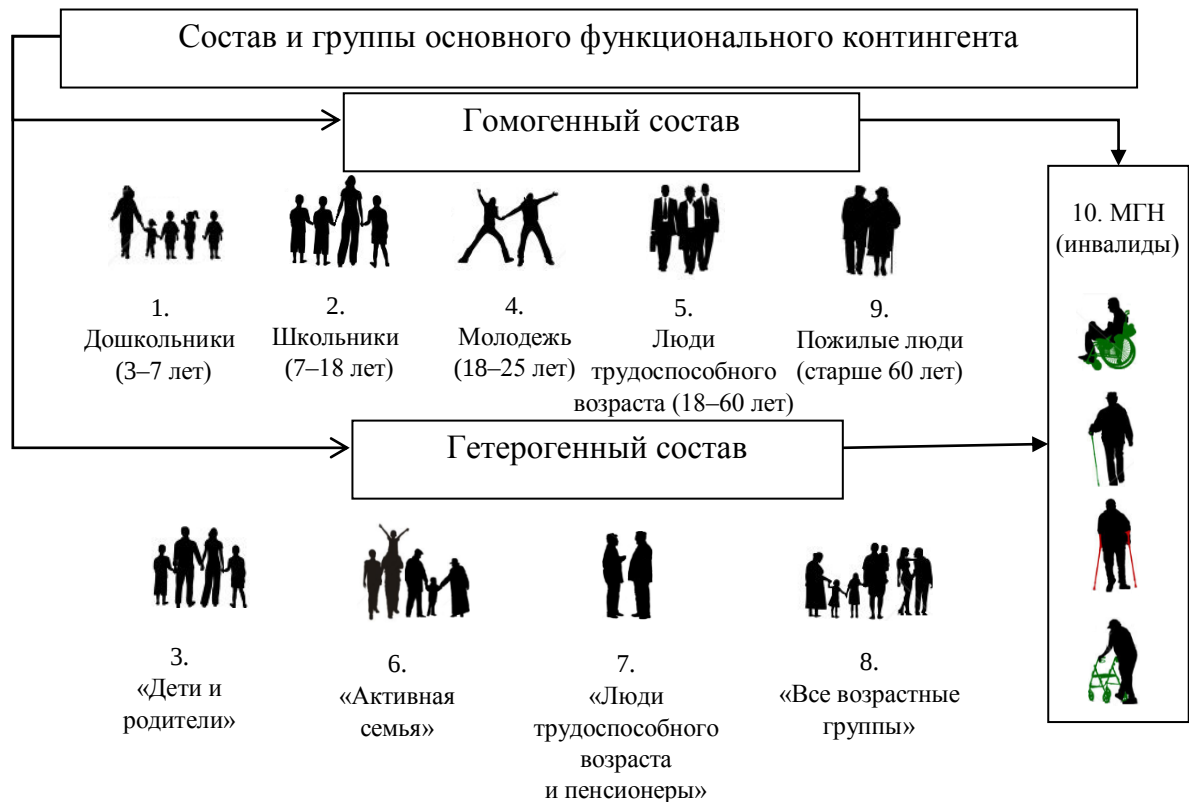


Рисунок 1.13 – Расчетные группы функционального контингента зданий [53]

На основе полученной классификации автором были дифференцированы здания в зависимости от состава функционального контингента (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Функциональное назначение зданий и группа состава потока [53]

| Класс     | Описание                                                                                                                                   | Группа состава потока  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Ф1</b> | <b>Здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей</b>                                                    |                        |
| Ф1.1      | Детские дошкольные образовательные учреждения                                                                                              | 1                      |
|           | Спальный корпус учреждений образования интернатного типа и детские учреждения                                                              | 2                      |
|           | Дом престарелых                                                                                                                            | 9                      |
|           | Дом инвалидов                                                                                                                              | 10                     |
|           | Больницы                                                                                                                                   | 10                     |
| Ф1.2      | Гостиницы, пансионаты, общежития                                                                                                           | 6                      |
| Ф1.3      | Многоквартирные жилые дома                                                                                                                 | 8                      |
| Ф1.4      | Одноквартирные жилые дома                                                                                                                  | 8                      |
| <b>Ф2</b> | <b>Здания зрелищных и культурно-просветительских учреждений</b>                                                                            |                        |
| Ф2.1      | Театры для детей и цирки                                                                                                                   | 3                      |
|           | Театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, спортивные сооружения с трибунами                                                              | 6                      |
|           | Библиотеки                                                                                                                                 | 4                      |
| Ф2.2      | Танцевальные залы                                                                                                                          | 4                      |
|           | Выставки, музеи                                                                                                                            | 6                      |
| Ф2.3      | Ф 2.1 на открытом воздухе                                                                                                                  | –                      |
| Ф2.4      | Ф 2.2 на открытом воздухе                                                                                                                  | –                      |
| –         | Здания православного религиозного назначения                                                                                               | 8                      |
| <b>Ф3</b> | <b>Здания организаций по обслуживанию населения</b>                                                                                        |                        |
| Ф3.1      | Здания организации торговли                                                                                                                | 6                      |
| Ф3.2      | Здания организации общепита                                                                                                                | 6                      |
| Ф3.3      | Вокзалы                                                                                                                                    | 6                      |
| Ф3.4      | Поликлиники и амбулатории для взрослых                                                                                                     | 7                      |
|           | Поликлиники и амбулатории для подростков                                                                                                   | 3                      |
| Ф3.5      | Коммунальное и бытовое обслуживание                                                                                                        | 7                      |
| Ф3.6      | Физкультурно-оздоровительные учреждения и спортивно-тренировочные учреждения для детей                                                     | 3                      |
|           | Физкультурно-оздоровительные учреждения и спортивно-тренировочные комплексы с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани | 5                      |
| <b>Ф4</b> | <b>Здания организаций по обслуживанию населения</b>                                                                                        |                        |
| Ф4.1.     | Общеобразовательные учреждения для подростков и детей                                                                                      | 2                      |
| Ф4.2      | Высшее и дополнительное профессиональное образование                                                                                       | 5                      |
| Ф4.3      | Административные, научные и проектные организации                                                                                          | 5                      |
| Ф4.4      | Пожарное депо                                                                                                                              | 5                      |
| <b>Ф5</b> | <b>Производственные и складские здания</b>                                                                                                 |                        |
| Ф5.1      | Производственные, лабораторные и складские помещения и здания                                                                              | 5                      |
| Ф5.2      | Складские здания                                                                                                                           | 5                      |
|           | Стоянки автомобилей                                                                                                                        | ОФК соотв. типу здания |
| Ф5.3      | Здания сельхоз назначения                                                                                                                  | 5                      |

Однако в теории движения людских потоков остаются вопросы, в которых следует более детально изучить состав людских потоков и определить его

влияние на процесс движения людей. В качестве примера можно привести движение людских потоков при эвакуации в культовых зданиях мусульман (мечетях). При этом важно сделать акцент на представителей различных групп людей, движущихся в составе смешанных людских потоков, с учетом их антропометрических параметров, возраста, пола и физических данных.

Исследований, направленных на обеспечение безопасности людей при пожаре в культовых зданиях, проведено сравнительно немного. Среди отечественных исследователей, занимающихся вопросами безопасности людей в культовых зданиях, можно отметить Шидловского Г.Л., Таранцева А.А. [54, 55], которые исследовали смешанное движение потоков и движение людей «цепочкой» при эвакуации по винтовым, прямым лестницам и по узким проходам в православных храмах, привлекая к экспериментам курсантов и слушателей учебных заведений МЧС.

В Академии гражданской защиты МЧС России в рамках выпускной квалификационной работы рассматривались общие вопросы пожарной безопасности в объектах мусульманского богослужения [56]. Выполнены отдельные исследования особенностей процесса эвакуации из зданий православных храмов [57]. Рассматривалась возможность удаления продуктов горения из молельных залов [58] через открывающиеся окна в верхней части молельного зала.

Некоторые исследования имеются в опубликованных зарубежных работах. Например, в *International Building Code* содержатся требования, где рассматриваются общие вопросы пожарной безопасности [59] и повышение надежности автоматических установок пожаротушения [60].

Рассмотренные работы способствуют постановке конкретных задач для обеспечения пожарной безопасности в объектах религиозного назначения мусульман, потому как позволяют опираться от имеющегося опыта их авторов.

## **1.4 Выводы по первой главе**

1. Выявлены исторические и функциональные особенности мечетей, которые подчиняются общим правилам проектирования, учитывающим специфику богослужения в религиозной деятельности ислама. Определение данных критериев дает возможность планировать и выполнять исследования, связанные с пожарной безопасностью прихожан, учитывая все особенности мусульманского зодчества.

2. Осуществлен обзор законодательной базы, в результате которого выявлены проблемные вопросы нормирования в области пожарной безопасности путей эвакуации в мечетях. Рассмотрение нормативных положений показывает, что объекты религиозного назначения мусульман в целом «выпали» из противопожарного нормирования. К примеру, до 2016 подобные объекты относились к зданиям класса функциональной пожарной опасности Ф3.5 как предприятия «бытового и коммунального обслуживания». Таким образом, особенности состава потока людей в мечетях при назначении размеров эвакуационных путей и выходов не учитывались; существующие сегодня в нормативной базе размеры назначены необоснованно.

3. Проанализированы результаты исследований научной школы «Движение людских потоков», изучающей параметры людских потоков и их зависимость от плотности, вида пути, состава потока и эмоционального состояния людей, формирующих людской поток. Несмотря на большой объем проведенных исследований, рассматривающих движение людских потоков в зданиях различного назначения, работ, посвященных движению людей в мусульманских объектах религиозного назначения, проведено не было. В связи с этим невозможно гарантировать безопасность людей в таких зданиях в случае пожара, что предопределяет необходимость дальнейших исследований.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ

### 2.1 Обстановка с пожарами в религиозных зданиях мусульман

На сегодняшний день религия ислам считается второй по численности приверженцев после христианства. Количество людей, причисливших себя к общине мусульман составляет порядка 1,8 млрд человек, что соответствует примерно 24 % людей от населения Земли [1] (рисунок 2.1).

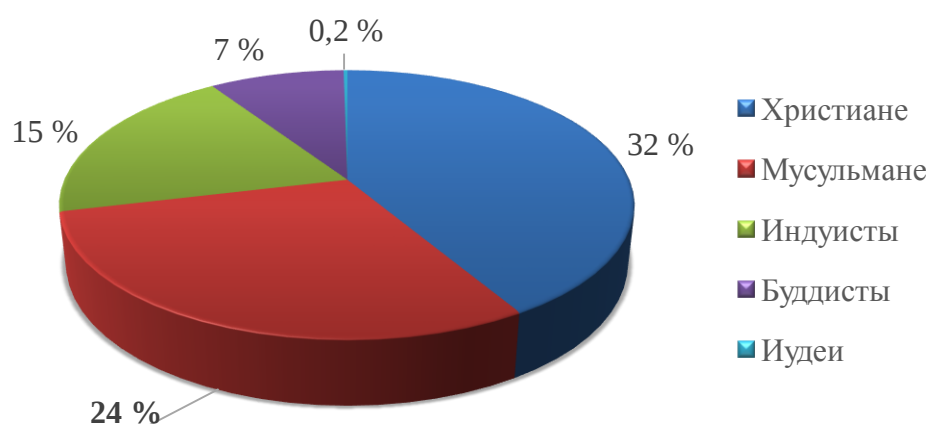


Рисунок 2.1 – Процентное содержание верующих различных конфессий в мире

Духовное управление мусульман Республики Казахстан приводит данные о том, что около 70 % от общего населения страны являются мусульманами, что составляет более 11 млн граждан [61]. Количество граждан Российской Федерации, исповедующих ислам составляет около 20 млн мусульман [2].

Мечеть (с арабского *масджид* – место поклонения) является основным молитвенным домом мусульман, и главным образом служит для собрания большого количества людей, желающих принять участие в коллективных молитвах, проведения бракосочетания, приобретения религиозного знания, духовного уединения, а также для иных социально значимых мероприятий в жизни мусульман.

Сегодня количества мечетей в городах, где живет большое число людей недостаточно, это наблюдается и потому, что каждая мечеть и территория

вокруг нее в особенные праздничные дни полностью заполнена прихожанами (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Коллективная молитва в праздничный день [62]

На основании вышесказанного возникает потребность необходимости создания не только благоприятных, но и безопасных условий для посетителей мечетей, что должно быть учтено при строительстве новых и реконструкции религиозных молитвенных зданий мусульман, которые уже функционируют.

Случается, что в мусульманских культовых зданиях возникают пожары и происходят трагические события. Анализ пожаров в рассматриваемых зданиях показывает, что главной причиной их происхождения является недооцененная пожарная профилактика, а именно: нарушение правил пожарной безопасности. Также причинами служат поджоги, террористические акты и т.п.

Для человека в любой сфере деятельности важна безопасность собственной жизни и жизни окружающих людей. Результаты происходящих в религиозных храмах трагических событий делают особо актуальной проблему пожарной безопасности данных объектов. Пожар уносит жизни большого количества людей и наносит невосполнимый ущерб строениям и находящемуся в них имуществу. История знает немало случаев, когда огонь уничтожал уникальные исторические и архитектурные памятники, древнейшие культовые сооружения, рукописные документы и т.д. Мечети также не являются исключением.

Кроме того, пожар опасен своими вторичными факторами. «В медицине определено, что при сильном и продолжительном внешнем давлении на тело человека прогрессирует компрессионная асфиксия – острый патологический процесс, возникающий в результате нарушения дыхания, кровообращения и повреждения внутренних органов, ведущий к летальному исходу» [63]. Этим и опасно такое явление как образование большого скопления людей с высокой плотностью, также известное как давка.

В таблице 2.1 приведена информация о крупных пожарах и чрезвычайных происшествиях в зданиях мечетей за несколько лет.

Таблица 2.1 – Данные о происшествиях в мечетях за последние годы

| Дата       | Объект, где произошло событие                                                                                                                                                  | Сведения о пострадавших                                             |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 23.08.2018 | В Араванском районе Ошской области произошел пожар в одной из мечетей Республики Кыргызстан.                                                                                   | Погибли 2 человека                                                  |
| 26.09.2015 | В Лондоне загорелась одна из крупнейших мечетей в Западной Европе. С огнем, который охватил подвал и часть первого этажа зданий, боролись около 70 пожарных.                   | Пострадал один человек                                              |
| 14.07.2015 | Давка в мечети Касабланки в Марокко. Причиной инцидента стала мышь, появление которой вызвало панику, а следом давку среди прихожан во время вечерней молитвы.                 | На выходе более 80 человек получили многочисленные переломы и ушибы |
| 10.04.2015 | В Кизляре (Дагестан) сгорела центральная мечеть. Площадь возгорания превысила полторы тысячи квадратных метров.                                                                | Пострадавших нет                                                    |
| 26.06.2015 | Взрыв в мечети Кувейта. Террорист-смертник подорвал себя в шиитской мечети. В это время в мечети на пятничной молитве находились около двух тысяч верующих.                    | Погибли 27 человек и более 220 получили ранения                     |
| 13.02.2015 | В Пакистане 3 террориста-смертника с закрепленными на теле взрывными устройствами ворвались в мечеть во время пятничной молитвы и открыли стрельбу по находившимся в ней людям | 20 человек погибло, более 60 получили ранения                       |
| 25.12.2014 | Поджог мечети в Швеции, в которой находилось от 15 до 20 человек. В помещение мечети был брошен факел через окно.                                                              | 5 человек получили ранения                                          |
| 29.11.2014 | В Нигерии около главной мечети города Кано в момент пятничной молитвы прогремели взрывы. После взрыва смертников 15 боевиков расстреляли тех, кто уцелел.                      | Около 120 человек погибли и более 270 получили ранения              |
| 05.01.2014 | В Китае давка в мечети началась в воскресенье днем, во время раздачи традиционного кушанья.                                                                                    | 14 погибших, 2 раненых                                              |
| 15.01.2012 | Пожар в мечети в Астане (Казахстан). Причиной явилось нарушение правил при проведении огневых работ.                                                                           | 1 погибший                                                          |
| 13.03.2012 | В Брюсселе в мечети была брошена бутылка с зажигательной смесью. Мечеть полностью уничтожена огнем.                                                                            | 1 погибший, 1 пострадавший                                          |

Данные, приведенные в таблице 2.1, отражают далеко не все случаи возгораний и давок в мечетях. Но и эти примеры показывают, насколько

серьезной является проблема безопасной эвакуации людей из таких зданий. Гибель и травматизм людей в таких пожарах обусловлены, прежде всего, большим количеством прихожан, которые не успевают покинуть здание вовремя, и образовавшейся в результате происшествия давки.

Приведенные данные указывают на неэффективность системы обеспечения пожарной безопасности в рассматриваемых объектах.

Трудность в обеспечении пожарной безопасности мечетей возникла из-за особенностей богослужения, свойственных только этой конфессии.

## **2.2 Особенности функционирования мусульманских культовых сооружений**

В исламе имеется большое количество религиозных праздников. Одним из главных праздником мусульмане считают праздник Идъ аль-Адха (Корбан-байрам) – праздник ознаменует окончание Хаджа и подразумевает обряд жертвоприношения. Следующим по иерархии принято считать религиозный праздник Идъ аль-Фитр (Ораза-Байрам), который отмечает завершение великого поста в Рамадан. Помимо вышеперечисленных, в мусульманском календаре имеются День рождения Мухаммада, Ночь дарований, Ночь вознесения, Ночь могущества, Ночь предопределения, День Арафат, Дни ат-Ташрик и т.д. [64]. Во все подобные знаковые для мусульман события мечети переполнены прихожанами.

Сложность в обеспечении противопожарной безопасности молельных домов мусульман обуславливается установленной каноничностью в убранстве мечетей. Примером может служить то, что в молитвенных залах мечетей пожарные шкафы спрятаны от глаз верующих. Интерьер молитвенных залов подразумевает только те предметы, которые не противоречат определенным в религии правилам. Огнетушащие средства первой помощи не должны находиться на виду у людей, так как запрещено все, что может помешать сосредоточению внимания при молитве.

Главнейшей особенностью мусульманских молитвенных зданий, отличающей их от зданий других конфессий является то, что весь функциональный контингент перед молитвой снимает обувь, которая укладывается в специальные оборудованные полки, находящиеся у выходов из мечетей (рисунок 2.3). Вероятно, в большинстве случаев при эвакуации масса людей захочет забрать свои оставленные вещи, в том числе и обувь. В результате, затратив драгоценные секунды на отыскание обуви, образуется скопление людей, что вызовет задержку эвакуирующихся в холле мечети.



Рисунок 2.3 – Специально оборудованные полки для обуви при входе в молитвенный зал

Важно также то, что в дни коллективных молитв таких полок не хватает для всей обуви и люди вынуждены оставлять ее по ходу движения на путях эвакуации (рисунок 2.4). Оставленная обувь, о которую люди могут споткнуться, будет служить препятствием на путях эвакуации, что тоже вызовет задержку людского потока. Также после коллективных молитв людям свойственно покидать здание через те двери, в которые они заходили, в мечетях это связано, в первую очередь, именно с оставленной при входе обувью.



Рисунок 2.4 – Обувь, оставленная на путях эвакуации

Следующая существенная особенность мечетей касается поведенческого характера. Для некоторых верующих выполнение намаза является настолько сакральным действием, что они не прервут выполняемую молитву ни по причине пожара, ни по иной другой причине. В большинстве таких случаев молитву может остановить только имам (руководитель молитвы, который стоит впереди). В результате можно говорить, что в период начального этапа эвакуации существенно зависит от осознанности и уровня противопожарной подготовленности священнослужителей.

Отличительным характером богослужения мусульман при пятничных и праздничных намазах является массовый приход людей в мечети. В случае нарушения беспрепятственности движения будет образовываться скопление людей. И данное скопление возникает на подобных молитвах систематически. Причиной являются люди, желающие принять участие в коллективной молитве, но не вмещающиеся в здание и располагающиеся на прилегающей к мечети территории. Именно они будут служить препятствием для выхода людей из мечети после молитвы, что, конечно, повлечет за собой увеличение времени эвакуации из культового сооружения и уплотнения плотности людей на выходе из здания.

Разделённые мужские и женские молитвенные залы также являются примером отличия мечетей от зданий других конфессий. Необходимо чтобы было удовлетворено единственное условие – все прихожане могли слышать голос человека, возглавляющего молитву в мечети [65].

Как известно, не все прихожане мечети способны самостоятельно передвигаться. Кому-то помогают прийти родственники, а кто-то передвигается при помощи костылей или инвалидной коляски. По этой причине в мечетях необходимо выполнение условия для нахождения маломобильных групп населения, содержащиеся в СП 59.13330.2016 [66]. Также по этой причине значение величины времени скопления ( $t_{\text{ск}} = 6$  мин.) должно быть уменьшено.

Характерной особенностью мечетей является наличие в них смешанного потока людей, различных возрастных групп, от детей до людей преклонного возраста, для которых свойственно снижение физических функций организма, сопровождаемое низкой скоростью передвижения. А как известно, наименее подвижная группа в составе потока диктует скорость эвакуации. Исходя из этого, необходимо выяснить демографический состав функционального контингента в мечетях, с целью определения скорости движения смешанного потока прихожан, а также выявления особенностей параметров такого движения.

Однако вначале будет рассмотрен первый этап эвакуации, связанный с перестройкой функциональных систем организма людей для действий при пожаре и характеризуемый таким важнейшим параметром, как время начала эвакуации.

### **2.3 Исследование времени начала эвакуации ( $t_{\text{н.э}}$ ) людей в мечетях**

Решению задач, связанных с проблемами эвакуации большого количества людей, одновременно находящихся в помещении, исследователями уделялось большое внимание на протяжении нескольких десятков лет [28, 29]. Классическими примерами таких помещений служили зрелищные залы, в которых основной проблемой было единовременное начало движения больших масс людей к эвакуационным выходам.

Но здания с массовым пребыванием людей – это не только здания с зальными помещениями большой вместимости. К таким зданиям относятся и культовые сооружения ислама, где прихожане (в определенные дни) полностью заполняют всю доступную площадь мечетей, включая молельные залы, гардеробы, холлы и лестничные марши.

В последние годы в России уделялось внимание проблемам эвакуации людей из культовых зданий [57], однако время начала эвакуации не определялось. Без рассмотрения этого этапа эвакуации невозможно выполнять расчетные оценки и нормировать размеры путей эвакуации, а рассматривая проблему шире – гарантировать безопасность людей. Следует отметить, что процесс эвакуации в этих зданиях отличается от других зданий ввиду особенностей мусульманского богослужения.

В нормативной практике России термин «время начала эвакуации» впервые был введен в ГОСТ 12.1.004–91\*: «... При отсутствии необходимых исходных данных для определения времени начала эвакуации в зданиях (сооружениях) без систем оповещения величину  $t_{н.э}$  следует принимать равной 0,5 мин. – для этажа пожара и 2 мин. – для вышележащих этажей. Если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен всеми находящимися в нем людьми, то допускается принимать равным нулю ...» [67]. Далее термин  $t_{н.э}$  был реализован в приказе [68] и трактуется как: « $t_{н.э}$  – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин». Следует отметить, что в нем же [68] отсутствуют положения, относящиеся к мечетям, что подчеркивает необходимость проведения исследований  $t_{н.э}$  в них.

Концепция нормирования  $t_{н.э}$  в России была впервые разработана и реализована профессором В.В. Холщевниковым в территориальных строительных нормах города Москвы – МГСН 4.19–2005 [69], а в настоящее время содержится в Приказе МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 [68]. Значения времени начала эвакуации содержатся в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Время начала эвакуации в соответствии с [70]

| Класс функциональной пожарной опасности зданий и характеристика контингента людей                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Значение времени начала эвакуации людей $t_{н.э}$ , мин. |           |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Здания, оборудованные СОУЭ                               |           | Здания, не оборудованные СОУЭ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | I–II тип                                                 | III–V тип |                               |
| Здания детских дошкольных организаций образования, неквартирных домов престарелых и инвалидов, больницы, спальные помещения объектов образования с наличием интерната и детских организаций; многоквартирные и многоквартирные жилые дома, в том числе блокированные (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4). Люди могут пребывать в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов | 6,0                                                      | 4,0       | 9,0                           |
| Гостиницы, общежития, спальные корпуса домов отдыха общего типа и санаториев, кемпингов, пансионатов и moteley (Ф1.2). Постояльцы могут находиться в состоянии сна и незнакомы со структурой эвакуационных путей и выходов                                                                                                                                                            | 3,0                                                      | 2,0       | 6,0                           |
| Здания культурно-просветительных и зрелищных учреждений; организации по обслуживанию населения (Ф2, Ф3). Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но незнакомы со структурой эвакуационных путей                                                                                                                                                                                | 3,0                                                      | 1,0       | 6,0                           |
| Здания образовательных, научных и проектных организаций, органы управления учреждений (Ф4). Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей                                                                                                                                                                                          | 3,0                                                      | 1,5       | 6,0                           |
| Пожарные отсеки производственного или складского назначения с категорией помещений по взрывопожарной и пожарной опасности В1–В4, Г, Д, входящие в состав зданий с функциональной пожарной опасностью Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, в том числе Ф5.2 – стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта                                                                               | 2,0                                                      | 0,5       | 6,0                           |

Для решения задач настоящей работы сбор эмпирических данных проводился посредством натурных наблюдений при помощи видео- и фотофиксации [71] в пятничные дни в Соборной мечети в г. Москве, когда в здании находилось большое количество молящихся. Видеозапись осуществлялась при помощи охранных модульных камер, которые устанавливались внутри молельного зала, пример показан на рисунке 2.5.

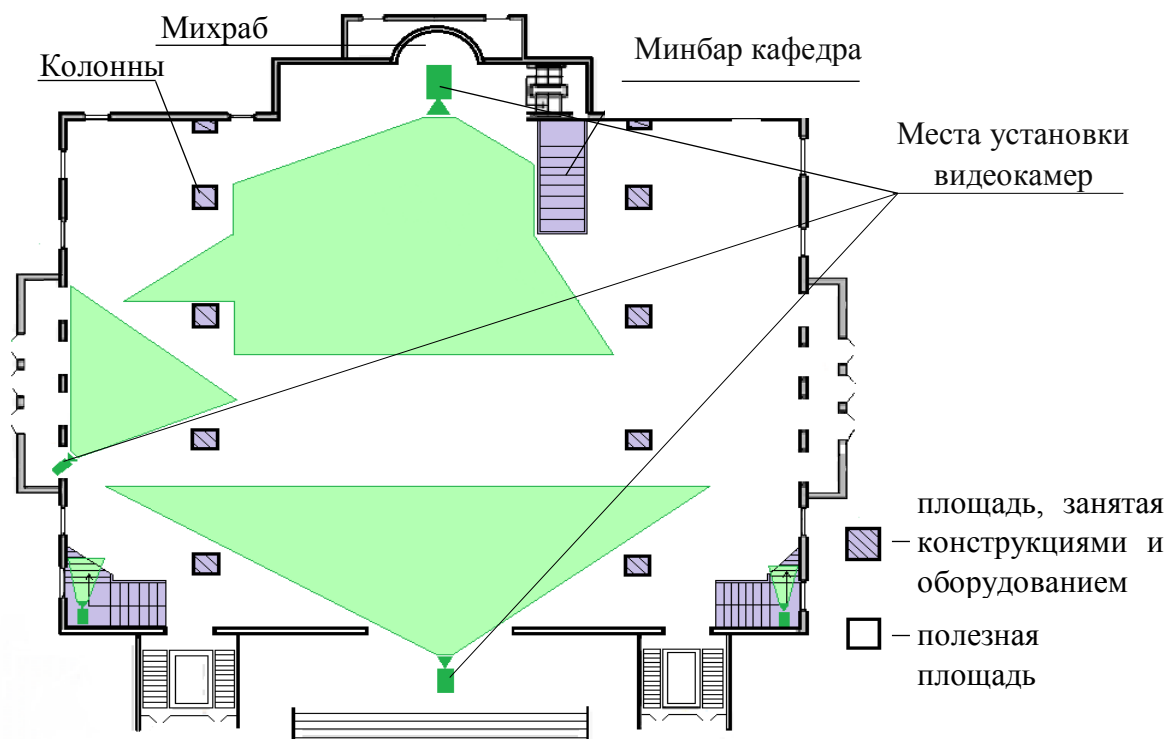


Рисунок 2.5 – План типовой мечети и места установки видеокамер

Временем начала съемки было время окончания молитвы имамом, транслируемое через громкоговорители. При обработке видеозаписи фиксировались значения времени от завершения коллективной молитвы прихожанами до начала их движения в сторону эвакуационных выходов.

Так как 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), то своевременность эвакуации (слагаемым суммы которой является время начала эвакуации) напрямую зависит от правильных действий священнослужителя.

В исследованиях, проводимых ранее [72], установлена формула, характеризующая временные этапы  $t_{н.э.}$ :

$$t_{н.э.} = (t_{об} + t_{оп}) + t_0 + t_{под}, \quad (2.1)$$

где:  $t_{об}$  – время выявления очага горения, с;  $t_{оп}$  – время оповещения о тревоге, с;  $t_0$  – интервал времени, необходимый человеку для оценки ситуации, с;  $t_{под}$  – время на подготовку к эвакуации или к защите помещения от пожара, с.

В результате проводимого эксперимента было получено 99 замеров

времени  $t_0 + t_{\text{под}}$  до начала движения прихожанами в сторону эвакуационных выходов.

Наблюдения показывают, как прихожане из положения «сидя» (рисунок 2.6 а) через 4–5 с поднимаются с колен (рисунок 2.6 б) и поворачиваются в сторону эвакуационных выходов (рисунок 2.6 в). Поэтому на начальном этапе эвакуации образовавшиеся потоки людей сразу же имеют параметры свободного поточного движения (рисунок 2.6 г) – таблица 2.3.



Рисунок 2.6 – Фрагмент подготовки людей к эвакуации (интервал съемки в 1 с:  
а) выполнение намаза; б) окончание намаза; в) принятие вертикального  
положения; г) начало поточного движения

Таблица 2.3 – Классификация движения людей в интервалах плотности потоков [26]

| Интервалы плотности, $\text{м}^2/\text{м}^2$ | 0–0,05         | 0,05–0,15 | 0,15–0,4             | 0,4–0,7           | 0,7–0,9                  | 0,9–1,0        | 1,0–1,15        |
|----------------------------------------------|----------------|-----------|----------------------|-------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| Условия движения                             | Индивидуальное | Поточное  |                      |                   |                          |                |                 |
|                                              | Свободное      | Свободное | Без контактных помех | Контактные помехи | С силовыми воздействиями |                |                 |
|                                              |                |           |                      |                   | Слитное                  | Деформация тел | Сдавливание тел |

Данное формирование потоков людей резко отличается от формирования их в культовых зданиях других конфессий: у православных в церквях – люди во время молитвы стоят, в католических храмах – люди усаживаются на скамьях (подобно рядам в зрелищных залах), что определяют при их выходе в общий проход одновременные слияния и переформирования потоков людей на участках пути [73].

Гистограмма значений  $t_0 + t_{\text{под}}$ , полученная в результате обработки эмпирических данных, приведена на рисунке 2.7. Характеристики распределения значений представлены в таблице 2.4.

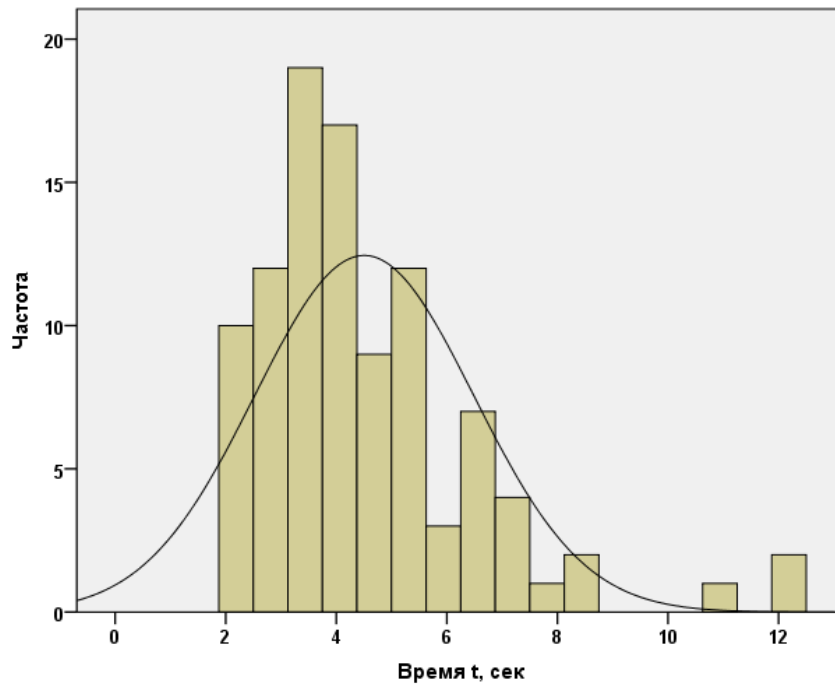


Рисунок 2.7 – Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации прихожанами после молитвы

Таблица 2.4 – Сводка обработки наблюдений

| Величины и показатели                    |                    | Значения |
|------------------------------------------|--------------------|----------|
| Среднее значение, с                      |                    | 4,5      |
| 95 % доверительный интервал для среднего | Нижняя граница, с  | 4,1      |
|                                          | Верхняя граница, с | 4,9      |
| Медиана                                  |                    | 4,2      |
| Дисперсия, с <sup>2</sup>                |                    | 3,9      |
| Стд. отклонение, с                       |                    | 2,0      |
| Минимум, с                               |                    | 1,9      |
| Максимум, с                              |                    | 12,4     |
| Размах, с                                |                    | 10,5     |

Анализ гистограммы, приведенной на рисунке 2.7, и значений таблицы 2.4 показывает, что значения  $t_0 + t_{\text{под}}$  чрезвычайно низкие – 4,5 с. Размах вариации (10,5 с) свидетельствует о практически одновременном начале движения всеми прихожанами к выходам после получения сигнала о пожаре. В этом случае интенсивность движения будет максимальной, вследствие чего, весьма вероятно, будут образовываться скопления на выходе из помещений ввиду одновременного движения сразу всеми людьми, что приведет к увеличению времени эвакуации.

Следует отметить близость (не подтвержденную математически) эмпирического распределения к нормальному. В работе [74, с. 7] указывается: «применение нормального закона ведет к увеличению нагрузки на эвакуационные пути и выходы, так как значительное количество людей подходит в ограниченный интервал времени к эвакуационным выходам, что может привести к образованию задержек движения и скоплению людей». А в исследованиях [72] приведены результаты моделирования, которые показывают различия мест скопления и их продолжительность на участках в зависимости от распределения значений (нормального или равномерного) (рисунок 2.8).

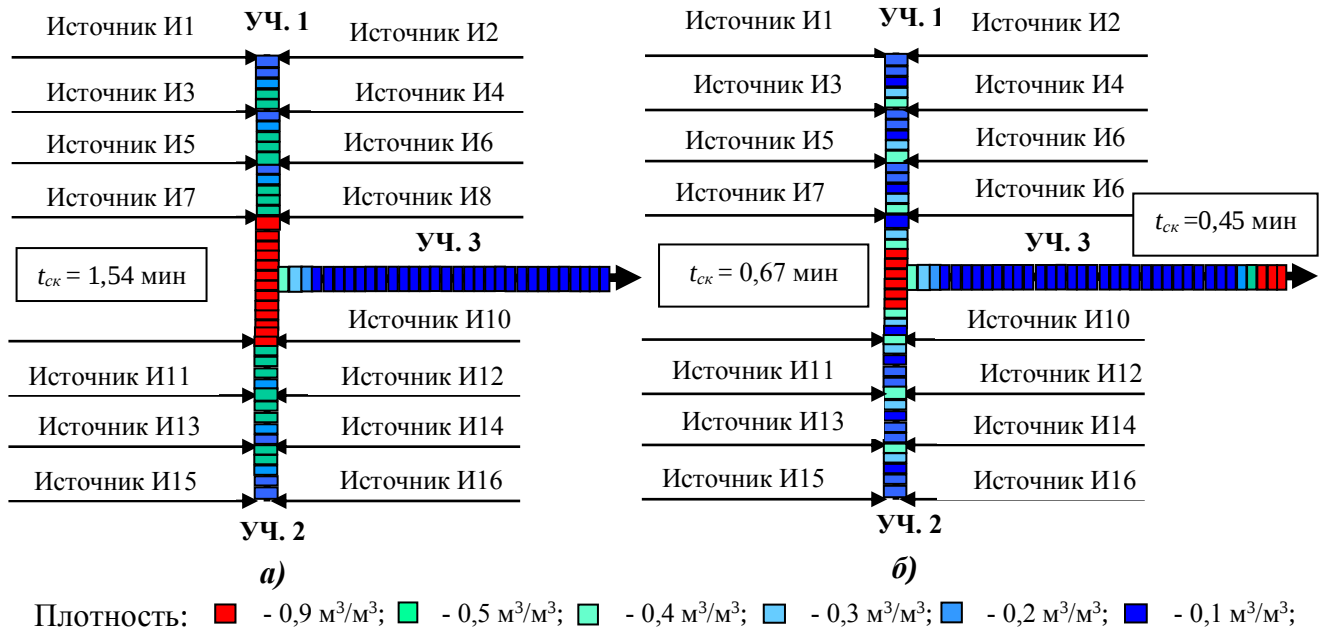


Рисунок 2.8 – Максимальные плотности на участках пути в зависимости от  $t_{н.э.}$ :  
 а) одновременная эвакуация; б) время начала эвакуации, заданное нормальным распределением; характеристики участков пути: УЧ. 1/УЧ.2:  $l=25$  м,  $b=2,5$  м; УЧ. 3:  $l=31$  м,  $b=2,5$  м,  $b_0=1,8$  м; И.1–И.16:  $N=30$  чел.,  $l=16$  м,  $b=2$  м

В имеющейся в настоящее время методике [68] значение  $t_{н.э.}$  трактуется как одновременное движение к выходам. Такое движение характерно только для зальных помещений, в том числе для мусульманских храмов.

Еще одной проблемой нормирования данного времени является значение  $t_{н.э.}$  для остальных помещений, находящихся в мечети. Время начала эвакуации в мечетях будет зависеть от определенных особенностей мусульманского богослужения. В этом случае время  $t_{н.э.}$  будет состоять из слагаемых суммы «Инерционности АУПС», «Речи имама» и «Подготовки к эвакуации», что отражено на рисунке 2.9.

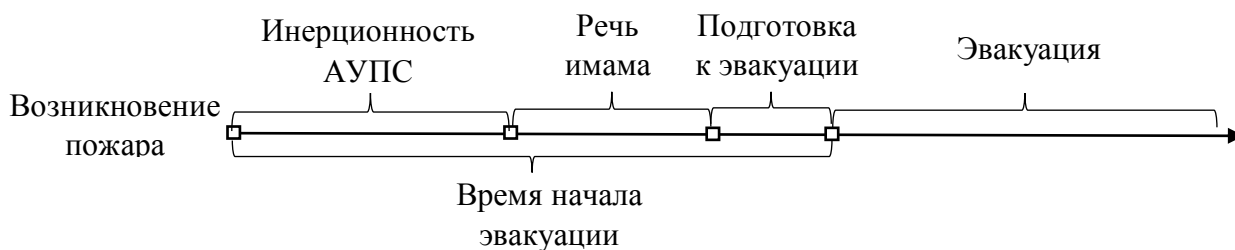


Рисунок 2.9 – Интервалы затрат времени при возникновении пожара

В случае пожара главным фактором подготовки к эвакуации прихожан во время молитвы будет речь имама, которому необходимо самому «перестроиться» от сакрального состояния до реальной оценки происходящего (что вероятнее всего займет не менее 30 с). Также начало речи имама (команда для эвакуации) будет зависеть от времени срабатывания АУПС (около 1 мин. = 60 с [72]). В результате, предполагаемое время  $t_{н.э.}$  для помещений, в которых пожар не может быть обнаружен визуально, будет равняться приблизительно  $t_{н.э.} = 95$  с (с учетом  $t_{под} = 5$  с), что следует учитывать при построении системы пожарной безопасности.

Проводя анализ зарубежных норм, следует отметить Британский стандарт [75], положения которого позже были отражены в техническом отчете ISO/TR 16738 [76]. В этих документах приводятся факторы, оказывающие влияние на  $t_{н.э.}$ , среди них и характеристики здания (B1–B3), и системы оповещения (A1–A3), и уровень противопожарного менеджмента (M1–M3). Однако эти факторы не ранжированы, и их влияние на  $t_{н.э.}$  количественно не описано. Также о влиянии значений времени  $t_{н.э.}$  на процесс эвакуации говорится в исследовании [77].

Проведенные натурные наблюдения позволили впервые определить время подготовки к эвакуации в мечетях во время коллективных молитв. Достоверность полученных данных опирается на апробированные методы натурных наблюдений и статистического анализа.

Также наблюдения показали, что ответственность за действия по подготовке к эвакуации прихожан лежит на служащих мечети, поэтому правильные действия руководителей и персонала культовых сооружений играют важную роль в своевременности эвакуации людей при пожаре [78].

Следует отметить, что отличительным фактором объектов религиозного назначения мусульманского толка от зданий другого функционального назначения является низкое время начала эвакуации людей. Данный параметр, а также то, что движение людей к выходам начинается практически одновременно, приводят к тому, что в процессе эвакуации нагрузка на эвакуационные выходы будет максимальной. То есть чем ниже время начала эвакуации, тем больше величина потока.

Для наглядности рассмотрены три варианта молельных зала различной вместимости: на 500, 1000 и 2000 человек. Для каждого из вариантов брались различные диапазоны времени начала эвакуации и величина потока, которая определялась как частное от количества людей и  $t_{н.э.}$ . По полученным данным были построены графики, отраженные на рисунке 2.10.

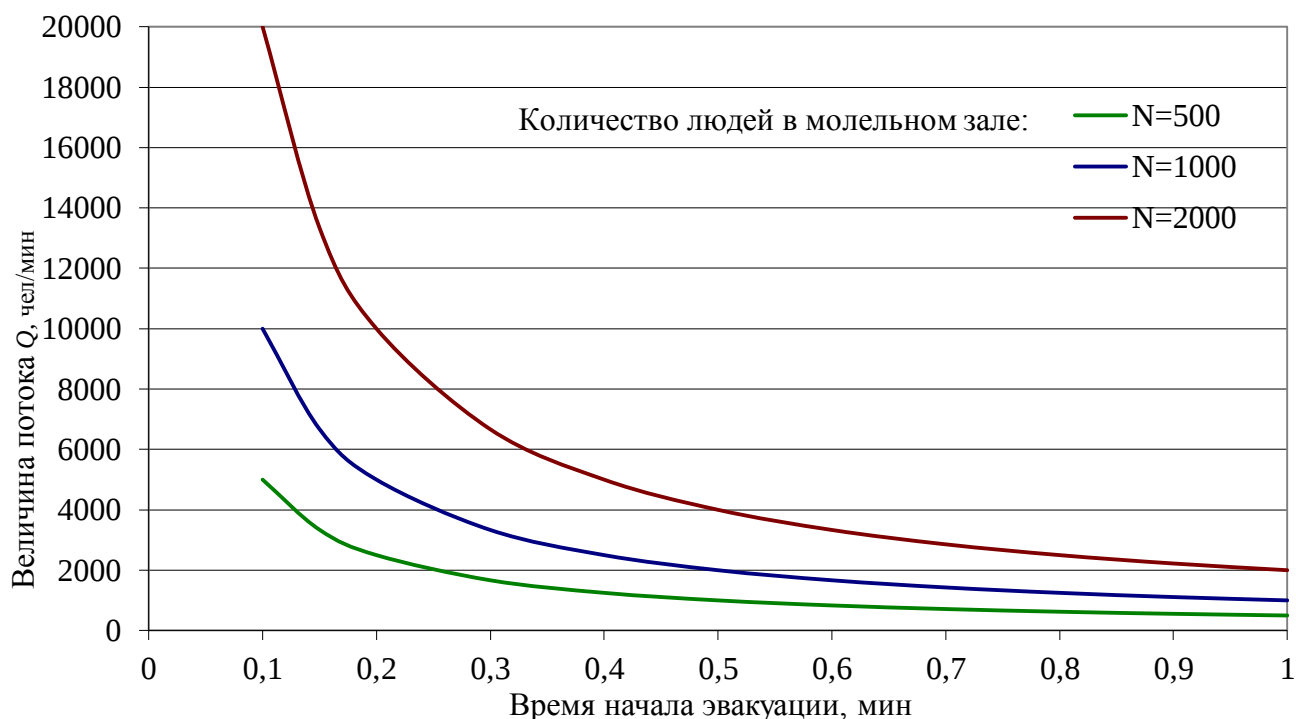


Рисунок 2.10 – Зависимость величины людского потока от времени начала эвакуации

Данные, представленные на рисунке 2.10, показывают, что характер кривой меняется от резко убывающей до функции почти линейного вида. Точка, в которой функция меняет свой вид, характеризует переход процесса эвакуации от более напряженного к более спокойному. Поиск этой точки важен

для обеспечения максимально безопасной эвакуации людей с низкой нагрузкой на эвакуационных выходы.

Для решения этой задачи верхняя часть аппроксимировалась логарифмической функцией, а нижняя линейной. Значения коэффициентов корреляции логарифмической и линейной функции начинают меняться около значения  $t = 0,5$  мин., т.е. процесс эвакуации становится более спокойным. Получается, что 0,5 мин. – это минимально необходимая длительность интервала времени начала эвакуации для исключения чрезмерной нагрузки на эвакуационные выходы, ведущей к образованию давки.

## **2.4 Выводы по второй главе**

1. В настоящее время мусульмане составляют около 23 % от общей численности населения Земли. Существует потребность в строительстве новых и реконструкции ныне действующих культовых сооружений ислама. Однако ненадлежащая защищенность мечетей требованиями норм, большое количество прихожан, а также особенности мусульманского богослужения приводят к пожарам и, как следствие, гибели людей в таких зданиях. В главе приведены примеры пожаров последних лет, которые показывают, насколько серьезной является проблема безопасной эвакуации людей из таких зданий.

2. Показаны особенности функционирования мусульманских культовых сооружений, которые дополнительно осложняют процесс эвакуации людей из зданий и являются отличительными и индивидуальными особенностями, характерными только для этого типа зданий. К таким особенностям можно отнести снятие обуви у входа в мечеть и хранение её на путях эвакуации, отдельные пути эвакуации для мужчин и женщин, чрезвычайно высокая численность людей в здании и снаружи здания, определяющая роль имама в организации эвакуации и др.

3. Впервые спланировано и проведено исследование времени начала эвакуации людей в мечетях. Определено, что время реакции на сигнал о пожаре имеет крайне невысокое значение – около 4,5 с. Это означает, что движение прихожан к выходу начинается практически квазимгновенно, и поэтому в процессе эвакуации нагрузка на выходы будет максимальной. В связи с этим, ключом к безопасной эвакуации прихожан мечети является определение необходимых параметров движения людских потоков и на их основе – размеров эвакуационных путей и выходов.

## **ГЛАВА 3. ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МЕЧЕТЯХ**

### **3.1 Исследование демографического состава прихожан в мечетях**

Одним из первоочередных вопросов, который требовал рассмотрения, явился вопрос исследования демографического состава основного функционального контингента. Натурные наблюдения с целью анализа состава людского потока по половому и возрастному разделению проводились в дни максимального посещений мечетей.

Наблюдения проводились в различное время года (зима, весна), при разных погодных условиях с декабря 2015 года по май 2016 года, в дни совершения коллективных молитв. Каждый такой день мечеть посещало около 12 тысяч человек. Всего наблюдениями были охвачены более 50 тысяч человек.

Подсчет людей по возрастному и полу признаку осуществлялся путем обработки видеоматериала, взятого с охранных модульных камер, расположенных у всех входов в мечеть. Анализ результатов наблюдений, представленный на рисунке 3.1, показывает, что:

- основной контингент прихожан (порядка 95 %) – это здоровые мужчины трудоспособного возраста (молодежь и люди, которые по своим физиологическим особенностям имеют довольно высокую скорость движения);
- малый процент посещаемости мужчинами пожилого возраста, для которых предоставлены специально выделенные сидячие места. Пожилые мужчины, как правило, не торопятся расходиться после молитвы и покидают здание, когда основной людской поток уже вышел;
- мусульмане стараются не приводить детей в мечети по праздничным и пятничным дням. Это обуславливается, прежде всего, заботой о них и желанием уберечь от возможного дискомфорта, связанного со скоплением большого количества людей.

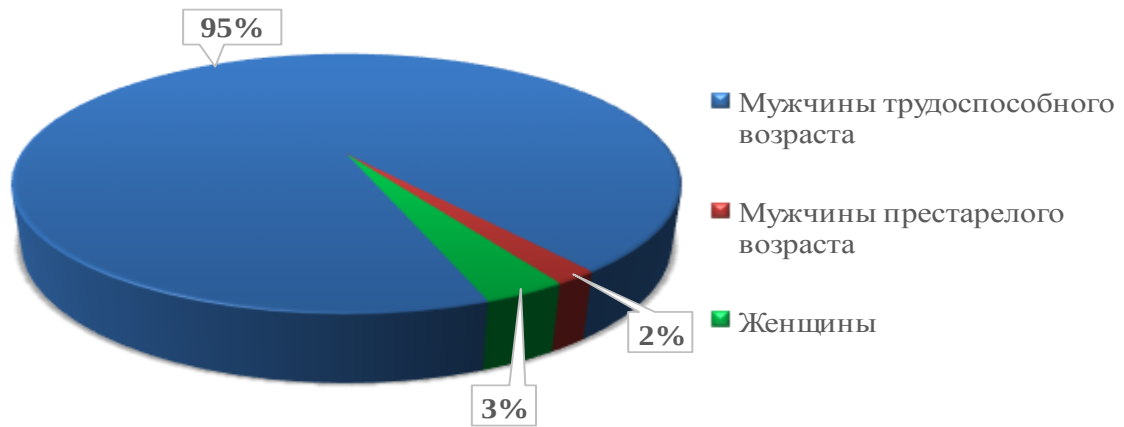


Рисунок 3.1 – Данные по посещаемости мечети различными группами прихожан в пятничные дни

Малое количество приходящих на молитву в мечеть женщин и детей несовершеннолетнего возраста обуславливается дозволенностью в религии совершать им молитву дома, не приходя в мечеть. Для мужчин посещение коллективных молитв является обязательным.

В связи с тем, что основной контингент мечетей – это мужчины трудоспособного возраста (около 95 %), то далее в работе будет исследована именно эта группа людей.

### **3.2 Организация и методика проведения натурных наблюдений за движением людских потоков в мечети**

При проведении исследований за процессом движения людских потоков в мусульманских культовых сооружениях основными методами научного познания стали натурные наблюдения, которые являются необходимыми для выявления особенностей эвакуации людей.

Метод натурных наблюдений необходим для отслеживания интересующих характеристик поведения прихожан и параметров их движения, что позволяет сформировать понимание о развитии прихожанами скорости движения при реально созданных плотностях и влиянии коммуникационного пути на скорость движения и т.д.

Процесс проведения натурных наблюдений включает в себя три этапа:

- организация натурных наблюдений;
- проведение натурных наблюдений и видеофиксация параметров людских потоков;
- формирование массива данных на основе просмотра видеозаписей и их статистическая обработка.

Учитывая, что исследовательскую работу необходимо было проводить в зданиях культовых учреждений, где всякого рода «эксперименты» (натурные наблюдения) запрещены, то, изначально, следовало получение согласия на проведение данных мероприятий с администрацией мечети.

Следующим этапом стал сбор информации об мечетях, куда входит генеральный план здания, вместимость молитвенных залов, а также сведения об организации проведения молитв и другая информация.

Во время религиозных праздников количество персонала увеличивается. По праздничным и пятничным дням привлекаются также волонтеры, которые подсказывают прихожанам, где имеются свободные места для молитвы. После окончания молитвы волонтеры также содействуют людям в необходимой помощи.

В ночное время мечети также открыты всем желающим для исполнения молитвы.

Установление характеристик движения людских потоков в зданиях мечетей происходило путем проведения серии натурных наблюдений в период с 2014 по 2016 г. в крупных мечетях г. Москвы, а также в центральных культовых сооружениях городов Астаны и Павлодара Республики Казахстан:

- мечеть «Хазрет Султан», расположенная по адресу: Республика Казахстан, г. Астана, проспект Рахымжана Кошкарбаева (вместимость – 12000 человек);
- мечеть имени Машхура Жусупа, расположенная по адресу: Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Каирбаева, д. 107 (вместимость – 2500 человек);
- Московская соборная мечеть, расположенная по адресу: Выпозов переулок, д. 7 (вместимость – 12000 человек);

- мечеть «Ярдям», расположенная по адресу: г. Москва, ул. Хачатуряна, 8, к. 4 (вместимость около 3000 человек);
- Историческая мечеть г. Москвы, расположенная по адресу: ул. Большая Татарская, д. 28, с. 2 (вместимость – 1200 человек);
- Мемориальная мечеть, расположенная по адресу: г. Москва, ул. Минская, 2 Б (вместимость около 3000 человек).

Для проведения натурных наблюдений с целью их дальнейшего анализа и установления параметров движения прихожан в мечетях был применен один из способов наблюдения за поведением людского потока – метод видеонаблюдения, описанный в работе [71]. Применение данного метода открыло возможности проводить съемку процесса движения людей, посредством выбора и размещения камер, привязки масштабной сетки, с размером ячеек 1×1 метр к геометрическим габаритам участка пути и обработки видеозаписи движения людей.

Участками для наблюдения за процессом движения прихожан в перечисленных зданиях были приняты: молитвенные залы, коридоры, лестничные марши, лестничные площадки, дверные проемы, участки путей перед выходами из мечетей, а также прилегающая к мечети территория.

В качестве видеозаписывающего оборудования использовались видеозаписывающие регистраторы «DOD F900LS» (рисунок 3.2). Преимущество этих камер состоит в том, что они осуществляют съемку с большим углом обзора, равным 120°, что является достаточным для получения необходимых данных при размещении на рассматриваемых участках на относительно небольшой высоте. Высокое разрешение отснятого видео 1920×1080 px и высокоскоростная съемка, порядка 30 кадр/с, также является достоинством данного оборудования.



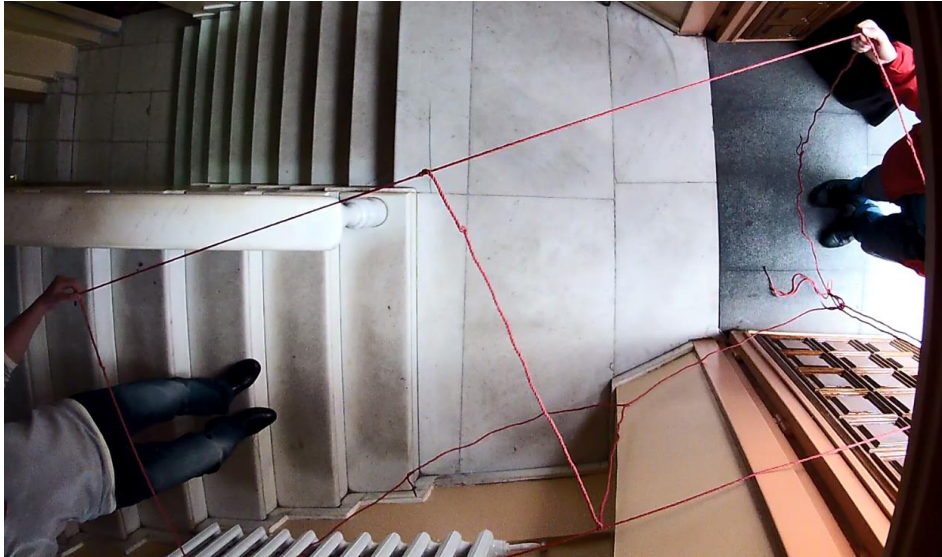


Рисунок 3.3 – Фрагмент съемки масштабной сетки для контрольного кадра

Видеосъемка параметров движения прихожан начиналась сразу после окончания коллективной молитвы, происходившей не только в мечети, но и на прилегающей к ней территории. Как только имам сообщал об окончании молитвы, стационарно установленные видеорегистраторы приводились в режим «запись», и начинался процесс съемки движения людских потоков в пределах специально выбранных для этого участков.

Видеозапись наблюдения за процессом движения прихожан велась непрерывно с момента начала движения первых людей и до ухода последнего человека из молельного зала (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Фрагмент натурных наблюдений за процессом движения людей у выхода из мечети

Данные, полученные в результате натурных наблюдений, подвергались многократному анализу, что позволило достаточно точно определить значения параметров движения потока людей по горизонтальному пути, лестнице вниз, а также в дверном проеме.

Общей методикой определения параметров движения прихожан явилось сопоставление кадров, полученных на экране монитора, с контурами масштабной сетки и видеоматериалами с движением потока людей по установленному участку пути. При определении параметров движения прихожан в мечетях рассматривался каждый отдельный человек и количество идущих перед ним людей. Как только наблюдаемым человеком был осуществлен заступ в границу ячейки сетки, осуществлялся подсчёт человек, находившихся в момент соответствующего кадра в этой же ячейке.

Таким образом, устанавливалась плотность людского потока  $D$  (чел/м<sup>2</sup>), при которой выбранным человеком было пройден отрезок равный 1 м (длине ячейки) за  $n$  количество кадров (так определялось время  $t$ ).

Следующий этап обработки данных предусматривал определение скорости перемещения людей  $V_{\text{пер}}$  (м/мин) за  $n$  снимков наблюдения за ними по формуле:

$$V_{\text{пер}} = \frac{l}{t} 60. \quad (3.1)$$

Алгоритм определения скоростей движения прихожан в проеме существенно отличался от алгоритма определения скоростей на участках иных видов путей, так как длина участка в проеме равна нулю. При пересечении проема определялось число прихожан  $N_t$ , пересекающих его за некоторое время  $t$ , которое зависит от длительности существования перед проёмом конкретного значения плотности  $D$ .

После того как были получены значения  $N_t$  удалось установить интенсивность движения  $q_D$  (чел/(м·мин)) через проем шириной  $\delta$  (м) в течение определенного времени при установленной плотности потока  $D$  (чел/м<sup>2</sup>) перед ним:

$$q_D = N_t / (\delta \cdot t), \quad (3.2)$$

а потом скорость движения  $V_D$  (м/мин) через проём при плотности  $D$ :

$$V_D = q_D / D. \quad (3.3)$$

Значения, полученные в результате обработки скоростей движения прихожан при различных плотностях, были разделены в виде выборок по сериям наблюдений и вида передвижения. Однако эмпирические данные указывают лишь на тенденцию проявления зависимости между параметрами движения людей, и поэтому требуют определения математической зависимости, которая бы объективно отразила реальность. В выполняемой работе для определения расчетных зависимостей между скоростью движений и плотностью потока людей применялась методология, которая опубликована в работе [71], а в последующем успешно применялась во многих исследованиях [48, 80].

Достоверность значений, полученных скоростей движения прихожан в мечетях подтверждалась репрезентативностью всех выборочных совокупностей (близким отображением). Достаточность измерений ( $n$ ) устанавливалась посредством имеющейся в работе [81] формуле (3.4), которая позволяет получить необходимое количество данных с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ :

$$n = (x \cdot v)^2 / \varepsilon^2, \quad (3.4)$$

где  $x$  – коэффициент доверительной вероятности  $P(x)$ , для  $P(0,95) = 1,96$ ;  $v$  – показатель меры изменчивости  $v = (\sigma / \bar{X}) \cdot 100 \%$ , представляющий собой отношение среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ) выборки к среднему арифметическому значению ( $\bar{X}$ ), выраженный в %;  $\varepsilon$  – показатель точности исследования, равный допустимой ошибке, не превышающей 5 %.

В последующем выявлялись средние значения скорости передвижения людей (среднее арифметическое) по формуле [81]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.5)$$

где  $n$  – количество экспериментов;  $x_i$  – рассматриваемые параметры скорости в выборочных совокупностях.

Далее определялись среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  и дисперсия  $S^2$ , которые описывают меру отклонения значений скорости от центра распределения, по формулам (3.6), (3.7) [82]:

$$\sigma = \sqrt{S^2}, \quad (3.6)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}, \quad (3.7)$$

позволили определить достаточность количества измерений скоростей движения людей. Данные представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – 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       | 346                  | 324       |

Исходя из данных таблицы 3.1 видно, что количества произведенных измерений достаточно для дальнейшей статистической обработки экспериментальных данных.

Следующим шагом явилось обследование соответствия выборок тому или иному закону распределения. Согласно рекомендации, приведенной в [81], для выборки численностью больше 50 значений был использован критерий хи-квадрат ( $\chi^2$ ), для выборки меньше 50 значений – Шапиро-Уилка (W). Анализ данных производился посредством программ «IBM SPSS Statistics 20» и «AtteStat 12.0.5».

Обследование выборки на нормальность показало, что распределение выборок описывалось нормальным законом распределения. Поверка на наличие грубой погрешности с помощью правила трех сигм ( $3\sigma$ ) показала, что все значения в выборке лежат в интервалах  $(\bar{X} - 3\sigma; \bar{X} + 3\sigma)$ .

Установленные характеристики выборочных совокупностей экспериментальных данных движения прихожан в мечетях по коммуникационным путям, отражающие основные характеристики генеральной совокупности приведены в таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Значения скоростей движения прихожан по горизонтальным путям и по лестнице вниз

| Интервал<br>плотности<br>$D$ , чел/м <sup>2</sup> | Количество<br>наблюдений<br>$n$ | Математическое<br>ожидание<br>скорости $m(V)$ ,<br>м/мин | Среднее<br>квадратическое<br>отклонение $\sigma(V)$ ,<br>м/мин | 95 %<br>доверительный<br>интервал |                    |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
|                                                   |                                 |                                                          |                                                                | Нижняя<br>граница                 | Верхняя<br>граница |
| Горизонтальный путь                               |                                 |                                                          |                                                                |                                   |                    |
| 0–1                                               | 56                              | 112,21                                                   | 17,83                                                          | 107,71                            | 116,71             |
| 1–2                                               | 63                              | 69,21                                                    | 24,18                                                          | 64,11                             | 74,34              |
| 2–3                                               | 70                              | 52,92                                                    | 16,97                                                          | 52,82                             | 56,04              |
| 3–4                                               | 59                              | 41,85                                                    | 11,18                                                          | 37,58                             | 46,14              |
| 4–5                                               | 64                              | 33,13                                                    | 14,14                                                          | 28,96                             | 37,36              |
| 5–6                                               | 45                              | 26,89                                                    | 9,55                                                           | 23,97                             | 29,78              |
| 6–7                                               | 39                              | 21,53                                                    | 12,47                                                          | 19,01                             | 24,03              |
| Лестница вниз                                     |                                 |                                                          |                                                                |                                   |                    |
| 0–1                                               | 68                              | 109,02                                                   | 21,16                                                          | 104,62                            | 113,45             |
| 1–2                                               | 64                              | 80,32                                                    | 16,95                                                          | 75,12                             | 85,50              |
| 2–3                                               | 44                              | 56,70                                                    | 13,63                                                          | 52,60                             | 60,78              |
| 3–4                                               | 45                              | 41,14                                                    | 10,59                                                          | 38,54                             | 43,74              |
| 4–5                                               | 48                              | 29,51                                                    | 11,78                                                          | 25,27                             | 33,74              |
| 5–6                                               | 46                              | 20,23                                                    | 9,61                                                           | 17,91                             | 22,51              |
| 6–7                                               | 33                              | 12,51                                                    | 14,05                                                          | 10,59                             | 14,42              |

Данные о количестве проведенных наблюдений ( $N$ ) в интервалах плотности людских потоков ( $D$ , чел/м<sup>2</sup>), а также значений интенсивности движения через проем ( $q$ , чел/м·мин) отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения интенсивности движения прихожан через проем

| Интервал плотности $D$ , чел/м <sup>2</sup> | Количество наблюдений $N$ | Среднее значение интенсивности $q$ , чел/(м·мин) |
|---------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 1–2                                         | 47                        | 123,54                                           |
| 2–3                                         | 75                        | 154,38                                           |
| 3–4                                         | 49                        | 168,55                                           |
| 4–5                                         | 66                        | 171,04                                           |
| 5–6                                         | 49                        | 164,40                                           |

Полученные данные явились необходимыми для последующего анализа, ставшего предметом выявления параметров зависимости скорости от последовательно изменявшихся плотностей. Построения указанной зависимости производились по апробированной методологии [47]. Зависимость скоростей движения от плотности в общем виде отображается формулой (3.8).

$$V_D = V_0 \cdot (1 - R), \quad (3.8)$$

где  $V_0$  – случайное значение скорости свободного движения прихожан, когда плотность никак не оказывает влияния на скорость, м/мин;  $R$  – функция, которая не зависит эмоционального состояния человека и характеризует влияние плотности  $D$  на скорость движения, посредством влияния внешнего фактора на сенсорную систему людей.

Для получения закономерности изменения реакции людей, проявленной в изменении скорости от плотности по формуле (3.8), необходимо было произвести переход к относительной величине, таковой в данной формуле является  $R_D$ .

Эмпирические значения  $R_D$  определялись для всех интервалов плотности по полученным данным всех серий наблюдений в соответствии с формулой (3.9):

$$R_D = \Delta V_D / V_0, \quad (3.9)$$

где  $\Delta V_D = m(V_0) - m(V_D)$  – разность между математическими ожиданиями скорости при плотности 0-1 чел/м<sup>2</sup> и математическими ожиданиями скорости при плотностях, для которых устанавливалась степень влияния внешнего фактора на сенсорную систему людей.

Следующим шагом стало определение теоретического значения  $R_T$ , которое описывается функцией:  $R_T = f(D)$  и подбирается для аппроксимации данных натурных наблюдений. Выбранная функция для отражения зависимости изменяющейся скорости от плотности имеет реальное значение только тогда, когда она адекватна внутреннему отношению между

описываемым ею явлением или хотя бы, отражает это явление с достаточным приближением.

Множественные исследования движения потоков людей позволяют утверждать, что воздействие плотности людского потока на его скорость устанавливается психофизическими закономерностями. Рассмотрение области действия основных психофизических законов [47] привело к выводу о том, что отношение скорости и плотности должны описываться логарифмическими соотношениями Вебера-Фехнера (3.10), что и было подтверждено [83]:

$$R_T = a \ln (D / D_0), \quad (3.10)$$

где  $D$  – плотность потока людей, при которой устанавливается значение  $R_T$ ;  $D_0$  – критическое значение плотности, при которой она начинает ощущаться как воздействующий фактор при движении;  $a$  – коэффициент, отображающий интенсивность воздействия плотности при движении.

В таблицах 3.4-3.6 и на рисунках 3.5-3.7 отображены результаты аппроксимации зависимости  $R = f(D)$  для смешанного состава людского потока, состоящего преимущественно из мужчин трудоспособного возраста.

Таблица 3.4 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  при передвижении по горизонтальному пути

| Параметр                                        |                 | Значение функции $R$ при средних интервалах плотности $D$ в интервалах ее измерения |                        |                        |                        |                        |                        |
|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                 |                 | 1-2 чел/м <sup>2</sup>                                                              | 2-3 чел/м <sup>2</sup> | 3-4 чел/м <sup>2</sup> | 4-5 чел/м <sup>2</sup> | 5-6 чел/м <sup>2</sup> | 6-7 чел/м <sup>2</sup> |
| Среднее значение $R_D$                          |                 | 0,364                                                                               | 0,514                  | 0,616                  | 0,696                  | 0,753                  | 0,803                  |
| Среднеквадратическое отклонение                 |                 | 0,316                                                                               | 0,272                  | 0,310                  | 0,415                  | 0,625                  | 0,489                  |
| Доверительный 95 % интервал для среднего        | Нижняя граница  | 0,305                                                                               | 0,389                  | 0,538                  | 0,626                  | 0,692                  | 0,743                  |
|                                                 | Верхняя граница | 0,436                                                                               | 0,630                  | 0,701                  | 0,773                  | 0,807                  | 0,856                  |
| Теоретические значения                          |                 | 0,376                                                                               | 0,513                  | 0,604                  | 0,672                  | 0,726                  | 0,771                  |
| Расхождение $\Delta_D = R_T - R_D$              |                 | 0,011                                                                               | -0,001                 | -0,012                 | -0,024                 | -0,027                 | -0,032                 |
| $\Delta_D / R_D \cdot 100\%$                    |                 | 2,738                                                                               | -0,195                 | -1,948                 | -3,448                 | -3,585                 | -3,985                 |
| Теоретическое корреляционное отношение $\eta_T$ |                 | 0,999                                                                               |                        |                        |                        |                        |                        |

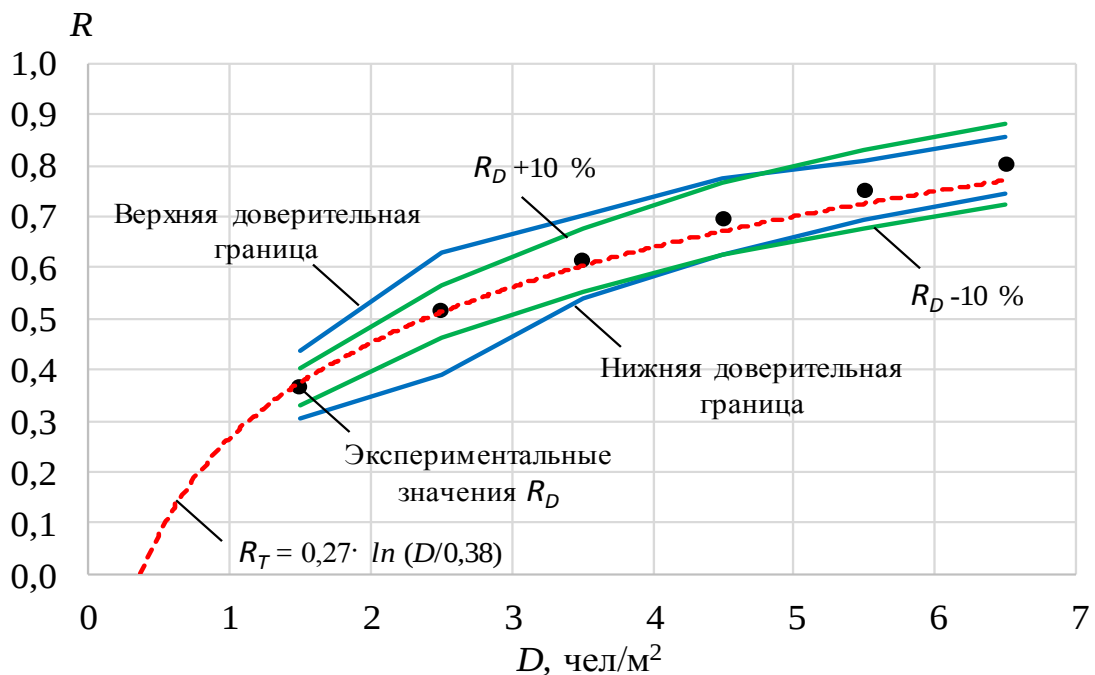


Рисунок 3.5 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  при передвижении потока людей по горизонтальным участкам пути

Таблица 3.5 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  при передвижении по лестнице вниз

| Параметр                                        |                 | Значение функции $R$ при средних интервалах плотности $D$ в интервалах ее измерения |                        |                        |                        |                        |                        |
|-------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                 |                 | 1-2 чел/м <sup>2</sup>                                                              | 2-3 чел/м <sup>2</sup> | 3-4 чел/м <sup>2</sup> | 4-5 чел/м <sup>2</sup> | 5-6 чел/м <sup>2</sup> | 6-7 чел/м <sup>2</sup> |
| Среднее значение $\bar{R}_D$                    |                 | 0,284                                                                               | 0,495                  | 0,633                  | 0,737                  | 0,820                  | 0,889                  |
| Среднеквадратическое отклонение                 |                 | 0,295                                                                               | 0,315                  | 0,316                  | 0,458                  | 0,631                  | 0,485                  |
| Доверительный 95 % интервал для среднего        | Нижняя граница  | 0,157                                                                               | 0,352                  | 0,491                  | 0,614                  | 0,689                  | 0,759                  |
|                                                 | Верхняя граница | 0,410                                                                               | 0,625                  | 0,775                  | 0,872                  | 0,962                  | 0,995                  |
| Теоретические значения                          |                 | 0,286                                                                               | 0,494                  | 0,628                  | 0,733                  | 0,824                  | 0,895                  |
| Расхождение $\Delta_D = R_T - R_D$              |                 | 0,002                                                                               | -0,001                 | -0,005                 | -0,004                 | 0,004                  | 0,006                  |
| $\Delta_D / R_D \cdot 100\%$                    |                 | 0,352                                                                               | -0,404                 | -0,631                 | -0,678                 | 0,243                  | 0,562                  |
| Теоретическое корреляционное отношение $\eta_T$ |                 | 0,999                                                                               |                        |                        |                        |                        |                        |

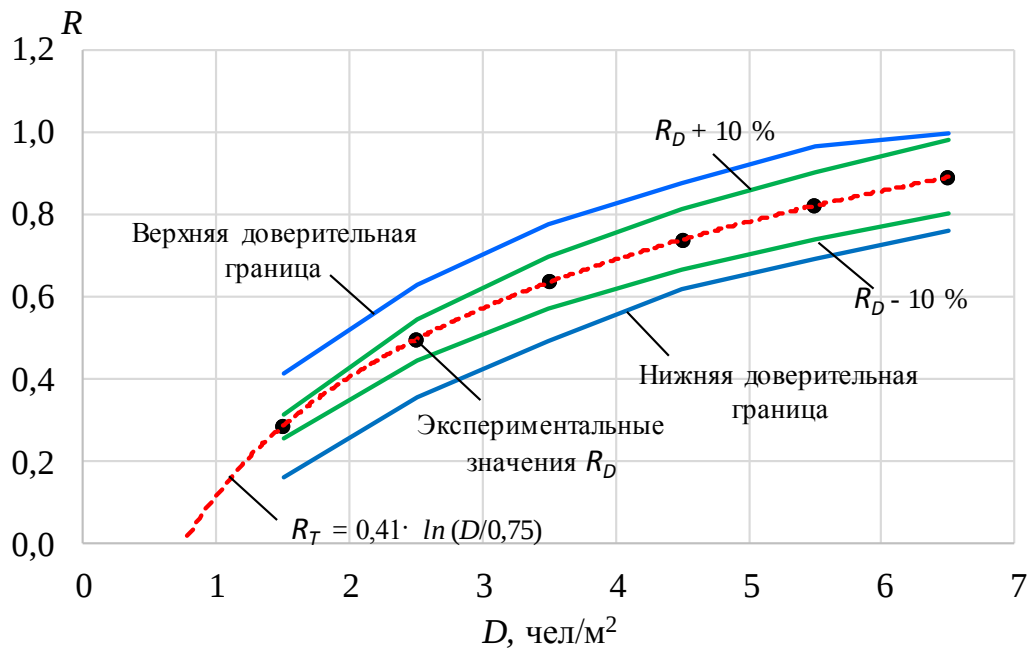


Рисунок 3.6 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  при передвижении потока людей по лестнице вниз

Таблица 3.6 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  для дверного проема в мечетях

| Параметр                                        | Значение функции $R$ при средних интервалах плотности $D$ в интервалах ее измерения |                        |                        |                        |                        |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                 | 1-2 чел/м <sup>2</sup>                                                              | 2-3 чел/м <sup>2</sup> | 3-4 чел/м <sup>2</sup> | 4-5 чел/м <sup>2</sup> | 5-6 чел/м <sup>2</sup> |
| Среднее значение $\bar{R}_D$                    | 0,239                                                                               | 0,441                  | 0,558                  | 0,651                  | 0,723                  |
| $\bar{R}_D - 5 \%$                              | 0,231                                                                               | 0,421                  | 0,534                  | 0,621                  | 0,692                  |
| $\bar{R}_D + 5 \%$                              | 0,252                                                                               | 0,461                  | 0,592                  | 0,681                  | 0,761                  |
| $\bar{R}_D - 10 \%$                             | 0,222                                                                               | 0,402                  | 0,501                  | 0,592                  | 0,652                  |
| $\bar{R}_D + 10 \%$                             | 0,262                                                                               | 0,492                  | 0,611                  | 0,725                  | 0,802                  |
| Теоретические значения                          | 0,245                                                                               | 0,434                  | 0,559                  | 0,654                  | 0,726                  |
| Расхождение $\Delta_D = R_T - R_D$              | 0,006                                                                               | -0,007                 | 0,001                  | 0,003                  | 0,003                  |
| $\Delta_D / R_D \cdot 100\%$                    | 1,96                                                                                | -1,74                  | -0,05                  | 0,08                   | 0,39                   |
| Теоретическое корреляционное отношение $\eta_T$ | 0,999                                                                               |                        |                        |                        |                        |

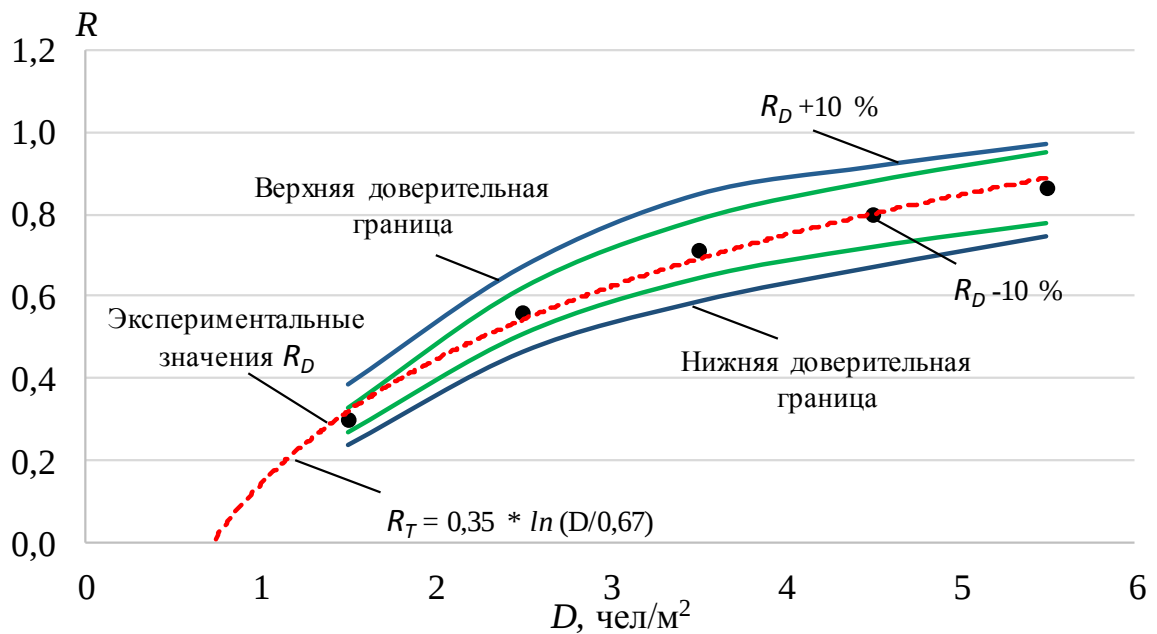


Рисунок 3.7 – Аппроксимация зависимости  $R = (f)D$  для дверного проема

Для смешанного состава людского потока, состоящего преимущественно из молодых людей трудоспособного возраста, при передвижении по коммуникационным путям значения  $a$  и  $D_0$  приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значения  $a$  и  $D_0$  при движении прихожан по коммуникационным путям в мечетях

| Вид пути            | $a$   | $D_0$ , чел/м <sup>2</sup> |
|---------------------|-------|----------------------------|
| Горизонтальный путь | 0,271 | 0,38                       |
| Лестница вниз       | 0,410 | 0,75                       |
| Дверной проём       | 0,352 | 0,67                       |

Для оценки тесноты связи между факторным ( $D$ ) и результативным признаками ( $R$ ) применялась формула (3.11), характеризующая корреляционное отношение [84]:

$$\eta_T = \sqrt{\frac{\sigma_{R_T}^2}{\sigma_{R_D}^2}}, \quad (3.11)$$

где  $\sigma_{R_T}^2$  – дисперсия теоретических значений величины  $R_T$ , а  $\sigma_{R_D}^2$  – дисперсия экспериментальных значений величины  $R_D$ .

Теоретические корреляционные отношения, представленных в таблицах 3.4-3.6 ( $\eta_T = 0,999$ ) значатся высокими, что определяет установленные связи практически как функциональные ( $\eta_T = 1$ ). Это говорит о наличии сильной корреляционной связи между скоростью движения функционального контингента и плотностью потока. В свою очередь, это подтверждает вид регрессионной зависимости, связывающей скорости движения людей и плотности на основе законов психофизики [85].

### 3.3 Закономерности влияния эмоционального состояния на скорость свободного движения прихожан в мечетях

Теория движения потоков людей имеет выявленные эмоциональные состояния людей и соответствующие им категории движения эвакуирующихся.

Определенному эмоциональному состоянию соответствуют свои скорости движения. Как известно, что не ощущая признаков ОФП, люди эвакуируются с меньшей скоростью [86]. Происходит это потому, что человек не воспринимает опасную ситуацию как угрозу жизни или здоровью. Следовательно, это приводит к меньшим скоростям движения и к увеличению времени эвакуации. Ситуация же, при которой люди ощущают источник опасности, наоборот, может повлечь за собой всплеск эмоционального состояния, что приведет к повышенным скоростям движения, но не всегда к уменьшению времени эвакуации.

Установление зависимостей скорости  $V_0$  (м/мин) свободного движения людей в мечетях от уровня их эмоционального состояния ( $\Xi$ ), производилось применением статистической теории распределения крайних членов выборок.

Отбор значений  $V_n$  из выборочных совокупностей при плотности  $D = 0-1$  чел/м<sup>2</sup>, проводился из условия  $\bar{V} + 1,5\sigma$ , где  $\bar{V}$  – математическое ожидание скоростей в выборках, м/мин;  $\sigma$  – стандартное отклонение, м/мин. В последствии для прихожан строилось эмпирическое распределение максимальных значений скоростей движения.

Так как математические ожидания  $\bar{V}$  для различных видов путей показывают близкие значения, то производилась оценка однородности средних значений скорости свободного движения прихожан по формулам (3.12), (3.13) [82].

При числе вариантов больше 30:

$$Z_{наб} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}, \quad (3.12)$$

при числе вариантов меньше 30:

$$T_{наб} = \frac{\bar{V}_1 - \bar{V}_2}{\sqrt{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (3.13)$$

где  $\overline{V}_1$  – средние значения скоростей больших выборок;  $\overline{V}_2$  – средние значения скоростей меньших выборок;  $S_1$  – дисперсия скоростей больших выборок;  $S_2$  – дисперсия скоростей меньших выборок;  $n_1$  – численность вариантов скоростей больших выборок;  $n_2$  – численность вариантов скоростей меньших выборок.

Для того чтобы произвести проверку на однородность дисперсий, выявленных совокупностей, использовался критерий Фишера ( $F$ -критерий) в соответствии с формулой (3.14). Результаты отражены в таблице 3.8.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (3.14)$$

где  $S_1^2$  – дисперсия большей выборки;  $S_2^2$  – дисперсия меньшей выборки.

Таблица 3.8 – Проверка однородности дисперсий и математических ожиданий скорости движения прихожан по различным видам коммуникационных путей

| Наименование критерия | Вид пути                      |                                     |                                     |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                       | Лестница вниз и дверной проем | Дверной проем и горизонтальный путь | Лестница вниз и горизонтальный путь |
| $F_{\text{набл}}$     | 1,20                          | 1,24                                | 1,15                                |
| $F_{\text{крит}}$     | 3,20                          | 2,40                                | 1,62                                |
| $T_{\text{набл}}$     | 1,50                          | 1,05                                | 1,80                                |
| $T_{\text{крит}}$     | 1,90                          | 2,03                                | 1,96                                |

Из таблицы 3.8 следует, что при оценке однородности средних значений скорости свободного движения прихожан  $V_0$  (м/мин), различия между выборочными совокупностями оказываются несущественными. Наблюдаемые значения не превысили критических, а значит, гипотеза об однородности выборочных совокупностей подтверждается.

Исходя из этого, максимальные значения скоростей движения по всем видам рассматриваемых путей объединены в общий вариационный ряд.

После обнаружения однородных выборочных совокупностей удалось выявить категории движения эвакуирующихся людей. Для установления границ категорий движения использовался двойной показательный закон по формуле (3.15) [87]:

$$P(V_n) = e^{-e^{-x}}, \quad (3.15)$$

где  $x = a \cdot (V_n - g)$  – нормативное уклонение от моды кривой плотности вероятности распределения (3.16),  $a \geq 0$  и  $g$  – константы.

Экспериментальные вероятности устанавливались по формуле (3.16):

$$P(V_n) = \frac{n}{N+1}, \quad (3.16)$$

где  $n$  – порядковый номер варианты;  $N$  – количество вариантов в вариационном ряду.

Значения нормативных уклонений от моды кривой плотности вероятности распределения  $X_n$  определялись по таблице IX приложения [87]. Данные представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Данные для определения максимальных скоростей при движении по рассматриваемым видам коммуникационных путей

| $n$ | $P(V_n)$ | $X_n$    | $V_n$ |
|-----|----------|----------|-------|
| 1   | 0,142    | –0,66574 | 159,7 |
| 2   | 0,285    | –0,22536 | 164,8 |
| 3   | 0,428    | 0,16568  | 169,4 |
| 4   | 0,571    | 0,58048  | 174,2 |
| 5   | 0,714    | 1,08922  | 180,2 |
| 6   | 0,857    | 1,86980  | 189,3 |

График на рисунке 3.8 описывает соотношение между максимальными членами выборки  $V_n$  и их вероятностями  $P(V_n)$ .

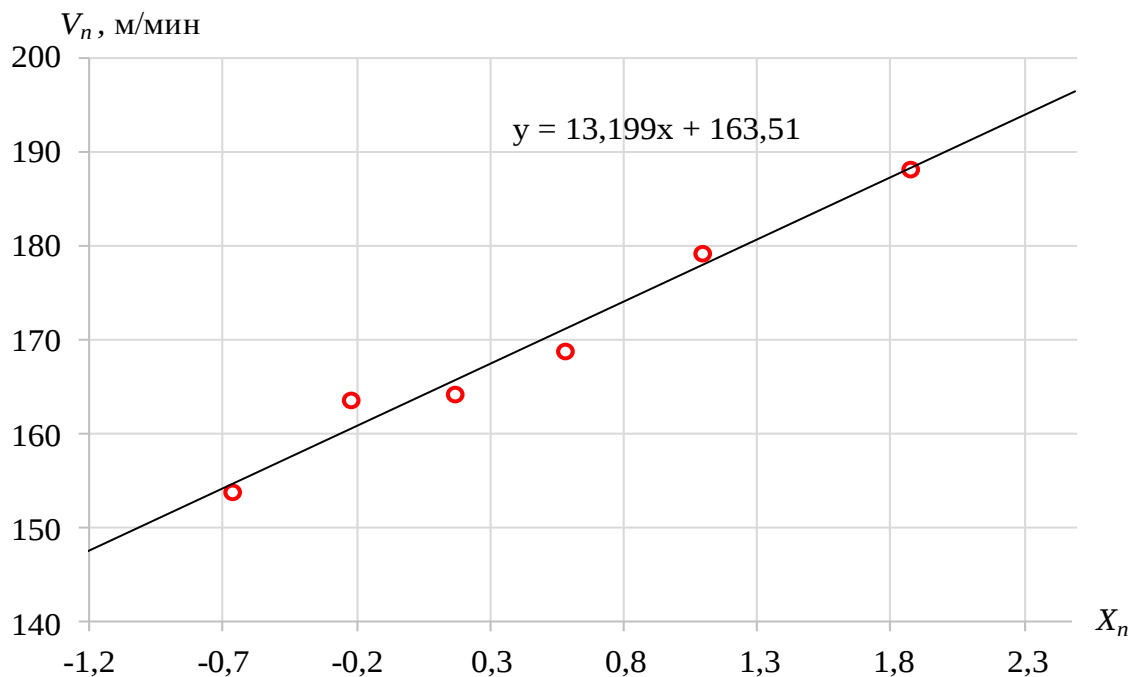


Рисунок 3.8 – Максимальные скорости движения прихожан в мечетях по горизонтальному пути, в дверном проёме и по лестнице вниз

Далее, для того чтобы преобразовать максимальные значения скорости движения отдельных прихожан в потоке в средние значения, которые равны скорости свободного движения, применялся закон о невозможности превышения максимального члена выборки ее удвоенного среднего значения [87]:

$$V_0^{\exists} = 0,5 \cdot V_n, \quad (3.17)$$

Далее к уравнению вида (3.18) применялось выражение (3.19) для получения промежуточного уравнения (3.20), характеризующего процесс изменения скорости свободного движения людей в мечетях  $V_0^{\exists}$  в зависимости от вероятности их движения  $P(V_n)$  с максимальной скоростью через проемы, по лестнице вниз и по горизонтальному пути.

$$V_n = a \cdot X_n + g, \quad (3.18)$$

$$X_n = -\ln(-\lg P(V_n)) - 0,83405, \quad (3.19)$$

$$V_0^{\Xi} = 76,25 - 6,6 \ln(-\lg P(V_n)). \quad (3.20)$$

Так как  $P(V_n) = 0,999$  при  $\Xi = 0,7$  и  $P(V_n) = 0,1$  при  $\Xi = 0$ , то была выявлена связь между имеющимися скоростями свободного движения и вероятным наблюдаемым уровнем эмоционального состояния прихожан.

$$V_0^{\Xi} = 76,25 - 6,6 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\Xi)]. \quad (3.21)$$

Посредством полученного уравнения (3.21) строился график прогнозируемых средних значений скорости движения людей в мечетях по горизонтальным путям и через проемы, а также по лестнице, в зависимости от вероятного наблюдаемого уровня их эмоционального состояния, отраженный на рисунке 3.9.

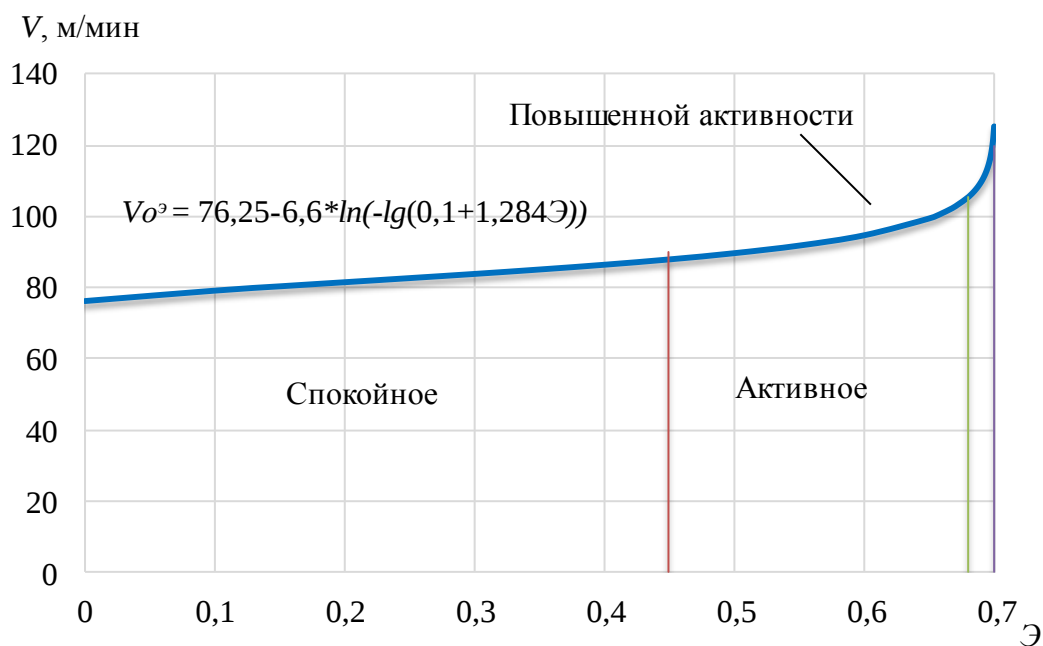


Рисунок 3.9 – Зависимость скорости свободного движения прихожан от уровня эмоционального состояния

График, представленный на рисунке 3.9, описывает влияние уровня эмоционального состояния прихожан на их двигательную активность, что позволяет установить зависимость скорости свободного движения ( $V_0$ , м/мин) от уровня эмоционального состояния ( $\Xi$ ) людей в мечетях. Первая стадия характеризуется «Комфортным движением» ( $0 < \Xi < 0,3$ ) и связана с

появлением слабых сигналов о возможности опасности, здесь происходит своеобразная подготовка организма к встрече с возможной опасностью. Вторая стадия определяется показателями эмоционального состояния ( $0,3 < \Xi < 0,7$ ), так как этой стадии соответствует состояние повышенной активности организма, сопровождающееся целесообразным поведением, направленным на устранение опасностей. Когда не удастся устранить опасность и возникает чувство бессилия по отношению к ней, тогда наступает стадия третья ( $0,7 < \Xi < 1$ ), характеризующаяся резким спадом активности с переходом в зону запредельного торможения.

Установленные значения скоростей свободного движения по лестнице вниз и горизонтальному пути в мечети представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Скорости свободного движения людей в мечетях по лестнице вниз и горизонтальному пути при соответствующих категориях движения

| Категории движения    | Скорость свободного движения людей $V_0$ м/мин |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| Комфортное            | $<76,25$                                       |
| Спокойное             | $76,25-87,99$                                  |
| Активное              | $87,99-105,53$                                 |
| Повышенной активности | $105,53-125,46$                                |

Проведенные исследования позволили выявить все значения величин, характеризующие закономерности связи между параметрами людских потоков в мечетях при любой категории движения.

В результате проведенных исследований представляется возможным выявить зависимости скорости движения потока от его плотности по горизонтальному пути и лестнице вниз, которые показаны на рисунке 3.10.

На графике видно, что скорость движения по лестнице в начальном диапазоне (до 3 чел/м<sup>2</sup>) выше, чем скорость людей, движущихся по горизонтальному пути, а при высоких плотностях скорость движения по лестнице уменьшается. Это связано с тем, что «лестница вниз» – сложный вид пути, где люди замедляют движение из-за опасения получить травму при падении.

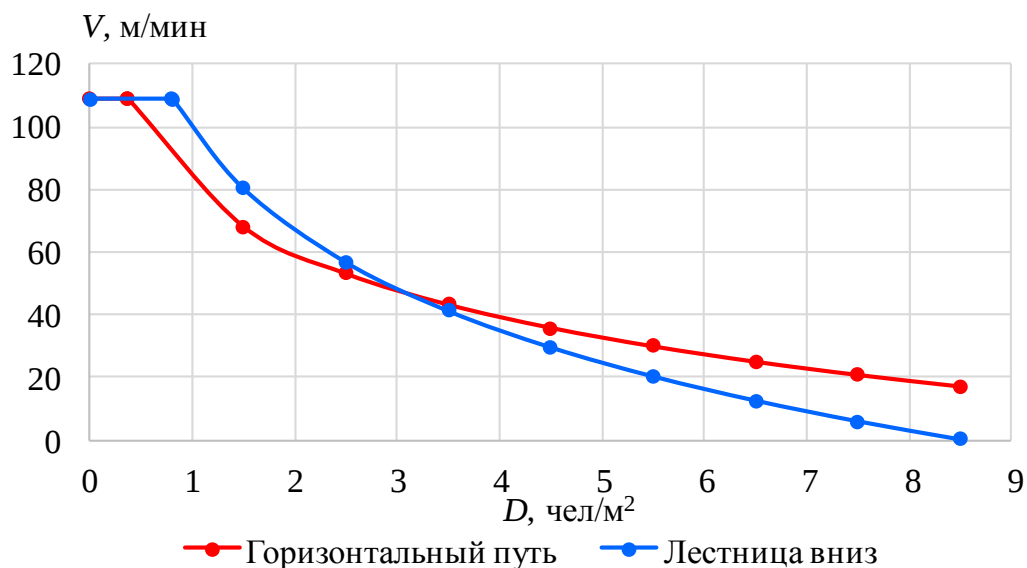


Рисунок 3.10 – Зависимость скорости движения потока по горизонтальному пути и лестнице вниз от плотности людского потока

При сравнении значений интенсивности движения в дверном проеме  $q$ , полученных экспериментальным путем в данном исследовании, с нормативными значениями, обращает на себя внимание их различие (рисунок 3.11) – значение  $q_{\max} = 196$  чел/(м·мин), являющееся нормированным для дверных проемов, отличается на 14,5 % от значения  $q_{\max} = 171$  чел/(м·мин), полученного в данном исследовании.

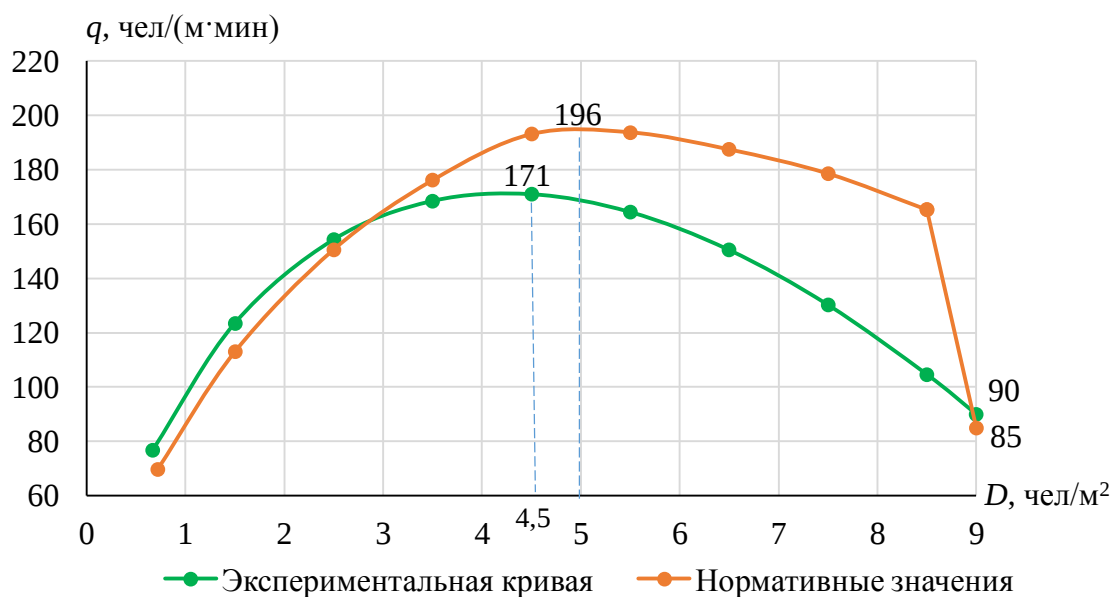


Рисунок 3.11 – Зависимость интенсивности движения людского потока через проем от его плотности

Расхождения могут быть объяснены несколькими аспектами физиологических и демографических изменений, наблюдающихся в последние десятилетия в структуре народонаселения.

На установление действующих сегодня нормативных значений параметров движения большое влияние оказали эмпирические данные, полученные более 40 лет назад на специально оборудованном манеже [34]. Как известно, в целом происходит постоянная акселерация общества, то есть человек постепенно «растёт». Если 50 лет назад средний рост человека был 160 сантиметров, то сейчас он на 5 сантиметров больше. Примерно на килограмм увеличилась и его масса [88]. Поэтому ввиду укрупнения людей, их количество, располагающееся на квадратном метре площади, стало меньше, следовательно, значение максимальной интенсивности движения соответственно уменьшилось. В то же время зарубежные [89] и отечественные [90] работы говорят о том, что основные массивы данных, которые используются в существующих руководящих документах, базируются на эмпирических данных пятидесятилетней давности [91, 92], которые не учитывают произошедшие за это время изменения в демографической структуре населения, связанные с его старением и снижением подвижности в результате увеличения массы людей всех возрастов [93].

Увеличение значения полученной интенсивности при максимальной плотности людского потока ( $D = 9$  чел/м<sup>2</sup>) объясняется тем, что наблюдаемый состав потока, а именно мужчины трудоспособного возраста, более активно преодолевают дверной проем.

### 3.4 Выводы по третьей главе

1. На основе натурных наблюдений исследован демографический состав основного функционального контингента мечетей. Количество наблюдаемых человек составило порядка 50 тысяч. Установлено, что свыше 95 % людей – это мужчины трудоспособного возраста (молодежь и люди старшего возраста, которые по своим физиологическим особенностям имеют довольно высокую скорость движения).

2. Впервые проведены натурные наблюдения и эмпирические исследования движения потоков людей в мечетях. В совокупности получено 1030 экспериментальных значений скорости движения людей в различных диапазонах плотности потока при движении по различным видам эвакуационных путей.

3. Определены значения параметров элементарных случайных функций, которые описывают зависимость скорости от плотности людских потоков при движении их по горизонтальному пути, через дверные проёмы, по лестнице вниз в мечетях. Теснота связи между скоростью движения функционального контингента и плотностью потока характеризует её как функциональную ( $\eta_r = 0,999$ ).

4. Выявлено и математически описано влияние эмоционального состояния на скорость свободного движения прихожан в мечетях. Получены значения скоростей движения по различным видам пути при различных категориях движения: спокойное, активное, повышенной активности. В соответствии с методологией теории движения людских потоков для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов должна быть использована категория движения «Повышенная активность».

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ МЕЧЕТЕЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ВЫХОДОВ**

### **4.1 Выбор критериев безопасной эвакуации для различных функциональных зон мечетей**

Для обеспечения безопасности людей необходимо создать условия для своевременной и беспрепятственной эвакуации, успешность которой во многом будет зависеть от размеров эвакуационных путей и выходов. Определение требуемых размеров эвакуационных выходов возможно путем установления параметров движения потоков людей и времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара (ОФП). Параметры движения людских потоков определены в предыдущих разделах, в то время как время блокирования ( $t_{\text{бл}}$ ) эвакуационных путей неизвестно. В связи с этим, основной задачей данного раздела явилось установление времени блокирования опасными факторами пожара путей эвакуации.

Расчет времени блокирования эвакуационных путей  $t_{\text{бл}}$  проводился с помощью дифференциальной модели PyroSim 2017.1x64, являющейся программным обеспечением Fire Dynamics Simulator (FDS). Данная полевая модель может прогнозировать распространение дыма, повышение температуры, концентрацию угарного газа и других опасных факторов во время пожара [94].

При выборе сценариев развития пожара проводился выбор участка нахождения первичного очага пожара, определялась расчетная область, т.е. производился учет необходимых элементов внутренней структуры мечети и задавались параметры дверных проемов, а также условия окружающей среды. Далее задавалась необходимая пожарная нагрузка, которая является идентичной для всех мечетей. После того как были получены результаты моделирования, определялось время достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений.

Важно отметить, что в конструктивном плане мусульманские культовые

сооружения отличаются от других зданий. В любой мечети можно выделить две ярко выраженные зоны (молельный зал и холл мечети), где постоянно пребывают люди во время молитвы (рисунок 4.1), пожар может произойти в любой из зон. Исходя из этого, моделированию распространения ОФП подлежала каждая из зон.

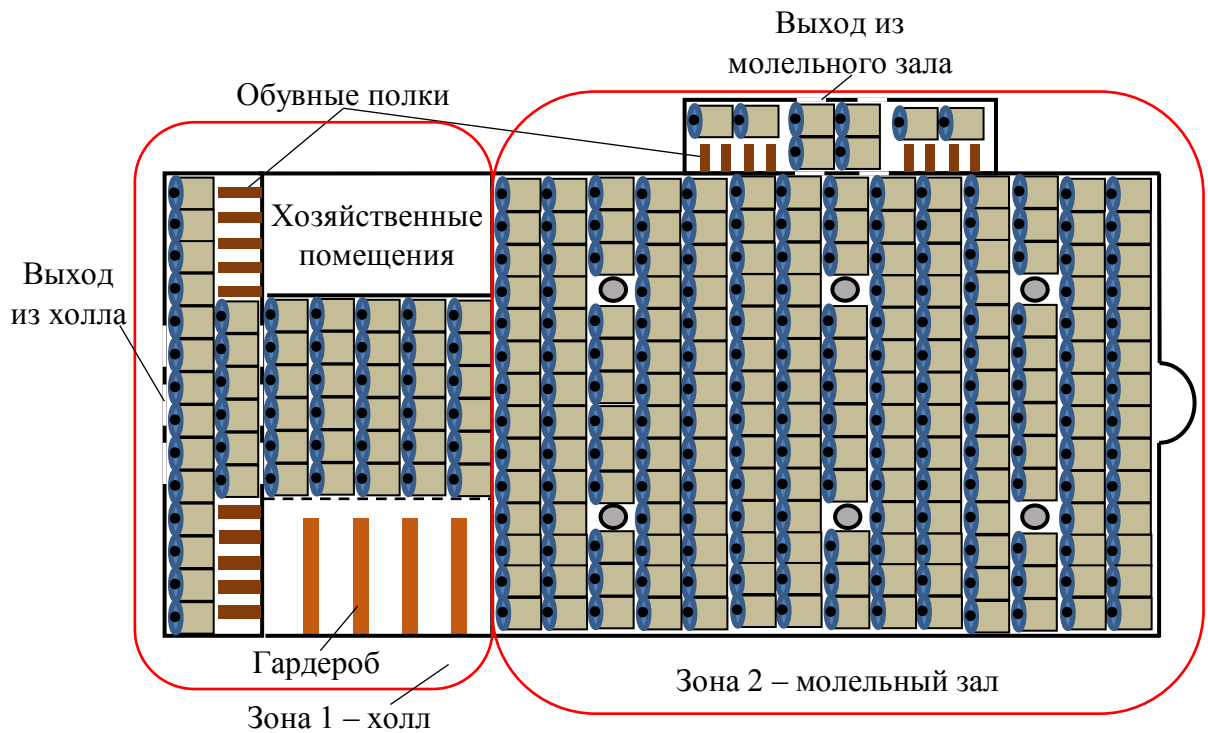


Рисунок 4.1 – Характерные зоны нахождения людей в мечети

Однако необходимо понимать, что в молельных залах за счет низкой пожарной нагрузки (ковровое покрытие) и большого по объему пространства время достижения критических значений ОФП будет иметь достаточно высокие значения. При таком сценарии своевременность эвакуации не будет определяющим фактором ее безопасности. Нормировать ширину эвакуационных выходов следует исходя из критерия беспрепятственности. В таком случае необходимо принимать во внимание нормативное время скопления  $t_{ск}$ , равное 6 минутам [68]. Потому как «необходимость исключения высоких травмоопасных плотностей в результате образования скоплений на путях эвакуации обусловлена возможностью гибели людей от компрессионной асфиксии» [95, 96]. Компрессионная асфиксия происходит при сдавлении груди и верхней полой вены, насыщающей кровью головной мозг. В результате

наступает резкое ограничение дыхания и постепенное отмирание клеток головного мозга.

Компрессионная асфиксия характеризуется двумя периодами. В предасфиксическом периоде происходит задержка дыхания, вследствие этого дыхательные движения становятся беспорядочными. Продолжительность данного периода составляет 2–3 минуты, в зависимости от физического состояния человека и от того, какая фаза дыхания предшествовала сдавливанию (выдох или вдох). Период асфиксии характеризуется следующими стадиями. На первых двух стадиях наступает одышка (сложность при вдыхании требуемого объема воздуха), что ведет к изменению артериального и венозного давлений, происходит общая заторможенность, а также отмечается слабость в мышцах. Третья стадия характеризуется кратковременными остановками дыхания и снижением чувствительности рефлексов. На четвертой стадии резко падает кровяное давление, в результате биоэлектрическая активность головного мозга снижается до нуля. Пятая стадия характеризуется остановкой дыхания и работы сердца, фиксируется клиническая смерть. Продолжительность всего асфиксического периода длится 5-6 минут [95, 96].

Ввиду того, что помимо основного функционального контингента «мужчины трудоспособного возраста» в составе людского потока в мечетях встречаются и пожилые люди, значение  $t_{\text{ск}}$  принималось равным 5 минутам.

В качестве объекта исследования была выбрана Московская соборная мечеть, построенная в 2015 году по прототипу многих соборных мечетей разных стран. В программе [94] была составлена модель рассматриваемой мечети размерами 26×34 м, высота купола составила 9,5 м, высота здания – 15,5 м (рисунок 4.2). Размер расчетной ячейки принимался равным 0,25 м. Моделирование производилось с размещением типовой для мечетей пожарной нагрузки – ковровое покрытие, полки для обуви, обувь, скамейки, гардеробные шкафы. Воздействие атмосферной среды считалось незначительным ввиду высокой требуемой степени изоляции микроклимата искусственной среды в мечетях за счет герметизации ее ограждающих конструкций.

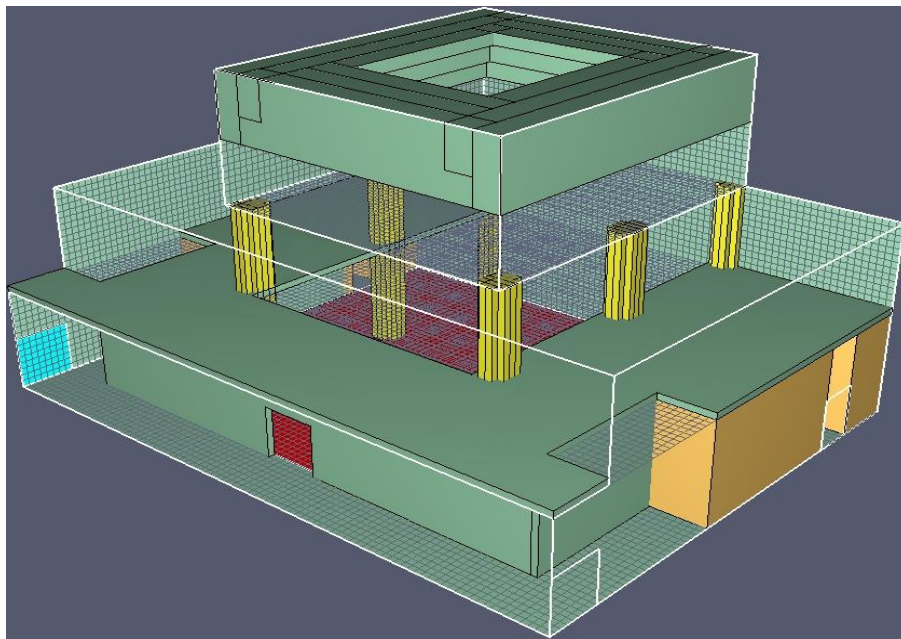


Рисунок 4.2 – Трехмерная модель здания мечети

Показатели измерения ОФП фиксировались группой виртуально-измерительных датчиков на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола у выходов из помещения, поскольку при достижении на данном уровне критических значений любого из ОФП безопасная эвакуация людей из помещения становится невозможной (рисунок 4.3).

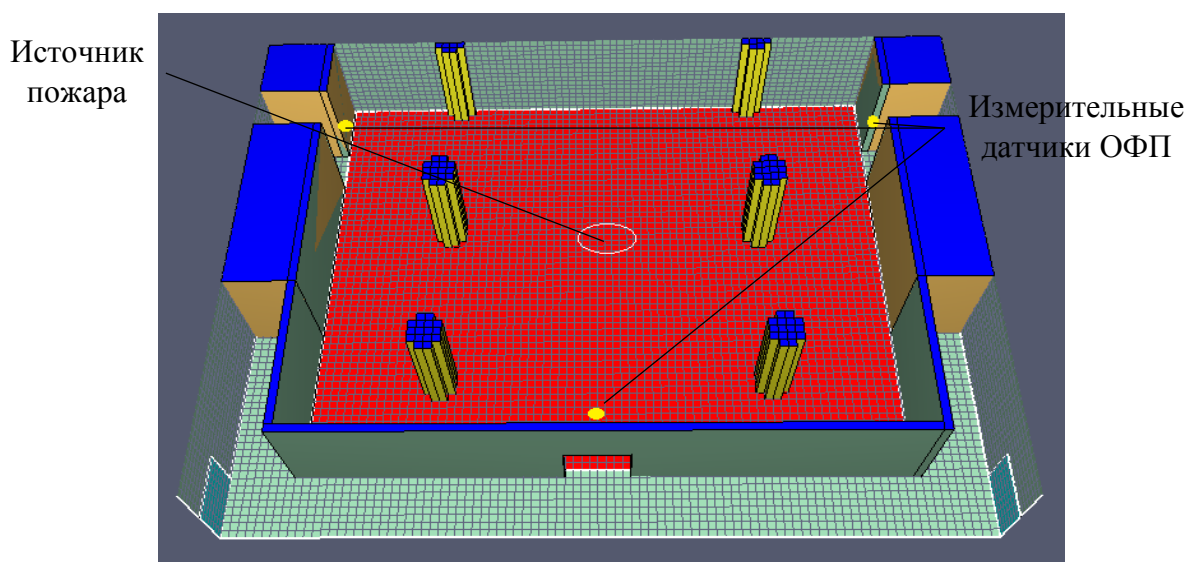


Рисунок 4.3 – Места расположения измерительных датчиков  
и очага расчетного пожара

Исходя из того, что прихожане во время коллективных молитв располагаются как в молельном зале, так и в холле мечети, то в настоящем исследовании рассматривались наиболее вероятные сценарии развития пожара в мечети.

Сценарий №1 включал в себя пожар в центре молельного зала.

Сценарий №2 – пожар в холле мечети, с различными вариантами горючей нагрузки, а именно:

- вариант 1 – горение обувных полок;
- вариант 2 – горение верхней одежды в гардеробе;
- вариант 3 – горение коврового покрытия перед выходом из мечети;
- вариант 4 – горение лавок из древесины;
- вариант 5 – горение деревянных ящиков для сбора пожертвований.

В первом сценарии при пожаре в молельном зале в качестве горючей нагрузки, имеющейся в базе данных PyroSim 2017.1x64, была выбрана «Отделка: ковролин». Время моделирования составило 600 с и критическое время по каждому из ОФП определялось как время достижения этими факторами предельно-допустимых значений на путях эвакуации.

Определение достижения ОФП предельных значений оценивалось по шести показателям: температуре, дальности видимости, тепловому потоку, концентрации кислорода  $O_2$ , угарного газа CO и углекислого газа  $CO_2$ .

Анализ изменения температуры в зависимости от времени распространения пожара показал, что температура ( $T$ ) на высоте 1,7 м от уровня пола достигает критических для человека значений ( $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) только в зоне, непосредственно примыкающей к очагу горения (рисунок 4.4).

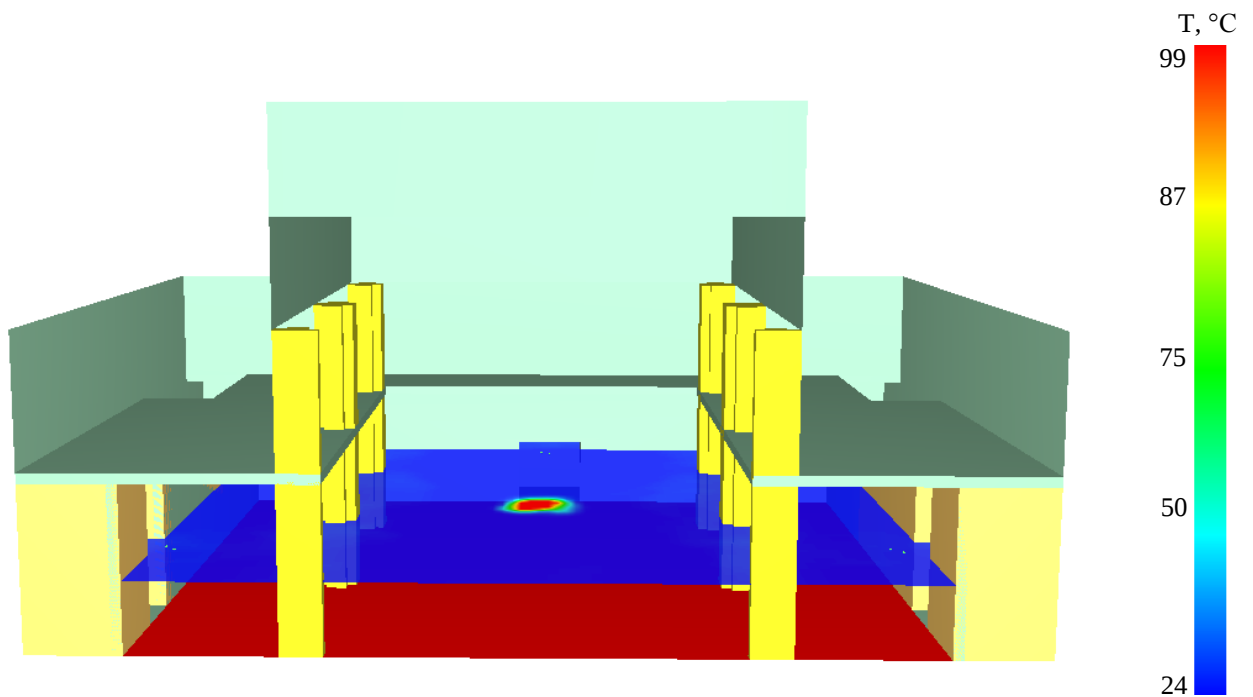


Рисунок 4.4 – Температура в мечети спустя 5 минут после начала пожара

Ограничение видимости ( $vid$ ) в дыму за время моделирования 5 минут не превышает предельного значения (рисунок 4.5).

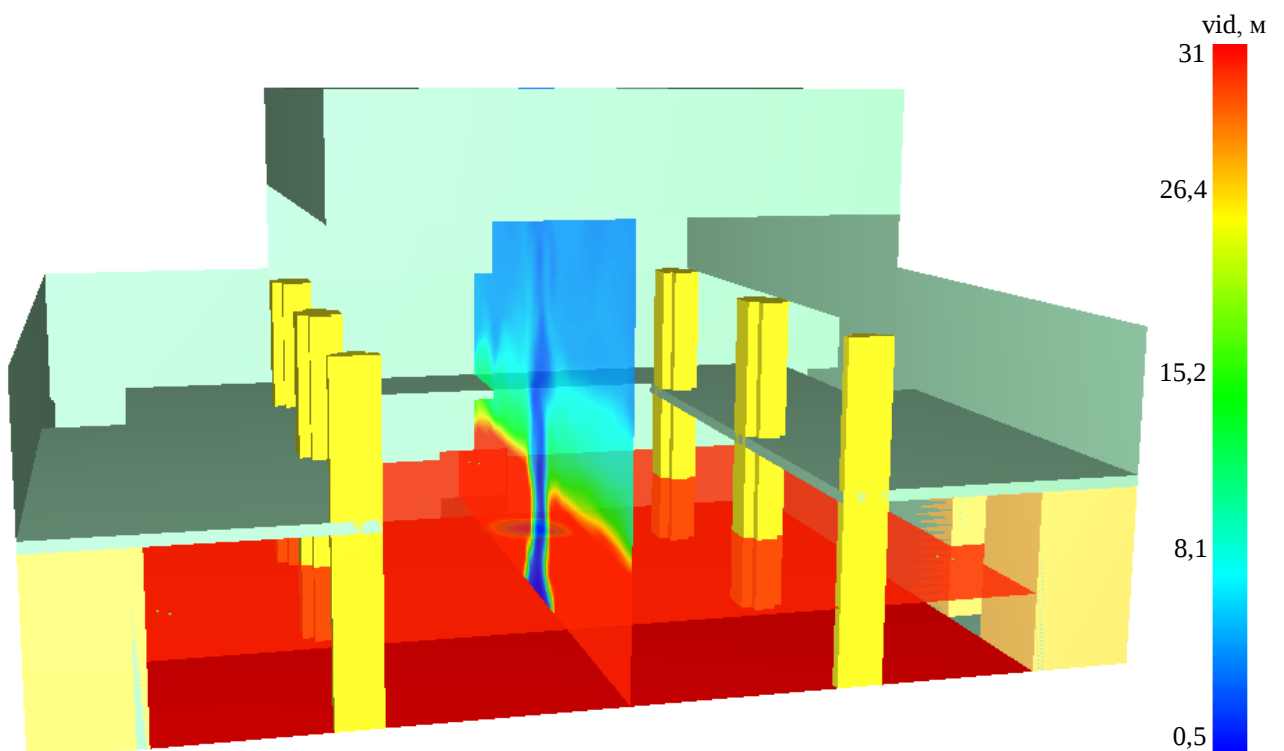


Рисунок 4.5 – Видимость в объеме помещения спустя 5 минут после начала пожара

Моделирование распространения дыма в объеме рассматриваемого помещения показывает, что за счет развитого по вертикали пространства в молельном зале концентрация дыма не достигает критического значения за время более 5 минут (рисунок 4.6).

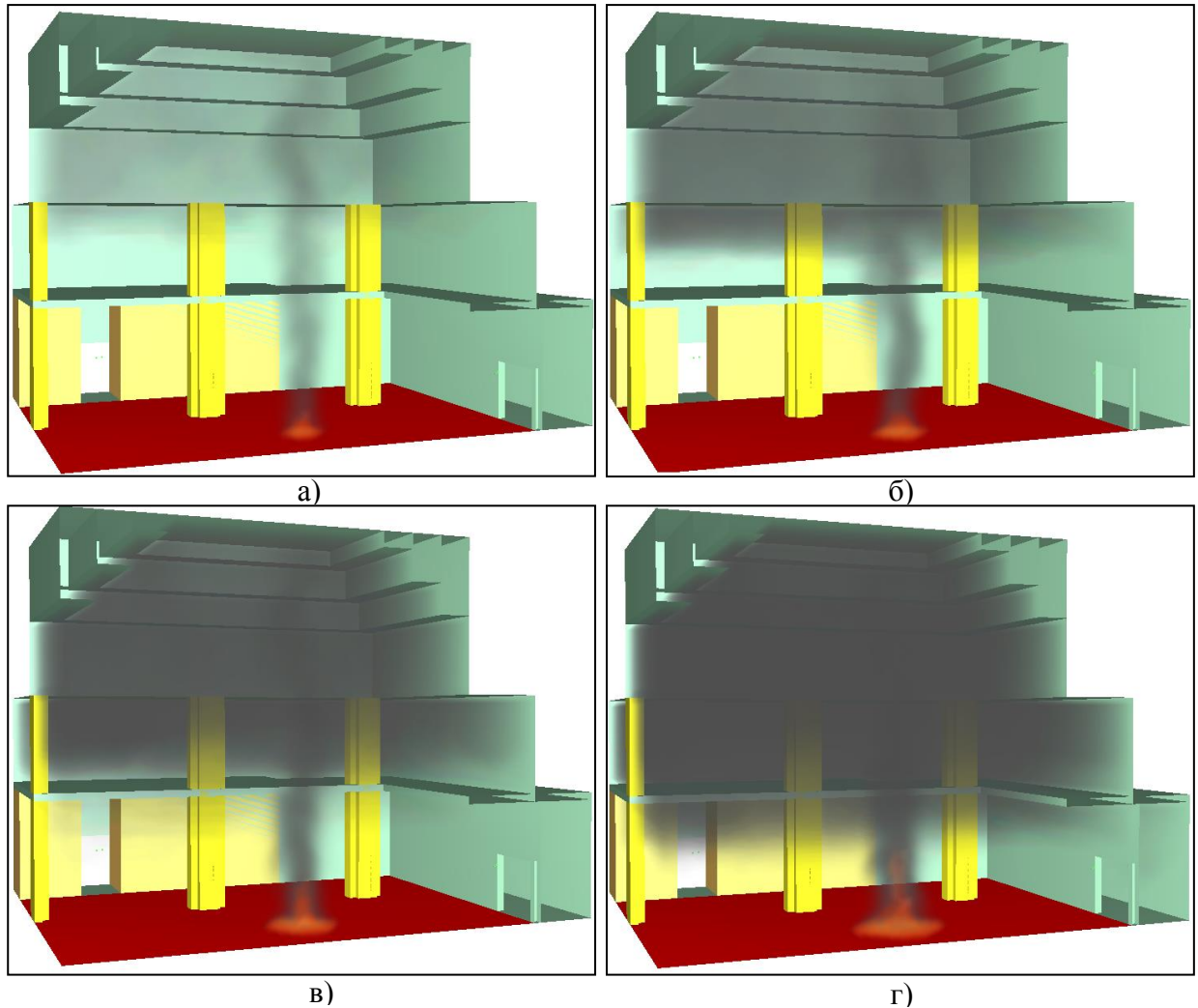


Рисунок 4.6 – Распространение дыма в молельном зале:

а) на второй минуте; б) на третьей минуте;  
в) на четвертой минуте; г) на пятой минуте

Графики развития ОФП в объеме молельного зала, определенные группой виртуально-измерительных датчиков, расположенных на высоте 1,7 м от пола у выходов из помещения, представлены на рисунке 4.7.

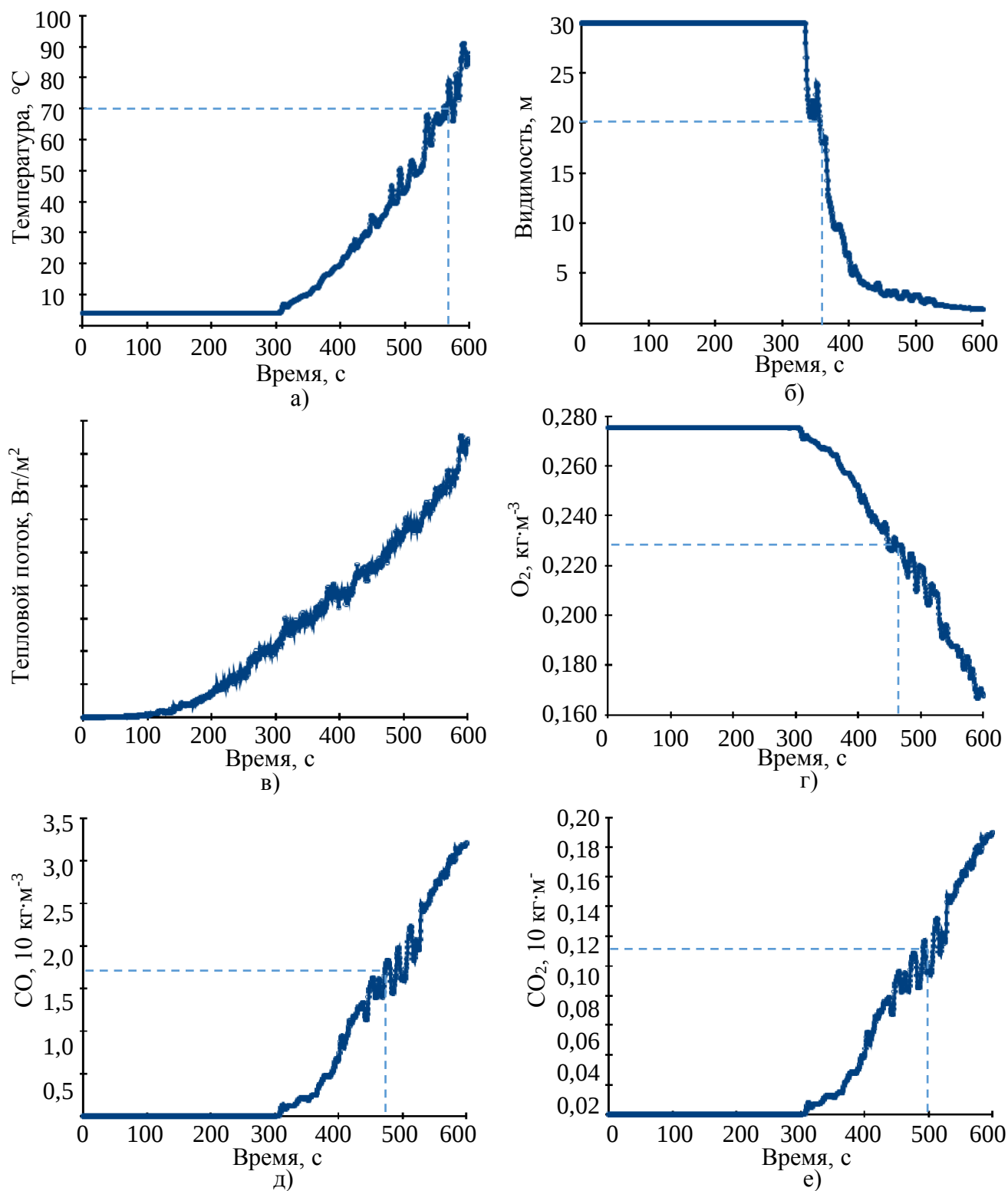


Рисунок 4.7 – Результаты моделирования ОФП на высоте 1,7 м у выхода из  
модельного зала:

- а) температура; б) потеря видимости в) тепловой поток;  
г) концентрация кислорода, O<sub>2</sub>; д) концентрация угарного газа, CO;  
е) концентрация углекислого газа, CO<sub>2</sub>

Из результатов моделирования времени блокирования путей эвакуации в молельном зале ясно, что время наступления критического значения ОФП наступает по потере видимости и составляет 360 с., т.е. 6 мин. Это говорит о том, что за счет развитого по вертикали подкупольного пространства в молельных залах ОФП не определяют необходимое время эвакуации ( $t_{нб.}$ ). Существенным выводом будет являться то, что в молельных залах мечетей размеры эвакуационных выходов необходимо нормировать на основе такого критерия безопасной эвакуации, как беспрепятственность, т.е. движения без образования высоких травмоопасных плотностей (менее 5 чел/м<sup>2</sup>). Результатом явилось то, что необходимое время эвакуации в молельных залах не должно превышать времени скопления людей, равное 5 минутам.

Второй сценарий определения времени блокирования предполагает развитие пожара в холле мечети, где имеется многочисленная горючая нагрузка в меньшем объеме помещения в отличие от молельного зала. Основными элементами внутреннего убранства холла являются:

- лавки для снятия или надевания обуви, которые, как правило, сделаны из древесины;
- ковровое покрытие, уложенное по всей территории холла мечети;
- специальные стеллажные полки для обуви;
- гардероб для верхней одежды, используемый в зимний период;
- деревянные ящики для пожертвования, размещенные при входе в молитвенные залы.

В виду того, что динамика распространения ОФП имеет случайный характер, то было принято в расчетах  $t_{бл}$  для холла мечети рассматривать следующие типы пожарной нагрузки: «Резинотехнические изделия; резина, изделия из нее», «Гардеробы», «Верхняя одежда; ворс. ткани (шерсть + нейлон)», «Дерево + лак. покрытие», «Отделка ковровин» [97, 98].

Определение времени блокирования путей эвакуации производилось путем составления модели помещения холла, где высота потолков составляет 3 м. Виртуально-измерительные датчики для определения показателей ОФП

распределялись у выхода из мечети на высоте 1,7 м от пола. На рисунке 4.8 показана трехмерная модель фойе с основной пожарной нагрузкой.



Рисунок 4.8 – Трехмерная модель холла мечети с необходимой пожарной нагрузкой

Все элементы, обозначенные на рисунке 4.8, являются неотъемлемыми частями внутреннего убранства холла мечети, поэтому их наличие является обязательным для каждой мечети.

Ввиду многообразия горючей нагрузки (рисунок 4.8), а также многообразия возможных вариантов распространения пожара (круг, полукруг, сектор) в холле мечети, были промоделированы различные варианты его развития. На рисунке 4.9 показаны различные формы распространения горения в помещении холла мечети, а в таблице 4.1 приведены результаты моделирования наступления критических значений времени блокирования эвакуационных выходов в зависимости от пожарной нагрузки.

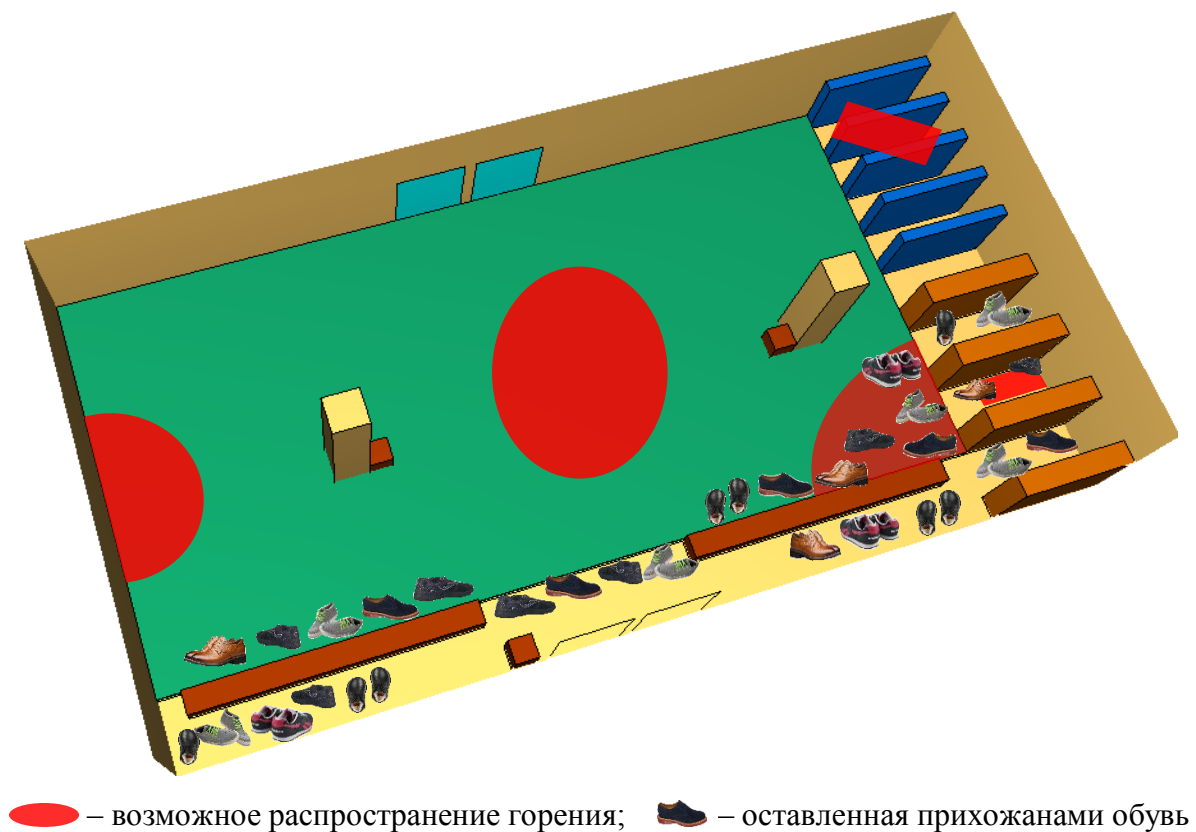


Рисунок 4.9 – Формы возможного распространения горения в холле мечети

Таблица 4.1 Значения времени блокирования путей эвакуации в холле

| №<br>п/п | Пожарная нагрузка                                 | Время блокирования $t_{\text{бл.}}$ , мин.<br>для холла мечети |
|----------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1        | Верхняя одежда; ворсовые ткани (шерсть + нейлон)  | 1,5                                                            |
| 2        | Резинотехнические изделия; Резина, изделия из нее | 1,4                                                            |
| 3        | Гардеробы                                         | 1,7                                                            |
| 4        | Дерево + лак. покрытие                            | 3,2                                                            |
| 5        | Отделка ковровлин                                 | 2,9                                                            |

Моделирование развития ОФП для определения времени блокирования эвакуационных выходов в холле мечети показало, что минимальным  $t_{\text{бл}}$  является значение, равное 1,4 мин., т.е. 84 с., при секторном развитии горения. Это объясняется тем, что у края коврового покрытия скапливается наибольшее количество обуви. В результате предельное значение ОФП наступило по такому параметру как дальность видимости при горении изделий из резины.

Из результатов моделирования развития ОФП ясно, что наиболее опасное место в мечети – это холл, где оставленная прихожанами обувь влияет на необходимое время эвакуации. В свою очередь, из-за наличия беспорядочно лежащей обуви в

холле мечети невозможно регулировать скопление людей. Из проведенного исследования установлено, что интенсивность при максимальной плотности равняется 90 чел/(м·мин). Иными словами, в холле мечети идет образование скопления людей с максимальной плотностью. Отрегулировать этот процесс невозможно. Однако учесть данную особенность процесса мусульманского богослужения можно. Необходимо обеспечить безопасную эвакуацию людей из холла за время  $t_{\text{бл}} = 1,4$  мин.

Результаты проведения многовариантного анализа времени блокирования путей эвакуации ОФП позволяют сделать принципиально важные выводы:

- за время выхода людей из молельного зала ОФП не достигают критических значений за счет развитого по вертикали подкупольного пространства. Здесь главным фактором, определяющим безопасную эвакуацию людей, является допустимое время скопления ( $t_{\text{ск}}$ ), которое равняется 5 минутам. Следовательно, при сценарии, когда люди решат эвакуироваться через выходы в молельном зале, ширину следует нормировать исходя из условия допустимого времени скопления;

- временем достижения ОФП критических значений в холле мечети является время, равное 1,4 мин., т.е.  $t_{\text{бл}} = 84$  с. Это означает то, что в холле мечети требования к нормированию путей эвакуации определяют ОФП.

Однако в существующих в настоящее время нормах [15] приводятся данные о необходимом времени эвакуации из молельных залов (таблица 4.2). По всей видимости, это подразумевает, что размеры эвакуационных путей и выходов нормируются на основе такого критерия как своевременность.

Таблица 4.2 – Необходимое время эвакуации из молельных залов по СП 258.1311500

| Объем зала, м <sup>3</sup> | Необходимое время эвакуации, $t_{\text{нб}}$ , мин |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| До 5 000                   | 2,5                                                |
| От 5 000 до 10 000         | 3,5                                                |
| От 10 000 до 20 000        | 4,0                                                |
| От 20 000 до 25 000        | 4,2                                                |
| От 25 000 до 40 000        | 4,5                                                |
| От 40 000 до 60 000        | 5,0                                                |
| Из здания в целом          | 6,5                                                |

Важно отметить, что если в СП 258.1311500 имеются данные по нормированию ширины эвакуационных выходов в молельных залах, то о холлах там отсутствует какая-либо информация. Тем не менее, самым опасным местом в мечети будет входная группа, так как помимо высокой плотности людей во время молитв, там находятся тысячи пар обуви (загромождение путей эвакуации), гардероб (высокая пожарная нагрузка), невысокие потолки (быстрое блокирование путей эвакуации).

После определения критериев нормирования эвакуационных выходов в мечетях необходимо установить и связать площадь с численностью прихожан, потому как рекомендации по нормированию без этого будут невозможны.

#### **4.2 Установление связи площади с численностью функционального контингента в мечетях**

Праздничные и пятничные дни в исламе сопровождаются выполнением коллективных молитв. Каждый такой день в мечети заполнены людьми так, что пройти между молящимися не представляется возможным (рисунок 4.10). Важно то, что вместимость мечетей, заявленных в проекте, не соответствует реальной ситуации.



Рисунок 4.10 – Заполненный молитвенный зал

В зарубежных исследованиях [99] прописаны положения по необходимым размерам на одного молящегося, которые равны  $0,8 \times 1,2$  м, что составляет  $0,96$  м<sup>2</sup>. Натурные наблюдения на реальных молитвах визуально опровергают

данные показатели, так как в реальности на молитвах верующие прижимаются плечом к плечу друг к другу насколько это возможно.

В актуальном нормативном документе [15], прописано, что для молитвенных залов культовых зданий с расчетным числом посетителей, количество прихожан рассчитывается исходя из количества сидячих мест плюс количество людей, определенное из условия  $0,8 \text{ м}^2$  площади молельного зала на одного человека, не занятой оборудованием. Если молельный зал с нерасчетным числом посетителей, то количество людей определяется из расчета на одного человека  $0,5 \text{ м}^2$  площади молельного зала, включая площадь, занятую оборудованием. Для всех остальных помещений – в соответствии с функциональным назначением этих помещений [15].

В мечетях специальные сидячие места отсутствуют. В этой связи, численность прихожан необходимо определять из расчета  $0,5 \text{ м}^2/\text{чел}$  (учитывается общая площадь молитвенного зала). Однако в нормах присутствует еще одна цифра  $0,8 \text{ м}^2/\text{чел}$  (в расчете идет учёт свободной от оборудования и конструкций площади). Следует отметить, что в дни мусульманских праздников молитва происходит не только в молельных залах, но и в проходах и иных местах, где могут расположиться молящиеся (рисунок 4.11). Нигде в нормах это не учитывается, поэтому следует либо запретить людям молиться в лестничных клетках, либо учитывать данный факт при расчете эвакуации.



Рисунок 4.11 – Пятничная молитва на лестничном марше

По всей видимости, авторы проекта СП учитывают некие средние по всем видам культовых зданий показатели, хотя очевидно, что необходимо дифференцировать здания, как минимум, по конфессиональному признаку (христианство, ислам, буддизм и т.п.). Отметим, что даже в христианских храмах размещение людей и процесс эвакуации будут отличаться (таблица 4.3). Например, в католической и протестантской церквях есть сидячие места для посетителей, а в православных – нет. Это ведет к формированию людских потоков в источниках с совершенно различными параметрами, что оказывает существенное влияние на параметры людских потоков в ходе дальнейшего движения к выходам.

Таблица 4.3 – Отличительные особенности размещения людей в религиозных зданиях

| <b>Объекты религиозного назначения</b> | <b>Особенности размещения людей</b>      |
|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Католические церкви                    | Сидя, есть специальные места для сидения |
| Протестантские церкви                  |                                          |
| Синагоги                               |                                          |
| Православные церкви                    | Стоя, специальных мест для сидения нет   |
| Мусульманские мечети                   | Сидя, специальных мест для сидения нет   |

Возвращаясь к мечетям, повторимся, что на коллективных молитвах верующие стоят, прижавшись плечами друг к другу, соблюдая при этом равнение по рядам (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 – Плотное расположение молящихся в рядах

Это, бесспорно, влияет на занимаемую ими площадь. В виду деформации тела человека и одежды площадь, занятая одним человеком, читающим намаз в составе ряда, даст другую площадь горизонтальной проекции, нежели человек таких же габаритов, читающий намаз отдельно [100].

Беря во внимание вышесказанное, следует измерить площадь верующего в составе ряда, а также площадь, занимаемую им при индивидуальной молитве (не в ряду), что позволит установить реальную вместимость молитвенных залов и мечетей в целом. Для решения этой задачи применялось 2 способа.

1) Для установления площади, занимаемой одним человеком в молитвенном зале, необходимо длину ряда поделить на количество молящихся в ряду, по формуле:

$$S_m = L_p / N_p, \quad (4.1)$$

где  $S_m$  – площадь одного молящегося в ряду;  $L_p$  – длина ряда;  $N_p$  – количество молящихся в составе ряда.

Произведя расчеты определено значение, которое занимает в составе ряда один человек, равное  $0,6 \text{ м}^2$ .

2) Путем установления средней площади горизонтальной проекции прихожан при молитве.

Известно, что при совершении намаза, молящийся принимает различные положения туловища (позы) (рисунок 4.13). Поэтому следующим шагом следовало определение площади, занимаемой одним человеком в различных положениях при намазе, выверить необходимое для этого расстояние и расстояние между рядами [100].

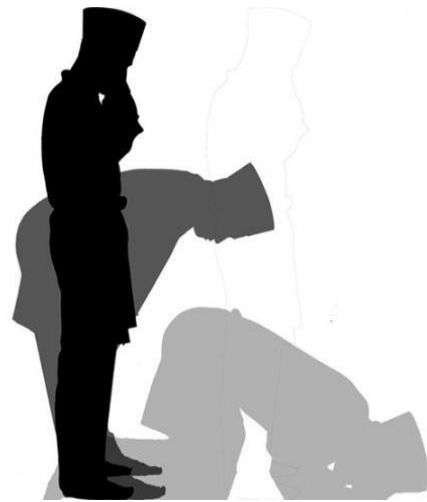


Рисунок 4.13 – Положения при молитве

Намазы в исламе выполняются в следующих положениях:

- молящийся стоит (руки, поднятые до уровней ушей);
- выполнение поясного поклона;
- совершение земного поклона;
- сидя (преимущественно на левой ноге).

Наибольшую площадь при намазе человек занимает в положении земного поклона. Средняя площадь горизонтальной проекции мужчин различной комплекции в статичном положении составляет в среднем  $0,55 \text{ м}^2$  (рисунок 4.14). Но для совершения религиозных действий и смены положений необходимо не менее  $0,6 \text{ м}^2$ .

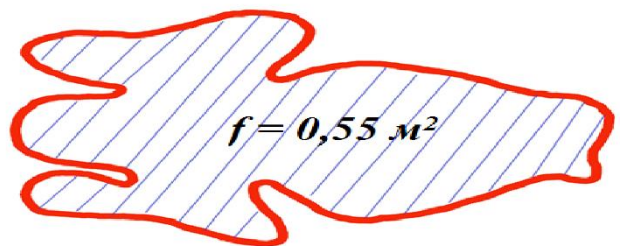


Рисунок 4.14 – Площадь, занимаемая при земном поклоне

Однозначно, расчетчикам и проектировщикам удобнее оперировать общей площадью зала. В ином случае необходимо будет учитывать расположение

минбара (кафедры), площадь и количество колонн и т.п., что относится к внутреннему убранству религиозных объектов.

Иначе говоря, при установлении полезной площади мечети необходимо учитывать площадь в ней, занятую конструкциями и оборудованием.

В этой связи, авторами были рассмотрены наиболее характерные, с точки зрения архитектурного исполнения, мечети Москвы, в которых внутреннее убранство молельных залов явно отличалось друг от друга:

- Московская соборная мечеть, расположенная по адресу: Выползов переулок, д. 7;
- Мечеть «Ярдам», расположенная по адресу: ул. Хачатуряна, 8 к. 4;
- Историческая мечеть г. Москвы, расположенная по адресу: ул. Большая Татарская, д. 28 с. 2.

Соотношение площади молитвенного зала и количества людей показало, что численность прихожан должно определяться из соотношения 0,6 м<sup>2</sup> площади, свободной от конструкций и оборудования на 1 человека. Если же их совокупная площадь не известна – 0,7 м<sup>2</sup>/чел. Таким образом, зная какая категория людей посещает мечеть и в каком количестве, а также учитывая время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара как в самом молельном зале, так и в холле мечети, представляется возможным разработать комплекс мер для снижения риска гибели людей в мечетях.

#### **4.3 Определение ширины эвакуационных выходов на основании полученных данных**

Полученные данные в результате исследования позволяют решить задачу по определению ширины эвакуационных выходов в холле мечети. На этапе проектирования культового здания суммарную ширину эвакуационных выходов для холла следует определять:

$$\sum b_{\text{вых}} = N / q_{D\text{max}} \cdot t_{\text{бл}}, \quad (4.2)$$

где  $N$  – вместимость холла (из расчета –  $0,7 \text{ м}^2/\text{чел}$ ), чел;  $q_{D\max}$  – интенсивность потока людей (по полученным данным  $90 \text{ чел/м} \cdot \text{мин}$ ) при максимальной плотности ( $9 \text{ чел/м}^2$ );  $t_{\text{бл}}$  – время блокирования путей эвакуации (для холла  $t_{\text{нб}} = 1,4 \text{ мин}$ , т.е.  $84 \text{ с}$ );

Преобразуя формулу (4.2), получаем упрощенный вид, удобный при расчете суммарной ширины эвакуационных выходов в фойе мечети (4.3):

$$\sum b_{\text{вых}} = 0,008 \cdot N, \quad (4.3)$$

где  $N$  – вместимость мечети, чел.

Определение суммарной ширины эвакуационных выходов позволяет утверждать, что самое опасное место в мечети – это не мольный зал, а место, где прихожане снимают верхнюю одежду, т.е. холл. В действующих на сегодняшний день нормах [15] об этом ничего не говорится.

Но успешная эвакуация людей зависит не только от суммарной ширины выходов. Важно назначить критерии, которые должны выполняться при назначении каждого отдельного выхода.

Исходя из того, что демографический состав прихожан в мечети разнородный, то при проектировании мечетей следует учитывать эргономические условия для комфортного нахождения маломобильных групп населения [66]. Необходимо также учесть то, что для обеспечения беспрепятственности следует предусмотреть возможность обгона более физически сильными людьми маломобильных групп граждан.

Предлагается размеры каждого эвакуационного выхода нормировать не менее ширины кресла-коляски ( $b = 0,9 \text{ м}$ ) и далее пропорционально ширине потока, кратно ширине человека в плечах ( $b = 0,6 \text{ м}$ ) [83]. Тогда ширина выходов будет нормироваться из условия не менее:  $0,9 \text{ м}$  и далее с шагом  $0,6 \text{ м}$ .

Ширину каждого эвакуационного выхода  $\delta$  необходимо рассчитывать по формуле 4.4:

$$\delta = 0,6 n \geq 0,9, \quad (4.4)$$

где  $n$  – количество эвакуирующихся, проходящих через проем одновременно.

То есть ширина выходов может быть равна: 0,9; 1,5; 2,1; 2,7 м (рисунок 4.15) и т.д.

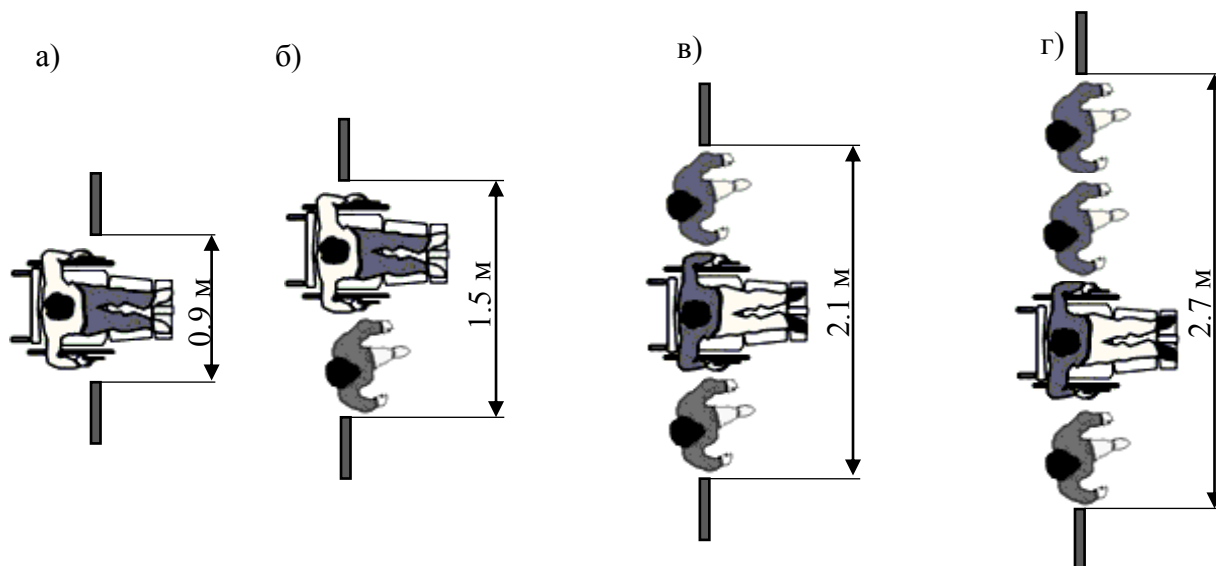


Рисунок 4.15 – Варианты преодоления дверного проема с учетом совместного движения людей различной мобильности:

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

Для повышения безопасности эвакуации людей в мечетях необходимо понимать важности бросания обуви на путях эвакуации. Большое количество обуви само по себе существенным образом загромождает пути эвакуации, а также ведет к созданию помех за счет людей, остановившихся для ее надевания (рисунок 4.16).



Рисунок 4.16 – Оставленная обувь на путях эвакуации

Ввиду того, что скорость людей в пределах всего здания при эвакуации разная (максимальная, когда люди ощущают и видят пожар, минимальная, когда угрозы жизни не ощущается), то можно предположить, что люди, находящиеся у выхода из мечети и не видя признаков ОФП, при получении команды об эвакуации не пойдут сразу к выходу, а займутся поиском своей обуви, потому как не испытывают эмоциональной возбужденности. Это приведет к задержке людского потока, соответственно, безопасная эвакуация не будет обеспечена.

Помимо этого, ко внутреннему убранству мусульманских молитвенных зданий относятся ящики для пожертвований, расположенные на путях эвакуации при выходе в молитвенный зал. Располагать такие ящики следует так, чтобы они не занижали фактическую ширину эвакуационных выходов и не служили препятствием для эвакуирующихся людей (рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Ящик для сбора пожертвований

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

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. Далее, зная площадь и форму этого людского образования, можно определить необходимое расстояние, которое должно быть свободно от молящихся на улице. Следует отметить, что людской поток после прохода проема образует трапецевидную форму, однако ввиду сложности применения такой формы на практике принимается прямоугольник (рисунок 4.18).

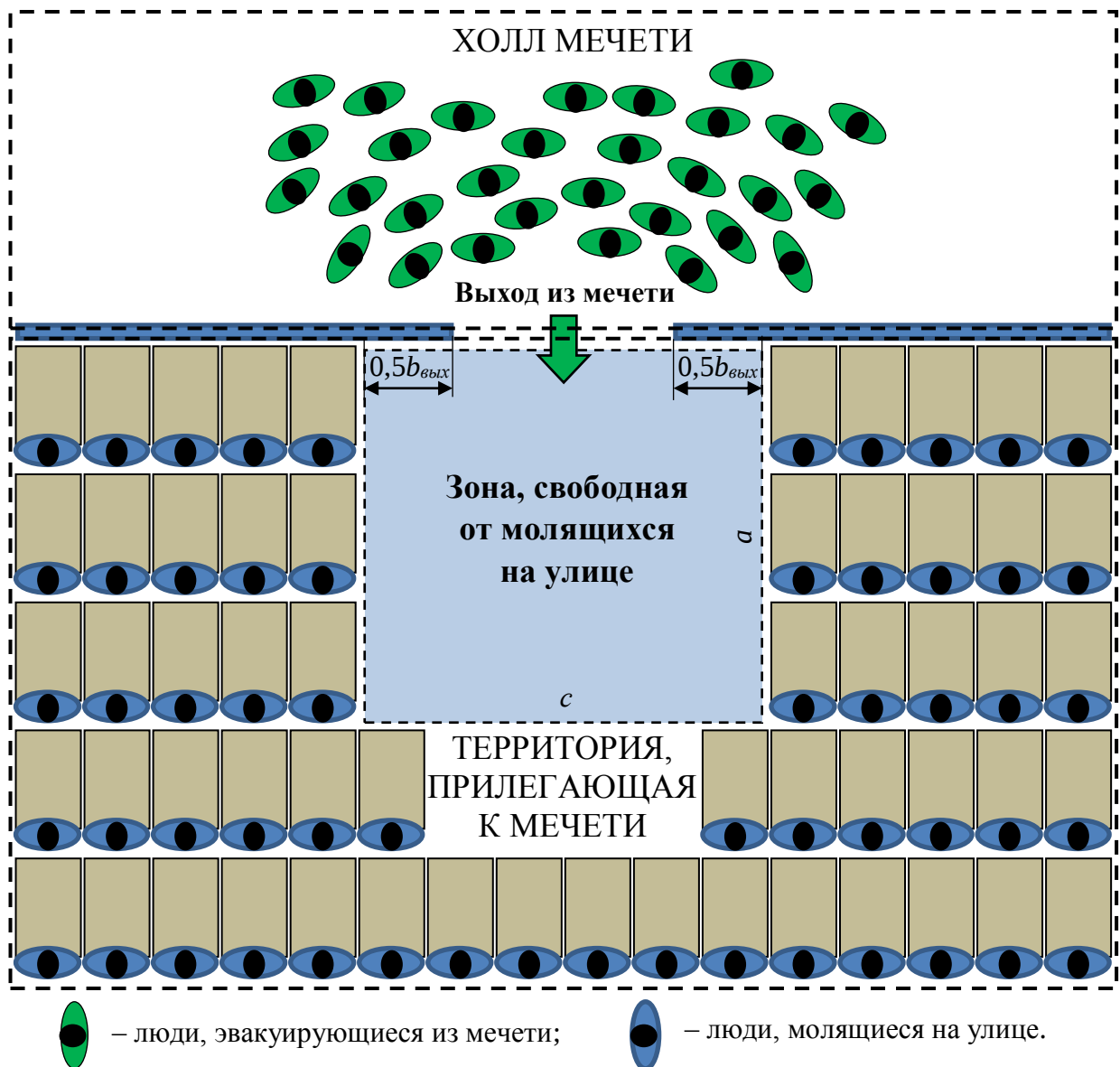


Рисунок 4.18 – Пример свободной зоны на улице у выхода из мечети

Для беспрепятственной эвакуации через эвакуационный выход необходимо разместить людей, находящихся в холле на территории, сразу за выходом из мечети с плотностью 2 чел/м<sup>2</sup> (установлено по данным натурных наблюдений). Тогда ширина прямоугольника равна удвоенной ширине проема ( $c = 2 b_{\text{вых}}$ ) (см. рисунок 4.18). А зная количество людей в холле можно определить длину  $a$  стороны прямоугольника (4.5):

$$a = \frac{N_{\text{холл}}}{4b_{\text{вых}}}, \quad (4.5)$$

или площадь холла (4.6):

$$a = \frac{F_{\text{холл}}}{2,8b_{\text{вых}}}. \quad (4.6)$$

В случае эвакуации людей из мечетей необходимо, чтобы функционировали все двери, выводящие на улицу. В некоторых мечетях руководство культового здания использует для выхода после коллективных молитв только двери, оборудованные контрольно-пропускным пунктом. Сделано это с целью антитеррористической профилактики. В случае, если этими мерами нельзя пренебречь, то руководству мечети необходимо предусмотреть, чтобы на хутбах (проповедях) говорилось о существовании всех имеющихся выходов в мечети, а для направления движения людей также можно привлечь волонтеров, которые ознакомлены со структурой мечети (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Волонтер в мечети

Важно также четко проговаривать на проповедях, чтобы в случае эвакуации люди не тратили время на поиск обуви и личных вещей. Следует также требовать, чтобы прихожане не загромождали выходы и не пытались снова проникнуть в здание, потому как им это сделать все равно не удастся, а уменьшить фактическую ширину выхода они могут.

Таким образом, в настоящей работе решена задача не только нормирования необходимых размеров эвакуационных путей и выходов, но и даны рекомендации, необходимые для реализации возможности их использования в случае пожара.

#### 4.4 Выводы по четвертой главе

1. На основе анализа объемно-планировочных решений и особенностей осуществления основного функционального процесса, выявлены наиболее сложные, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, и характерные зоны зданий мечетей: молельный зал и входная группа (вестибюль). Для каждой из этих зон установлены свои отдельные критерии для обеспечения безопасной эвакуации людей: для молельного зала – беспрепятственность, а для входной группы (вестибюля) – своевременность эвакуации.

2. На основе анализа структуры основного функционального контингента установлено, что допустимое время скопления в молельном зале не должно превышать 5 минут. Моделирование динамики опасных факторов пожара в вестибюле мечети показало, что минимальное время блокирования эвакуационных выходов составляет 1,4 минуты. Совокупность установленных значений затем была использована для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов.

3. На основе фактического материала установлена связь между площадью культового здания и расчетной численностью посетителей в мечетях. Численность прихожан следует определить из соотношения  $0,6 \text{ м}^2$  площади, свободной от оборудования, конструкций и элементов убранства зала на 1 человека, либо, если их совокупная площадь не известна –  $0,7 \text{ м}^2/\text{чел.}$  Это позволяет избежать избыточных требований, содержащихся сегодня в нормативных документах.

4. Совокупность полученных в работе данных позволила получить расчетные соотношения для определения суммарной ширины эвакуационных выходов для наиболее опасной части мечети – вестибюле. Значения ширины эвакуационных выходов предложено нормировать пропорционально ширине человека в плечах, но не менее ширины кресла-коляски. Более того, для беспрепятственной эвакуации из мечети определена минимальная необходимая площадь на улице, свободная от моления, которая рассчитывается по количеству людей в холле.

5. Разработан комплекс организационно-технических мероприятий, направленный на снижение риска гибели и травмирования людей в мечетях и заключающийся в обосновании мест расположения ящиков для сбора пожертвований, размещения оставленной обуви на путях эвакуации прихожанами, а также в повышении роли волонтеров для организации эвакуации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенного анализа работ 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 противоподымной 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 прихожан к выходам начинается практически квазимгновенно, поэтому в мечетях в процессе эвакуации нагрузка на 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 %), которые имеют 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 1 030 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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ислам по странам [Электронный ресурс] / Википедия, свободная энциклопедия: сайт. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ислам\\_по\\_странам](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ислам_по_странам) (дата обращения 05.10.2018).
2. СМР: число мечетей в РФ превысило 7 тысяч – это беспрецедентный рост [Электронный ресурс] / РИА НОВОСТИ: сайт. – Режим доступа: <http://ria.ru/religion/20141117/1033687343.html> (дата обращения 05.10.2018).
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
4. Шукуров, Ш.М. Архитектура современной мечети. Истоки [Текст] / Ш.М. Шукуров. – М.: Прогресс-Традиция, 2014. – 232 с.
5. Фото «Михраб и минбар Белой мечети» [Электронный ресурс] / Трипадвизор [сайт]. – Режим доступа: <https://www.tripadvisor.ru/LocationPhotoDirectLink-g294013-d1492221-i189296609.html> (дата обращения 25.11.2018).
6. Удивительная мечеть султана Ахмеда (Голубая мечеть) в Турции [Электронный ресурс] / Тайные миры [сайт]. – Режим доступа: [http://secretworlds.ru/news/udivitelnaja\\_mechet\\_sultana\\_akhmeda\\_golubaja\\_mechet\\_v\\_turcii/2014-07-21-3425](http://secretworlds.ru/news/udivitelnaja_mechet_sultana_akhmeda_golubaja_mechet_v_turcii/2014-07-21-3425) (дата обращения 25.11.2018).
7. Мечеть Купол скалы. Иерусалим [Электронный ресурс] / Интересное о мире [сайт]. – Режим доступа: <http://mirxenia.com/мечеть-купол-скалы> (дата обращения 25.11.2018).
8. Шуази, О. История Архитектуры. В 2 т. Том 2 [Текст] / О. Шуази. – М.: Издательство В. Шевчук, 2005. – 708 с.
9. Мечеть Кутубия [Электронный ресурс] // Интернет-справочник «Тонкости туризма» [сайт]. – Режим доступа: [https://tonkosti.ru/Мечеть\\_Кутубия](https://tonkosti.ru/Мечеть_Кутубия) (дата обращения 25.11.2018).

10. Пюрвеев, Д.Б. Архитектура мироздания [Текст] / Д.Б. Пюрвеев. – М.: ПКЦ Альтекс, 2006. – 310 с.
11. Мечеть Агабозорга в Кашане [Электронный ресурс] / Гид по городам и странам «RuTraveller» [сайт]. – Режим доступа: <https://wikiway.com/kazakhstan/pavlodar/mechet-pavlodara/photo/#gallery-6> (дата обращения 25.11.2018).
12. Мечеть Павлодара [Электронный ресурс] / Туристический портал «WikiWay» [сайт]. – Режим доступа: <https://wikiway.com/kazakhstan/pavlodar/mechet-pavlodara/photo/#gallery-6> (дата обращения 25.11.2018).
13. Шуляпьяков Г., Мечеть. Место для молитвы и отдыха [Электронный ресурс] / Журнал «Вокруг света» [сайт]. – № 8 (2839). – Август, 2010. – Режим доступа: <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7234/> (дата обращения 25.11.2018).
14. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы [Электронный ресурс]: свод правил (утвержденный Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 171): (в ред. от 09.12.2010) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электронный данные – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
15. СП 258.1311500.2016 Объекты религиозного назначения. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС РФ от 23.11.2016 № 615) (дата введения 01.01.2017 г.). // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [сайт]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/456042677> (дата обращения 25.11.2018).
16. СП 5.13130.2009. Свод правил системы противопожарной защиты, установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (ред. от 01.06.2011) (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 175) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 25.11.2018).

17. СП 7.13130.2009 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 177) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 25.11.2018).
18. Беляев, С.В. Эвакуация зданий массового назначения [Текст] / С.В. Беляев. – М.: Изд. Всесоюзной академии архитектуры, 1938. – 72 с.
19. Беляев, С.В. Принципы планировки. Зал собраний [Текст] / С.В. Беляев. – М.-Л.: ОНТИ Госстройиздат, 1934. – 132 с.
20. Ройтман, М.Я. Эвакуация людей из промышленных и гражданских зданий на случай пожара [Текст] / М.Я. Ройтман. – М.: Изд-во министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1956. – 134 с.
21. Ройтман, М.Я. Общие принципы нормирования процесса вынужденной эвакуации людей [Текст] / М.Я. Ройтман. – М.: Изд-во ВШ МООП РСФСР, 1963. – 45 с.
22. Ройтман, М.Я. Вынужденная эвакуация людей из зданий [Текст] / М.Я. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1965. – 148 с.
23. Ройтман, М.Я. Основы противопожарного нормирования в строительстве [Текст] / под ред. Н. А. Стрельчука / М.Я. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1969. – 480 с.
24. Милинский, А.И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Милинский Анатолий Иванович. – М., 1951. – 178 с.
25. Предтеченский, В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учебное пособие для вузов [Текст] / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – М.: Стройиздат, 1969. – 200 с.
26. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учебное пособие для вузов.

[Текст] / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.

27. Алексеев, Ю.В. Формирование и движение людских потоков в проходах зрелищных сооружений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Ю.В. Алексеев. – М., 1978. – 254 с.

28. Дувидзон, Р.М. Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Дувидзон Ринат Миронович. – М., 1968. – 173 с.

29. Калинин, В.А. Проектирование залов кинотеатров с учетом движения людских потоков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Калинин Владимир Александрович. – М., 1966. – 186 с.

30. Холщевников, В.В. Моделирование движения людских потоков и оптимизация коммуникационных путей. Кн.: Архитектурное творчество и научно-технический прогресс [Текст] / В.В. Холщевников. – М., 1974. – 254 с.

31. Григорьянц, Р.Г. Исследование движения длительно существующих людских потоков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Рудольф Георгиевич Григорьянц. – М., 1973. – 195 с.

32. Гвоздяков, В.С. Закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Владимир Сергеевич Гвоздяков. – М., 1977. – 211 с.

33. Копылов, В.А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Владимир Андреевич Копылов. – М., 1974. – 145 с.

34. Буга, П.Г. Исследование пешеходного движения в городских узлах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Буга Петр Григорьевич. – М., 1974. – 182 с.

35. Доценко, А.Г. Движение людей на вокзалах прилегающих территориях (на примере крупных железнодорожных вокзалов) [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Доценко Анатолий Георгиевич. – М., 1976. – 152 с.

36. Холщевников, В.В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Холщевников Валерий Васильевич. – М., 1969. – 251 с.
37. Фомин, Н.Е. Исследование некоторых вопросов проектирования и эксплуатации метрополитенов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Николай Евгеньевич Фомин. – М., 1947. – 330 с.
38. Ельчанинова, Е.В. Архитектурно-планировочные решения пересадочных узлов метрополитена [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Елена Викторовна Ельчанинова. – М., 1962. – 212 с.
39. Сопеловская, А.А. Формирование транспортных и пассажирских потоков в пересадочных узлах пригородно-городского сообщения [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.10 / Алла Александровна Сопеловская. – М., 1980. – 272 с.
40. Фелькель, Х. Принципы нормирования эвакуационных путей в производственных зданиях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Харальд Фелькель. – М., 1979. – 172 с.
41. Овсянников, А.Н. Закономерности формирования структуры коммуникационных путей в крытых зрелищных сооружениях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Овсянников Александр Николаевич. – М., 1983. – 324 с.
42. Ерёмченко, М.А. Движение людских потоков в школьных зданиях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.10 / Мария Александровна Ерёмченко. – М., 1978. – 186 с.
43. Predtechenskii, V.M. Personenstrome in Gebauden / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – Koln Braunsfeld: Berechnungsmethoden fur die Projektierung, 1971. – 280 p.
44. Predtechenskii, V.M. Evakuace osobz budov / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – Praha: Ceskoslovensky Svaz pozarni ochrany, 1972. – 284 p.
45. Predtechenskii, V.M. Planning for the foot traffic flow in buildings / V.M. Predtechenskii, A.I. Milinskii. – New Delhi, 1978. – 288 p.

46. Холщевников, В.В. Теория людских потоков [Текст] / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – № 6. – С. 33–47.

47. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. – М., 1983. – 486 с.

48. Холщевников, В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре [Текст] / В.В. Холщевников. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 93 с.

49. Парфененко, А.П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Парфененко Александр Павлович. – М., 2012. – 153 с.

50. Истратов, Р.Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Истратов Роман Николаевич – М., 2014. – 160 с.

51. Слюсарев, С.В. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам для детей с ограниченными возможностями здоровья в зданиях с их массовым пребыванием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Слюсарев Сергей Вячеславович. – М., 2016. – 189 с.

52. Фан А. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в многоэтажных жилых зданиях во Вьетнаме [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Фан Ань – М., 2017. – 152 с.

53. Самошин, Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.03 / Самошин Дмитрий Александрович. – М., 2017. – 357 с.

54. Шидловский, Г.Л. Основные проблемы обеспечения безопасности людей при эвакуации людей из культовых зданий [Текст] / Г.Л. Шидловский, А.А. Таранцев // VI Междунар. науч.-практ. конф. «Подготовка кадров в

системе предупреждения и ликвидации, последствий ЧС». – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 2007.

55. Шидловский, Г.Л. Моделирование управления эвакуацией людей из культовых зданий при чрезвычайных ситуациях (на примере православных храмов) [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Шидловский Григорий Леонидович. – СПб, 2013. – 144 с.

56. Хутуев, В.В. Предложения по повышению уровня пожарной безопасности культовых объектов мусульманского толка и массовых мероприятий ислама: выпускная квалификационная работа [Текст] / В.В. Хутуев. – М.: Академия гражданской защиты МЧС России, 2007. – 63 с.

57. Самошин, Д.А. Проблемы безопасной эвакуации людей из культовых зданий православной церкви [Электронный ресурс] / Д.А. Самошин, Н.П. Матвеева // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2013. – № 6 (52). Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-6/2013-6.html> (дата обращения 25.11.2018).

58. Лицкевич, В.В. Противодымная вентиляция с естественным побуждением для молевых залов храмов [Электронный ресурс] / В.В. Лицкевич, В.И. Присадков, С.В. Муслакова и др. // Пожарная безопасность, научно-технические разработки. Выпуск № 1, 2016 г. – Режим доступа <http://www.pb.informost.ru/journals> (дата обращения 25.11.2018).

59. Arvidson M. Experience with Fire Suppression Installations for Wood Churches in Sweden // Journal of Fire Protection Engineering. May 2008. Vol. 18, 2, pp. 141–159.

60. Copping, A.G. The Development of a Fire Safety Evaluation Procedure for the Property Protection of Parish Churches // Fire Technology. 2002. Vol. 38, pp. 319–334.

61. Религия в Казахстане [Электронный ресурс] / Википедия, свободная энциклопедия: сайт. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Религия\\_в\\_Казахстане](https://ru.wikipedia.org/wiki/Религия_в_Казахстане) (дата обращения 26.11.2018).

62. Ураза Байрам 25 июня 2017 года в Московской Соборной мечети. [Электронный ресурс] // Официальный сайт совета муфтиев России [сайт]. – Режим доступа: <https://muslim.ru/articles/291/18596/> (дата обращения 26.11.2018).

63. Ромодановский, П.О. Судебная медицина в схемах и рисунках. Учебное пособие [Текст] / П.О. Ромодановский, Е.Х. Баринев. – М.: Проспект, 2017. – 576 с.

64. Магомерзоев, М. Ислам: основы [Текст] / М. Магомерзоев. – М.: Эксмо, 2010. – 288 с.

65. Халит, Н.Х. Татарская мечеть и ее архитектура. Историко-архитектурное исследование [Текст] / Н.Х. Халит. – Казань, 2012. – 224 с.

66. СП 59.13330.2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом Минрегиона России от 27.12.2011 № 605) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

67. ГОСТ 12.1.004–91\*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2013. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

68. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

69. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. – М., 2005. – 111 с.

70. О внесении изменений в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 2 декабря 2015 г. № 632 // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

71. Холщевников, В.В. Натурные наблюдения людских потоков. Учебное пособие [Текст]/ В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, И.И. Исаевич. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 191 с.

72. Самошин, Д.А. Проблемы нормирования времени начала эвакуации [Текст] / Д.А. Самошин, В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 5. – С. 37–51.

73. Предтеченский, В.М. Расчет переформирования людских потоков на участках ограниченной длины [Текст] / В.М. Предтеченский, В.В. Холщевников // Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1971. – № 4. – С. 67–76.

74. Самошин, Д.А. Законы распределения случайной величины времени начала эвакуации людей при пожарах [Электронный ресурс] / Д.А. Самошин // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2016. – № 2 (66). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/35-02-16.ttb.pdf> (дата обращения 26.11.2018).

75. PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Subsystem 6). – BSi, 2004.

76. ISO\_TR 16738:2009. Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people. URL: [https://www.iso.org/obp/ui\\_/iso/std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en](https://www.iso.org/obp/ui_/iso/std:iso:tr:16738:ed-1:v1:en) (дата обращения: 10.03.2016).

77. Spearpoint, M.J. The effect of pre-movement on evacuation times in a simulation model // Journal of Fire Protection Engineering, 2003, vol. 14, No. 1, pp. 33–53.

78. Самошин, Д. А., Шахуов, Т. Ж. Особенности процесса эвакуации из мусульманских культовых зданий // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – Вып. 5 (63). – С. 35-43. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-5/2015-5.html>. (дата обращения: 13.07.2017 г.).

79. Исаевич, И.И. Разработка основ многовариантного анализа планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования движения людских потоков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ирина Ивановна Исаевич. – М., 1988. – 245 с.

80. Айбуев, З.С.-А. Формирование людских потоков на предзаводских территориях крупных промышленных узлов машиностроительного профиля [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1989. – 243 с.

81. Митропольский, А.К. Техника статистических вычислений [Текст] / А.К. Митропольский / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1971 г. – 576 с.

82. Гайдышев, И.П. Анализ и обработка данных: специальный справочник [Текст] / И.П. Гайдышев. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.

83. Холщевников, В.В. 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.

84. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие [Текст] / В.Е. Гмурман. – М.: Образование, 2007. – 479 с.

85. Закономерности связи между параметрами людских потоков: Диплом № 24–S на открытие в области социальной психологии [Текст] / В.В. Холщевников // Научные открытия. – Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2005. – С. 63–69.

86. Самошин, Д.А. Влияние эмоциональной напряженности при возникновении опасной ситуации на скорость эвакуации людей [Текст] / Д.А. Самошин, Т.Ж. Шахуов // Мат-лы 23-й Междунар. науч.-техн. конф.: Системы безопасности – 2014: – М: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 363–366.

87. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

88. Рост человека [Электронный ресурс] / Википедия, свободная энциклопедия: сайт. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Рост\\_человека](https://ru.wikipedia.org/wiki/Рост_человека) (дата обращения 12.04.2017).

89. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., Mc Crath D. Evacuation models are running out time // Fire Safety Journal, 78 (2015), pp. 251–261.

90. Самошин, Д.А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. Монография [Текст] / Д.А. Самошин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 210 с.

91. Fruin, J.J., Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc., New York, 1971.

92. Pauls, J., Movement of people // The SFPE, Handbook Of Fire Protection Engineering / DiNenno P.J., Beyer C.L., Custer R.L.P., Walton W.D., Watts J.M.W., Drysdale D., Hall J.R. (eds.). – 2<sup>nd</sup> ed. – Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1996. – P. 3-263–3-285.

93. The 2015 ageing report: economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013–2060). – Brussels : European Commission, 2015. – 424 p.

94. Контарь, Н.А. PyroSim 2016. Примеры построения расчетных модулей для решения различных задач пожарной безопасности зданий и сооружений [Текст] / Н.А. Контарь, И. Н. Карькин. – Екатеринбург, 2016. – 220 с.

95. Судебно-медицинская экспертиза механической асфиксии. Учебно-методическое пособие для студентов [Текст] / Сост.: В.И. Витер, А.Ю. Вавилов, В.В. Кунгурова. – Ижевск: Экспертиза, 2007. – 48 с.

96. Механическая асфиксия. Учебное пособие для студентов медицинского и юридического факультетов [Текст] / О.С. Лаврукова, А.Н. Приходько. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2014. – 43 с.

97. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов

функциональной пожарной опасности» / А.А. Абашкин, А.В. Карпов, Д.В. Ушаков и др. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ВНИИПО, 2014. – 226 с.

98. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное пособие [Текст] / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

99. Kahera A., Abdumalik L., Craig Anz. Design Criteria for Mosques and Islamic centers. Art, Architecture and Worship, 2009.

100. Шахуов, Т. Ж., Самошин, Д. А. О составе людского потока и вместимости мечети для оценки безопасности эвакуации // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Вып. 5 (69). – С. 35-43. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-5/2016-5.html>. (дата обращения: 13.07.2017 г.).

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

# Духовное Управление мусульман Российской Федерации



Централизованная религиозная организация "Духовное управление мусульман Московской области"  
Местная мусульманская религиозная организация "Иман" Балашихинского района Московской области

УТВЕРЖДАЮ

Председатель ММРО «Иман»  
Балашихинского района

Р.Р. Измаилов

2017 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Шахуова Талгата Жумагуловича на тему «Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам из зданий мечетей» в проектную документацию на проектирование специальных технических условий для молитвенного помещения ММРО «Иман» Балашихинского района.

Комиссия в составе Хайруллин Р.В., Мясоутова Ф. А., Шямшакова Е.Г., подтверждает, что при разработке специальных технических условий на проектирование вышеуказанного объекта использовались результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Шахуова Т.Ж., а именно:

- затраты времени эвакуирующихся людей в начальной стадии пожара;
- особенности движения людей при эвакуации в мечетях;
- параметры потока для нормирования ширины эвакуационных путей и выходов для обеспечения своевременной и беспрепятственной эвакуации людей различных групп мобильности при движении в составе смешанного потока.

Председатель комиссии:

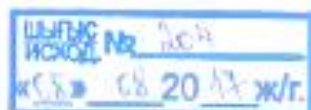
Р.В.Хайруллин

Члены комиссии:

Ф.А. Мясоутов

Е.Г. Шямшаков

<sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>): δ 7.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-1), 7.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-2), 7.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-3), 7.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-4), 7.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-5), 6.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-6), 6.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-7), 6.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-8), 6.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-9), 6.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-10), 6.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-11), 6.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-12), 6.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-13), 6.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-14), 6.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-15), 5.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-16), 5.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-17), 5.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-18), 5.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-19), 5.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-20), 5.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-21), 5.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-22), 5.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-23), 5.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-24), 5.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-25), 4.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-26), 4.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-27), 4.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-28), 4.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-29), 4.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-30), 4.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-31), 4.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-32), 4.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-33), 4.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-34), 4.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-35), 3.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-36), 3.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-37), 3.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-38), 3.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-39), 3.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-40), 3.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-41), 3.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-42), 3.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-43), 3.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-44), 3.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-45), 2.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-46), 2.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-47), 2.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-48), 2.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-49), 2.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-50), 2.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-51), 2.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-52), 2.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-53), 2.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-54), 2.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-55), 1.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-56), 1.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-57), 1.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-58), 1.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-59), 1.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-60), 1.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-61), 1.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-62), 1.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-63), 1.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-64), 1.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-65), 0.95 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-66), 0.85 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-67), 0.75 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-68), 0.65 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-69), 0.55 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-70), 0.45 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-71), 0.35 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-72), 0.25 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-73), 0.15 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-74), 0.05 (d, 1H, J = 8.0 Hz, H-75).



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

ООО «Уникум Астана»

Абдуллаев М.

«08» августа 2017 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Шахуова Талгата Жумагуловича на тему «Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам из зданий мечетей» в разработку организационно-технических мероприятий в центральную мечеть «НурМубарак», расположенную по адресу: п. Косшы, ул. Набережная, 2

Комиссия в составе Тапаева А.Т., Ерденева Г.К. подтверждает, что разработанные им рекомендации по организации регулирования направления людских потоков при эвакуации из мечетей использованы при разработке организационно-технических мероприятий и проведении учебных эвакуаций из вышеуказанного объекта. Результаты проведенных эвакуаций с использованием предложенных рекомендаций позволили сократить время начала эвакуации людей и исключить задержку людского потока на выходе из здания.

Председатель комиссии:

Амирголов Е.

Члены комиссии:

Тапаева А.Т.

Ерденева Г.К.

Утверждаю  
 И.о. начальника РГУ  
 «Кокшетауский технический институт»  
 КЧС МВД Республики Казахстан, к.ф.-м.н.,  
 полковник гражданской защиты  
 К.Ж. Раимбеков  
 2017 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

в учебный процесс РГУ «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД  
 Республики Казахстан результатов диссертационной работы  
 Шахуова Талгата Жумагуловича на тему «Нормирование требований  
 пожарной безопасности к эвакуационным путям  
 и выходам из зданий мечетей»

#### Комиссия в составе:

Тимеева Евгения Александровича – заместителя начальника РГУ  
 «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД Республики Казахстан;

Кусаинова Армана Болатовича – доцента кафедры защиты в чрезвычайных  
 ситуациях РГУ «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД Республики  
 Казахстан, магистра естественных наук;

Рахметулина Берика Жамбуловича – доцента кафедры пожарной  
 профилактики РГУ «Кокшетауский технический институт» КЧС МВД  
 Республики Казахстан, составила настоящий акт о том, что материалы и  
 результаты диссертационного исследования Шахуова Т.Ж. вошли в состав  
 учебно-методического комплекса дисциплины «Пожарной безопасности в  
 строительстве».

#### Комиссия:

заместитель начальника института  
 по учебной работе  
 полковник

Е. Тимеев

доцент кафедры ЗЧС,  
 майор

А. Кусаинов

доцент кафедры ПП  
 подполковник гражданской защиты

Б. Рахметулин