

На правах рукописи



Хасуева Зулихан Сулимановна

**НОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
К ЭВАКУАЦИОННЫМ ПУТЯМ И ВЫХОДАМ
УЧРЕЖДЕНИЙ РОДОВСПОМОЖЕНИЯ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность
(технические науки, отрасль строительство)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2019

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Самошин Дмитрий Александрович

Официальные оппоненты: Колодкин Владимир Михайлович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Удмуртский государственный университет»,
профессор кафедры общеинженерных дисциплин

Гравит Марина Викторовна
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
доцент кафедры высшей школы промышленно-
гражданского и дорожного строительства
Инженерно-строительного института

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

Защита состоится «24» декабря 2019 г. в 11 часов 30 минут на заседании дис-
сертационного совета Д 205.002.02 в Академии Государственной противопо-
жарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4.

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

<https://academygps.ru/upload/iblock/41b/41bbb6e78e8908d75f57f416702b10e0.pdf>

Автореферат разослан «25» октября 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В 2017 году в России пациентами учреждений родовспоможения стали свыше 3,5 млн матерей и новорожденных. Снижение показателей материнской и младенческой смертности, в том числе при пожарах, представляет собой одну из стратегических задач государства.

Несмотря на значительные затраты сил и средств на обеспечение пожарной безопасности, в зданиях учреждений родовспоможения происходят пожары и гибнут люди. В апреле 2018 года произошли пожары в родильном отделении районной больницы с. Ленинское Еврейской АО и в родильном доме г. Уфы, 1 сентября 2019 года – в родильном доме г. Новосибирска. К счастью, в этих случаях обошлось без жертв, но так бывает не всегда. При пожаре, возникшем в палате интенсивной терапии роддома в Румынии 16 августа 2010 года, погибло 5 человек; 13 человек погибло при пожаре, произошедшем в родильном отделении больницы г. Багдада (Ирак) 10 августа 2016 года, 8 человек погибло при пожаре в родильном отделении больницы в г. Эль-Уэд (Алжир) 24 сентября 2019 года.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 17.08.2006 № 806, учреждения родовспоможения отнесены к категории высокого риска, что требует повышенного внимания к зданиям этого класса функциональной пожарной опасности со стороны надзорных органов. За последние годы была выполнена серия исследований, направленных на обеспечение процесса эвакуации маломобильных групп населения в случае пожара, однако процесс эвакуации беременных женщин не был до сих пор изучен. Отсутствие специальных исследований в этой области не позволяет гарантировать безопасность женщин в случае возникновения пожара.

Степень разработанности темы исследования. С 30-х годов прошлого века для предъявления наиболее рациональных требований к нормированию эвакуационных путей и выходов стали проводиться исследования процесса эвакуации как российскими, так и зарубежными учеными. Значительный вклад в развитие общей теории людских потоков и поведения людей при пожарах внесли исследовательские работы Эллисона В.А., Беляева С.В., Милинского А.И., Предтеченского В.М., Калинцева В.А., Дувидзона Р.М., Холщевникова В.В., Григорьянца Р.Г., Копылова В.А., Буги П.Г., Доценко А.Г., Гвоздякова В.С., Алексеева Ю.В., Еремченко М.А., Никонова С.А., Айбуева З.С.-А., Исачевич И.И. Самошина Д.А., Парфененко А.П., Кудрина И.С. Фан А., Шахуова Т.Ж., *Fruin J.J., Thompson P., Shields T.J., Galea E.*

С целью разработки требований к доступности зданий и сооружений для маломобильных групп населения, в том числе для нормирования размеров эвакуационных путей и выходов, в конце 20 века стали проводиться первые исследования эвакуации людей с ограниченными возможностями. Большой вклад в развитие данного направления внесли труды таких ученых, как Холщевников В.В., Самошин Д.А., Истратов Р.Н., Слюсарев С.В., *Boyce K.E., Proulx G., Fahy R.*

Таким образом, на основании результатов многолетней работы в данном направлении создана методология исследования поведения людей на всех этапах

их эвакуации, позволившая разработать нормативные требования к проектированию эвакуационных путей и выходов в зданиях различного назначения и к функционированию автоматических систем противопожарной защиты, которыми они оборудуются. Однако исследований процесса эвакуации такой уязвимой части населения, как беременные женщины, до сих пор произведено не было.

Целью диссертационной работы является развитие основных методологических положений по проектированию эвакуационных путей и выходов в учреждениях родовспоможения на основании исследования времени начала эвакуации и установления закономерностей движения беременных женщин в составе людского потока.

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

– проанализировать российские и зарубежные источники в области проводимого исследования;

– провести исследования времени начала эвакуации в зданиях учреждений родовспоможения;

– провести натурные наблюдения и экспериментальные исследования движения беременных женщин в зданиях учреждений родовспоможения и определить параметры, характеризующие их движение, а также установить психофизические закономерности связи между ними при эвакуации по различным участкам путей и выходов;

– разработать требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам и предложить комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на повышение безопасности людей при пожарах в зданиях учреждений родовспоможения.

Объектом исследования являлся процесс эвакуации беременных пациенток учреждений родовспоможения при пожаре.

Предметом исследования являлись время начала эвакуации и закономерности движения беременных женщин в составе людского потока по различным видам пути, определяющие необходимые размеры эвакуационных путей и выходов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выявлены факторы, влияющие на формирование случайной величины времени начала эвакуации беременных женщин ($t_{н.э}$) в палатных помещениях в зданиях учреждений родовспоможения;

2. Впервые получена статистическая совокупность значений скорости движения беременных пациенток учреждений родовспоможения в различных интервалах плотности для разных видов коммуникационных путей;

3. Установлены значения случайной величины скорости свободного движения беременных пациенток учреждений родовспоможения (\bar{V}_{0j}) по различным видам пути при пожаре;

4. Подтвержден вид общей зависимости скорости от плотности людского потока и установлены характеристики входящих в нее величин a_j и D_{0j} , описывающие параметры движения беременных пациенток учреждений родовспоможения при движении по горизонтальным путям, лестницам вверх и вниз и через дверные проемы.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в установлении закономерностей движения людских потоков, состоящих из беременных женщин, способных к самостоятельной эвакуации, и использовании их при обосновании геометрических размеров эвакуационных путей и выходов в учреждениях родовспоможения;
- в возможности определения расчетных величин пожарного риска в зданиях учреждений родовспоможения;
- в разработке организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности беременных пациенток при пожаре.

Методология и методы исследования. Основу теоретических исследований составляла методология теории людских потоков, учитывающая психофизические закономерности связи между параметрами людских потоков. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методами теории вероятностей и математической статистики, которые реализованы в работе с использованием компьютерных программ *Microsoft Excel* и *SPSS Software «Statistical Package for the Social Sciences»*. Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара в здании проводилось при помощи программы *FDS (Fire Dynamic Simulator)*, моделирующей развитие пожара в помещениях по вычислительной гидродинамической модели тепломассопереноса при горении. Расчеты времени эвакуации людей из зданий проводились с помощью программы для моделирования эвакуации в чрезвычайных ситуациях с учетом возможности спасения людей *«Pathfinder»*, которая позволяет выполнить расчет времени эвакуации и времени существования скоплений по индивидуально-поточной модели движения.

Материалы диссертации реализованы при разработке:

- изменения № 2 в «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», утвержденной приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382;
- методических рекомендаций по повышению пожарной безопасности беременных пациенток акушерского отделения ОГБУЗ «Вяземская центральная районная больница», расположенного по адресу: Смоленская область, г. Вязьма, ул. Комсомольская, д. 29;
- методических рекомендаций по повышению пожарной безопасности беременных пациенток учреждения родовспоможения, расположенного по адресу: Чеченская Республика, город Грозный, б-р Султана Дудаева, д.16а;
- второго издания учебного пособия «Эвакуация и поведение людей при пожарах», имеющего гриф «Допущено Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий в качестве учебника для высших образовательных учреждений» (М.: Академия ГПС МЧС России, 2015 г.).

Положения, выносимые на защиту:

- особенности формирования времени начала эвакуации в зданиях учреждений родовспоможения;

- закономерности связи между параметрами поточного движения беременных пациенток учреждений родовспоможения, способных к самостоятельной эвакуации, при их движении по различным эвакуационным путям и выходам;
- установленное влияние эмоционального состояния беременных пациенток учреждений родовспоможения на скорость свободного движения;
- требования к проектированию путей эвакуации в учреждениях родовспоможения для обеспечения безопасной эвакуации беременных пациенток при пожаре.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность представленных в диссертации результатов достигалась:

- организацией натуральных наблюдений и экспериментальных исследований поведения беременных пациенток учреждений родовспоможения по методологии теории людских потоков, многократно апробированной в предшествующих исследованиях;
- использованием статистических методов анализа выборочных совокупностей для оценки репрезентативности выборок и возможности (невозможности) их объединения для получения совокупности эмпирических данных, отражающих основные характеристики генеральной совокупности (всего было получено более 1 тыс. замеров);
- высокими показателями корреляционной связи между данными экспериментальных исследований и положениями теории людских потоков.

Основные результаты работы доложены на: XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных (г. Москва, МГСУ, 2016 год); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (г. Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2015 год); XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (г. Москва, МГСУ, 2017 год); II Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания» (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017 год), VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Республика Казахстан, г. Кокшетау, Кокшетауский технический институт КЧС МВД Республики Казахстан, 2017 год); конференции школы молодых ученых и специалистов МЧС России (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 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 из 100 наименований и приложения. Содержание работы изложено на 148 страницах текста, включает в себя 47 таблиц, 54 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и степень ее работанности, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, представлены методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** проведен анализ результатов ранее проведенных исследований и методологических основ для разработки комплекса мер, направленных на обеспечение безопасности беременных пациенток учреждений родовспоможения при пожаре.

В результате многолетних исследований ученых, на основании обширного эмпирического материала и теоретических исследований установлены закономерности движения людей различных групп мобильности, исследованы особенности их движения, сформирована теория людских потоков, усовершенствовано нормирование в области обеспечения безопасности людей при пожаре. Однако исследования процесса эвакуации такой уязвимой части населения, как беременные женщины, до сих пор произведено не было.

Массив норм по пожарной безопасности для учреждений родовспоможения определяет целый комплекс требований к проектированию таких зданий, однако требования к путям эвакуации нельзя считать проработанными до такой степени, чтобы гарантированно обеспечить безопасность людей. Например, вполне очевидно, что параметры движения детей, беременных женщин, инвалидов и пожилых людей различны, поэтому установление единых требований к путям эвакуации для всех этих групп людей некорректно (рисунок 1).

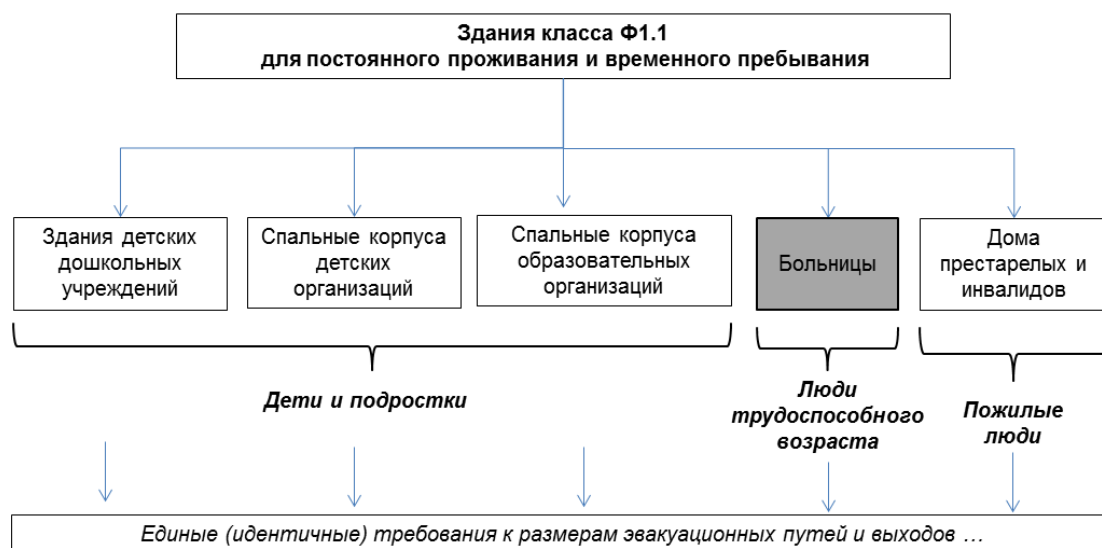


Рисунок 1 – Возрастные и функциональные различия людей в зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф1.1

Более того, защита путей эвакуации системами противодымной защиты и автоматическими установками пожаротушения требуется в крайне редких случаях, что вынуждает для обеспечения пожарной безопасности ограничивать длину пути эвакуации из здания. Однако требований к длине пути сегодня в нормах нет.

Таким образом, без проведения масштабной экспериментальной работы по изучению времени начала эвакуации и параметров движения людских потоков, определяющей время эвакуации, невозможно обоснованно разработать комплекс требований к эвакуационным путям и выходам в учреждениях родовспоможения, обеспечивающих регламентированный Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ допустимый уровень пожарного риска для беременных женщин в случае пожара.

Во **второй главе** рассмотрены ранее проведенные исследования времени начала эвакуации ($t_{нэ}$), проблемы нормирования и результаты экспериментальных исследований этого параметра в учреждениях родовспоможения.

Для исследования $t_{нэ}$ была разработана методика сбора эмпирических данных, организованы и проведены исследования в дневное и ночное время. Эксперименты проводились следующим образом. Так как длина пути от места нахождения в палате до выхода из нее является незначительной, установка камеры проводилась в коридоре палатного отделения (рисунок 2). При обработке видеоматериалов производилась фиксация времени появления пациентки в зоне охвата камеры (в коридоре) и начала движения в сторону эвакуационного выхода, которое далее анализировалось методами математической статистики.



Рисунок 2 – Тренировочная эвакуация людей в палатных отделениях учреждений родовспоможения в зимнее время, с применением одеял для утепления:
а – в дневное время; *б* – в ночное время

При анализе процесса эвакуации людей можно выделить два характерных этапа:

– оповещение людей до включения системы оповещения голосом; – информирование людей о пожаре с помощью системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ).

Первый этап нормативными документами не рассматривается, сведения о нем отсутствуют, поэтому мы уделим этому вопросу отдельное внимание.

При оповещении голосом затрачивается время на движение по коридору, открытие палаты и сообщение о необходимости эвакуации. В отделениях учреждения родовспоможения коридорной системы время оповещения персоналом можно определить из соотношения:

$$t_{оп} = \frac{l/n_{оп}}{v} + \frac{(n_{п}/n_{оп}) \cdot \Delta t + t_{нэ}^{оч}}{60}. \quad (1)$$

Значение времени начала эвакуации для помещения очага пожара $t_{нэ}^{оч}$ определяется в зависимости от его площади (F). При условии, что оповещающих двое ($n_{оп}$), длина коридора равна 42 м (l), количество палат 11 ($n_{п}$), время,

затрачиваемое на оповещение одного помещения, равно $7,5 \text{ с}$ (Δt), скорость движения оповещающих по коридору 100 м/мин (V), время начала эвакуации в помещении очага пожара $t_{н.э}^{\text{оч}} = 5 + 0,01 \cdot F = 5 + 0,01 \cdot 10 = 5,1 \text{ с}$. Тогда время оповещения в отделении составляет $t_{\text{оп}} = 0,98 \text{ мин}$. Таким образом, все пациентки в отделении с помещением с очагом пожара будут оповещены до срабатывания СОУЭ примерно за 1 минуту и смогут приступить к эвакуации, тогда как на других этажах людям придется ждать срабатывания СОУЭ.

Количество оповещенных людей и соответствующие им значения времени начала эвакуации оценочно можно определить из графика на рисунке 3.

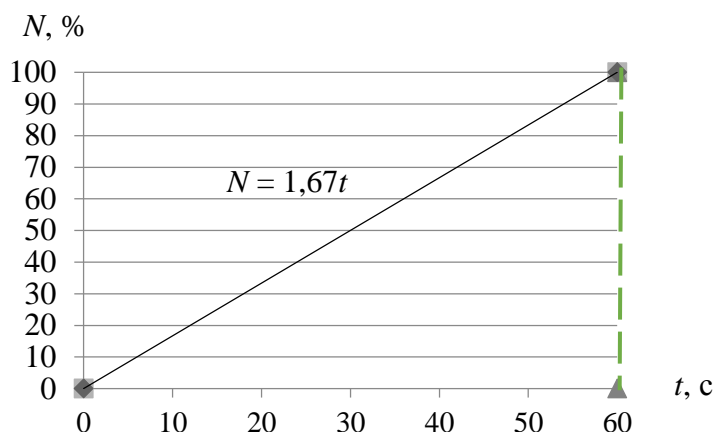


Рисунок 3 – Количество оповещенных в зависимости от времени, прошедшего с момента обнаружения пожара

При соблюдении рекомендаций по проектированию учреждений родовспоможения, персонал до срабатывания СОУЭ сможет оповестить от 12 % (для 3 уровня учреждений родовспоможения на 250 коек) до 75 % (для 1 уровня учреждений родовспоможения на 40 коек) находящихся в нем людей. После срабатывания СОУЭ, очевидно, оповещены будут все 100 % людей.

С учетом изложенных выше соображений и полученных значений, количество оповещенных пациенток в здании в зависимости от времени можно представить следующим образом (рисунок 4).

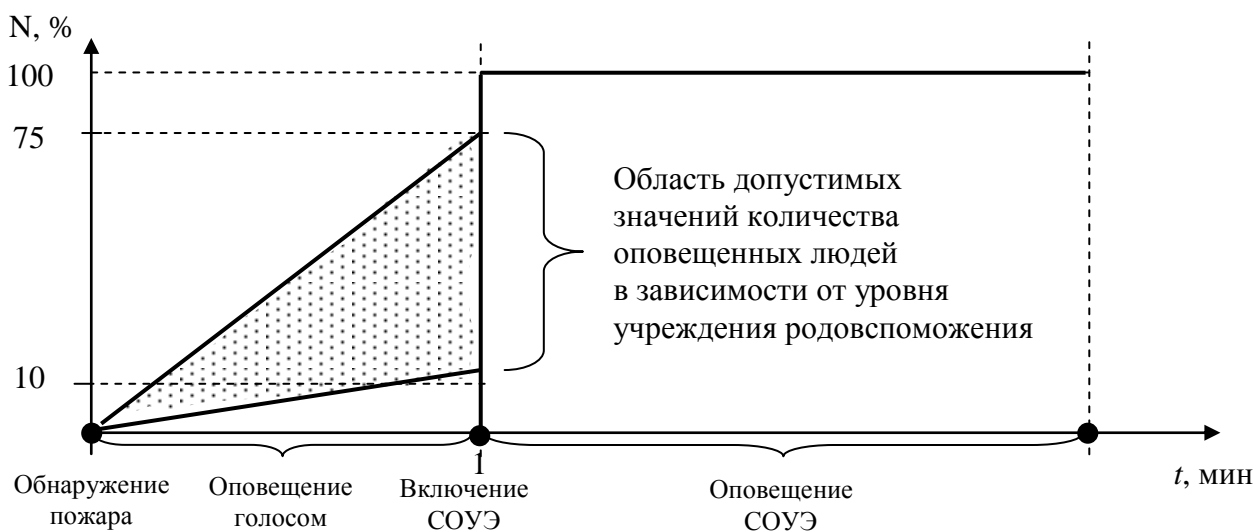


Рисунок 4 – Зависимость количества оповещенных людей (N) от способа оповещения за интервал времени (t)

При исследовании влияния системы оповещения на время реакции беременных женщин было получено 14 выборочных совокупностей общим объемом 134 замера. Для удобства последующего анализа и выработки практических решений количество выборок сокращено путем их объединения. При проверке однородности эмпирических данных различных серий экспериментов использовался критерий Крамера – Уэлча. В результате было сформировано 4 выборки значений для дневного и ночного времени, для которых принята гипотеза об однородности, рисунок 5.

Принимая во внимание техническую инерционность систем оповещения, определенные таким образом максимальные значения времени начала эвакуации соответствуют Приказу МЧС России от 30.06.2009 №382 (таблица 1).

Таблица 1 – Значения времени начала эвакуации в учреждении родовспоможения при различных вариантах оповещения

№	Тип помещения		Параметры распределения времени начала эвакуации, с			
			Минимальное значение $t_{н.э}$	Максимальное значение $t_{н.э}$	Среднее значение $t_{н.э}$	Среднее квадратическое отклонение
1	Помещение очага пожара		$5 + 0,01 \cdot F$			
2	Этаж (отделение) с помещением очага пожара		15	60	37,5	7,5
3	Остальное здание (отделения)	2 тип СОУЭ	60	360	210	50
4		3 тип СОУЭ	60	240	150	30

Выше установлены интервалы значений времени начала эвакуации, однако крайне важен вопрос о законе распределения значений внутри границ описанного диапазона. Использование равномерного распределения случайной величины времени начала эвакуации в отделении с помещением очага пожара увеличивает вероятность появления большего количества людей с высокими значениями $t_{н.э}$. Следовательно, для этажей учреждения родовспоможения с относительно небольшим количеством людей на этаже (в палатном отделении), применение равномерного закона распределения ведет к максимальному увеличению общего времени эвакуации. Для людей на остальных этажах (отделениях) следует принимать нормальный закон распределения, так как это увеличивает нагрузку на эвакуационные пути и выходы. Такой избирательный подход отражает особенности оповещения людей в зависимости от того, насколько близко они находятся к очагу пожара, и позволяет прогнозировать наиболее неблагоприятные сценарии развития пожара в здании.

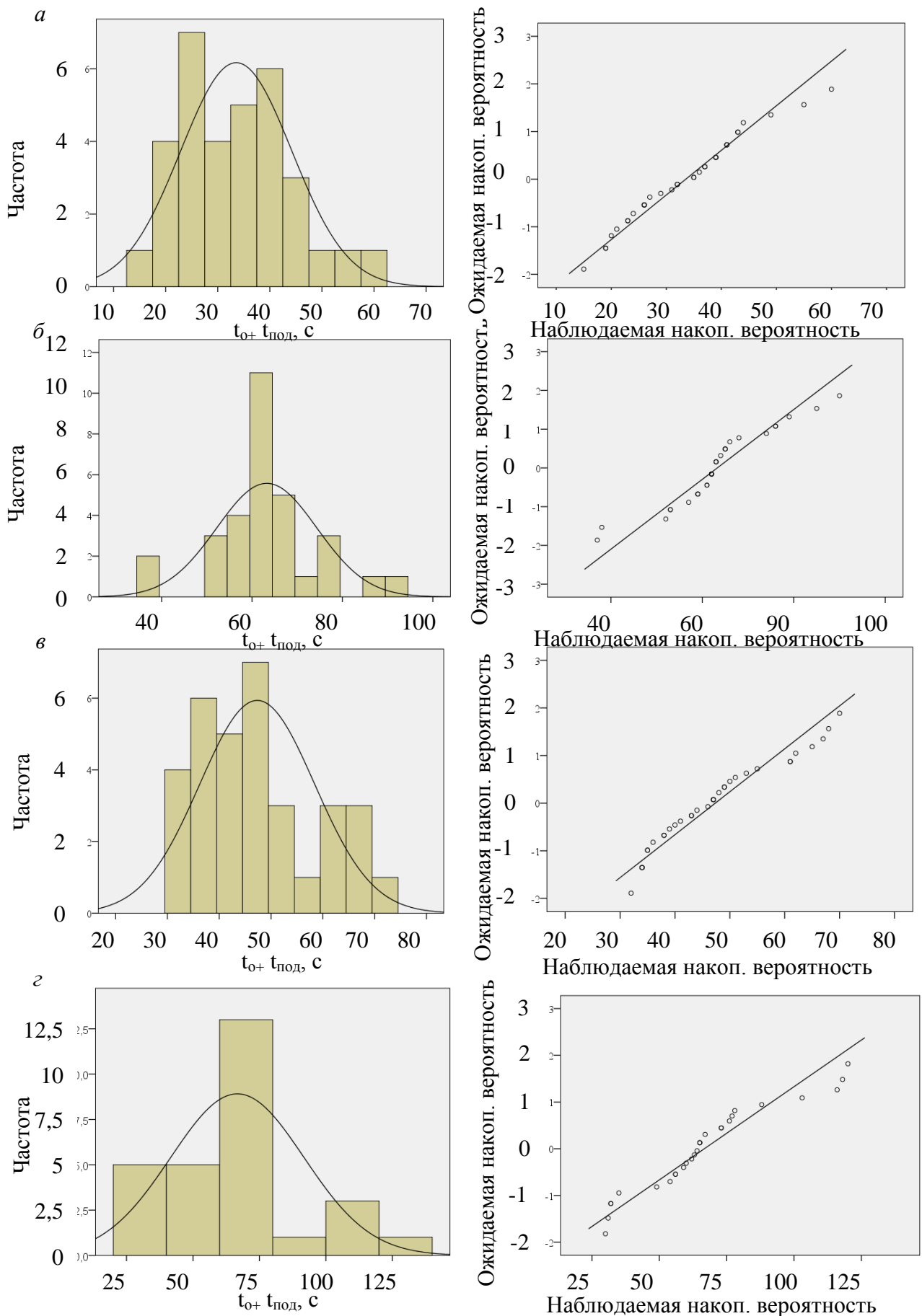


Рисунок 5 – Гистограммы распределения времени реакции пациентов и медицинского персонала на сигнал тревоги и графики вероятности нормального распределения:
a, б – в дневное время; *в, г* – в ночное время

В третьей главе изложена методика проведения исследований параметров движения беременных пациенток учреждений родовспоможения и приведены результаты теоретической обработки полученных данных.

При движении людей в зданиях различного назначения в одном направлении образуется людской поток, плотность которого зависит не только от числа людей, но и от площади их горизонтальной проекции f .

В связи с противоречивостью опубликованных на этот счет данных, были проведены замеры габаритов беременных женщин в последнем триместре беременности. Замеры проводились следующим образом. Пациентка становилась на лист миллиметровой бумаги, размещенный на горизонтальном участке пути, после чего проводилось проецирование ее статических габаритов лазерной указкой, прикрепленной к строительному уровню, на подготовленную поверхность. След от луча лазерной указки отмечался карандашом на бумаге. Динамические габариты (зоны, которую непосредственно занимает человек при движении) определялись при совершении женщиной шага вперед.

Таблица 2 – Значения замеров площади горизонтальной проекции беременных пациенток

f по статическим габаритам, м ²	0,139	0,158	0,182	0,148	0,131	0,133	0,149	0,159	0,148	0,154
f по динамическим габаритам, м ²	0,157	0,222	0,216	0,181	0,147	0,166	0,175	0,211	0,168	0,154

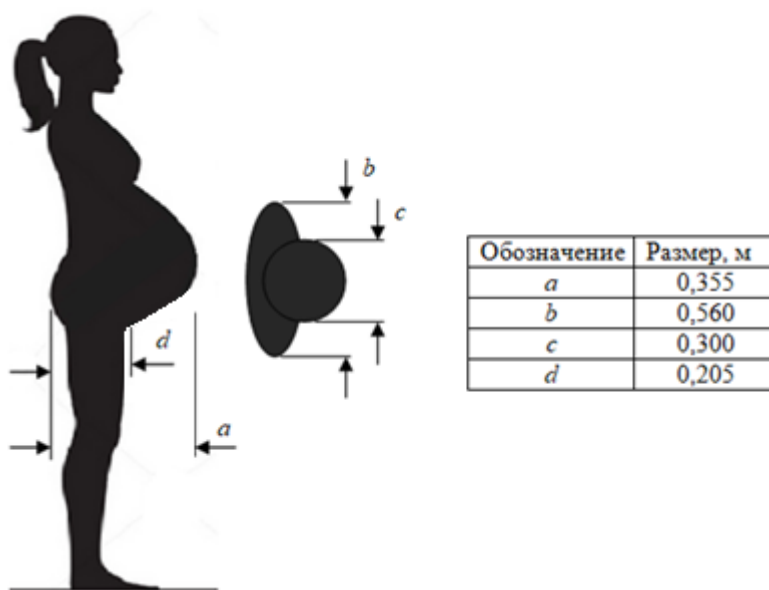


Рисунок 6 – Площадь горизонтальной проекции беременных женщин

Результаты показали, что значение площади горизонтальной проекции данной категории людей в статическом положении варьируется от 0,13 м² до 0,18 м², в динамическом – от 0,15 м² до 0,22 м² (таблица 2). Минимальный порог отражен в ныне существующих нормах (рисунок 6), однако значения могут быть и выше.

Важно учесть, что площадь горизонтальной проекции указана без учета верхней одежды. Надевание пациентками верхней одежды при эвакуации из палатных отделений учреждений родовспоможения существенно увеличит время начала эвакуации. Использование одеяла для утепления позволит женщинам начать движение к эвакуационному выходу без значительных временных затрат, однако приведет к увеличению площади их горизонтальной проекции, которая зависит от толщины одеяла и способа его использования.

С целью определения параметров движения при эвакуации пациенток учреждений родовспоможения были организованы экспериментальные исследования и натурные наблюдения в роддомах и перинатальных центрах России.



Рисунок 7 – Процесс движения пациенток учреждений родовспоможения:
а – по горизонтали; *б* – через проем; *в* – по лестнице вниз

Организация подготовки к проведению эксперимента для получения эмпирических данных для определения скоростей движения пациенток в различных интервалах плотности заключалась в следующем:

- заранее согласовывалось место и время проведения эксперимента;
- расставлялись видеозаписывающие устройства с углом обзора не менее 120° на участках пути (коридор, проем, лестница вверх и вниз) движения людского потока;
- устанавливалась масштабная сетка (размером ячейки 1×1 м) для фиксации геометрических размеров участка пути.

По окончании подготовительных мероприятий включалась видеозаписывающая аппаратура (видеорегистраторы). Далее начинался процесс эвакуации беременных пациенток, которые не имели медицинских противопоказаний.

Следующим этапом исследования являлся анализ видеоматериалов. С помощью программы *Screen Marker* на экран компьютера были нанесены контуры масштабной сетки со снятого контрольного кадра (рисунок 7). Далее осуществлялся покадровый просмотр видеоматериалов для получения параметров движения пациенток учреждений родовспоможения при определенных значениях плотности.

После входа пациентки в зону ячейки масштабной сетки длиной $\Delta l = 1$ м фиксировалось количество людей перед ней и рассчитывалась плотность потока D (чел/м²). При установленном режиме одна секунда съемки состояла из 30 сменяемых кадров, что позволяло с большей точностью установить время Δt (мин) прохождения пациенткой зоны ячейки масштабной сетки. Далее рассчитывалась скорость $V_{\text{пер}}$ (м/мин) прохода пациентки данной ячейки (формула 2) и интенсивность движения q (чел/(м·мин)) (формула 3). По такому принципу определяются параметры движения каждого человека исследуемого людского потока:

$$V_{\text{пер}} = \Delta l / \Delta t; \quad (2)$$

$$q = V_{\text{пер}} \cdot D. \quad (3)$$

Формирующиеся у дверного проема людские потоки исследовались следующим образом. Определялась скорость движения V_D (м/мин) подходящего к границе дверного проема людского потока с установленной плотностью D (чел./м²). Затем рассчитывалась интенсивность q_D (чел/(м·мин)):

$$q_D = V_D \cdot D, \quad (4)$$

$$V_D = l / \Delta t. \quad (5)$$

Полученные в ходе экспериментов данные далее подлежали статистической обработке.

Тестирование на соответствие эмпирической выборки нормальному распределению – важнейший этап научного исследования, от которого зависит выбор метода статистического анализа данных. Проверка гипотезы о нормальности распределения выборочной совокупности производилась с использованием следующих критериев:

- критерия Шапиро – Уилка (W) при числе наблюдений меньше 50, так как при большем числе наблюдений критерий становится излишне жестким;
- критерия Колмогорова – Смирнова, при числе наблюдений больше 50.

После подтверждения гипотезы о нормальности распределения выборочной совокупности выполнялась проверка наличия грубых погрешностей при помощи правила трех сигм (3σ): скорости, отличающиеся от среднего значения более чем на 3σ , исключались из выборок. Далее проводилось сравнение независимых выборок из разных серий экспериментов на однородность

для оценки возможности их объединения при помощи параметрического критерия – t -критерия Стьюдента. Возможность его ошибочного применения исключается учетом наличия или отсутствия однородности дисперсий в исследуемых выборках с помощью F -критерия Фишера.

В результате первичной обработки результатов проведенных экспериментов были получены выборочные совокупности данных о скорости движения беременных пациенток в различных интервалах плотности (таблицы 3, 4).

Таблица 3 – Скорость движения беременных пациенток учреждений родовспоможения по горизонтальным путям и по лестницам

Интервал плотности D , чел/м ²	Количество наблюдений n	Математическое ожидание скорости $m(V)$, м/мин	Среднеквадратическое отклонение $\sigma(V)$, м/мин	95% доверительный интервал, м/мин	
				Нижняя граница	Верхняя граница
Горизонтальный путь					
0–1	380	55,2	10,2	54,2	56,2
1–2	55	46,3	6,9	44,4	48,2
2–3	38	37,0	4,9	35,4	38,6
3–4	10	26,6	1,5	25,6	27,7
Лестница вниз					
0–1	156	34,5	6,9	33,4	35,6
1–2	44	32,7	3,4	31,7	33,8
2–3	29	27,0	2,2	26,2	27,9
3–4	4	20,5	0,4	19,8	21,1
Лестница вверх					
0–1	155	31,3	5,6	30,4	32,1
1–2	29	29,6	2,5	28,7	30,6
2–3	61	22,7	2,3	22,1	23,3
3–4	17	18,8	1,5	18,0	19,6

Таблица 4 – Средние значения интенсивности движения через проем беременных пациенток учреждений родовспоможения

Интервал плотности D , чел/м ²	Количество наблюдений n	Интенсивность q , чел/(м·мин)
1–2	36	84
2–3	23	90
3–4	9	96

Полученные в ходе обработки эмпирического материала статистические данные легли в основу анализа по выявлению зависимости:

- эмоционального состояния и скорости свободного движения V_0^{\exists} беременных пациенток учреждений родовспоможения;
- скорости движения от плотности людского потока, состоящего из беременных пациенток учреждений родовспоможения.

Определение скорости свободного движения беременных пациенток учреждений родовспоможения в зависимости от степени психологической напряженности ситуации было произведено по методике, разработанной в 80-х годах прошлого века (и многократно апробированная в дальнейшем) профессором В.В. Холщевниковым.

Для получения расчетных экстремальных значений рассматриваемой случайной величины скорости свободного движения была применена теория рас-

пределения крайних членов выборки на основе двойного показательного закона. В результате были установлены следующие зависимости:

по горизонтальному пути:

$$V_0^{\mathcal{E}} = 36,57 - 3,17 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\mathcal{E})]; \quad (6)$$

по лестнице вниз:

$$V_0^{\mathcal{E}} = 23,15 - 3,06 \ln[-\lg(0,1 + 1,284\mathcal{E})]; \quad (7)$$

по лестнице вверх:

$$V_0^{\mathcal{E}} = 21,59 - 1,55 \ln[-\lg(0,1 - 1,284\mathcal{E})]. \quad (8)$$

Полученная зависимость связывает скорость свободного движения и уровень эмоционального состояния людей. Анализ зависимости показывает, что ее характер заметно меняется по мере увеличения \mathcal{E} , величины, учитывающей степень психологической напряженности ситуации. В связи с этим необходимо было решить задачу аргументированного обоснования значений \mathcal{E} для соотнесения скоростей движения с категориями движения. С этой целью каждая из зависимостей для различных участков пути разбивалась на отрезки, каждый из которых описывался линейной, затем квадратичной и далее экспоненциальной зависимостью. Естественным критерием выбора точек, в которых функция меняет свои характеристики (и, следовательно, изменяется категория движения), является минимизация отклонения выбранной аппроксимации от изучаемой кривой. Иными словами, искомые точки – это точки, в которых применительно к данной задаче коэффициент корреляции становился ниже 0,99. В ходе решения задачи были установлены численные характеристики скорости свободного движения для различных категорий движения пациенток учреждений родовспоможения по различным участкам пути (таблица 5).

Таблица 5 – Скорости свободного движения беременных пациенток учреждений родовспоможения по видам пути при соответствующих категориях движения

Категория движения	Скорость свободного движения V_0 , м/мин, по участку пути		
	Горизонтальному	Лестнице вниз	Лестнице вверх
Комфортное	Менее 36,6	Менее 23,1	Менее 21,6
Спокойное	36,6–45,5	23,1–31,7	21,6–25,9
Активное	45,5–52,6	31,7–38,7	25,9–29,4
Повышенная активность	52,6–60,2	38,7–46,0	29,4–33,1

Следующей задачей исследования являлось установление влияния плотности людского потока на другие его параметры. Скорость людского потока от его плотности описывается в общем виде следующей зависимостью:

$$V_{Dj} = V_{0j} \cdot (1 - R_{Dj}), \quad (9)$$

где V_{0j} – случайная величина скорости свободного движения людского потока по j -му виду пути, когда значение плотности не оказывает на нее влияние, м/мин; R_{Dj} – функция, отображающая степень (силу) влияния внешнего фактора (плотности потока) на сенсорную систему человека, формирующую интенсивность реакции (скорость движения) человека.

Эмпирические значения R_{Dj} для каждого интервала плотности во всех сериях проведенных натуральных наблюдений определяются по формуле:

$$R_{Dj} = \Delta V_{Dj} / V_{0j}, \quad (10)$$

где $\Delta V_{Dj} = m(V_{0j}) - m(V_{Dj})$, разность математического ожидания скорости свободного движения в интервале плотности 0–1 чел/м² (V_{0j}) и математического ожидания скорости в интервале плотности, для которого определяется степень влияния внешнего фактора на сенсорную систему человека (V_{Dj}).

Психофизические закономерности взаимосвязи плотности людского потока и скорости его движения описываются логарифмическим законом Вебера – Фехнера:

$$R_{Tj} = a_j \ln(D_j / D_{0j}), \quad (11)$$

где D_j – значение плотности людского потока, при котором определяется значение R_{Tj} ; D_{0j} – пороговое значение плотности, по достижении которого она начинает ощущаться как воздействующий фактор при движении по j -му виду пути; a_j – эмпирический коэффициент, отображающий интенсивность воздействия плотности при движении по j -му виду пути.

Пример аппроксимации эмпирических данных теоретической зависимостью дан в таблице 6 и на рисунке 8.

Таблица 6 – Аппроксимация зависимости $R = f(D)$ для людского потока из пациенток учреждений родовспоможения при движении по горизонтальному пути

Интервалы плотности людского потока, чел/м ²	1–2	2–3	3–4	
Среднее значение \bar{R}_D по сериям натуральных наблюдений	0,180	0,344	0,528	
Среднеквадратичное отклонение	0,123	0,086	0,026	
Доверительный 95 % интервал для среднего	Нижняя граница	0,146	0,316	0,509
	Верхняя граница	0,213	0,373	0,547
Теоретические значения	0,168	0,374	0,510	
Расхождение $\Delta_D = R_T - \bar{R}_D$	–0,012	0,030	–0,018	
$\Delta_D / \bar{R}_D \cdot 100\%$	–6,667	8,721	–3,409	
Теоретическое корреляционное отношение η_T	0,989			

Значения коэффициентов a_j , D_{0j} для пациенток учреждений родовспоможения при движении по разным видам пути приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Численные характеристики коэффициентов a и D_0

Вид пути	a_j	D_{0j} , чел./м ²
Горизонтальный	0,404	0,991
Лестница вниз	0,336	0,786
Лестница вверх	0,411	1,312

Таким образом, были установлены значения всех необходимых параметров для описания движения беременных женщин в процессе эвакуации в случае пожара. Графики полученных зависимостей представлены на рисунках 9–10.

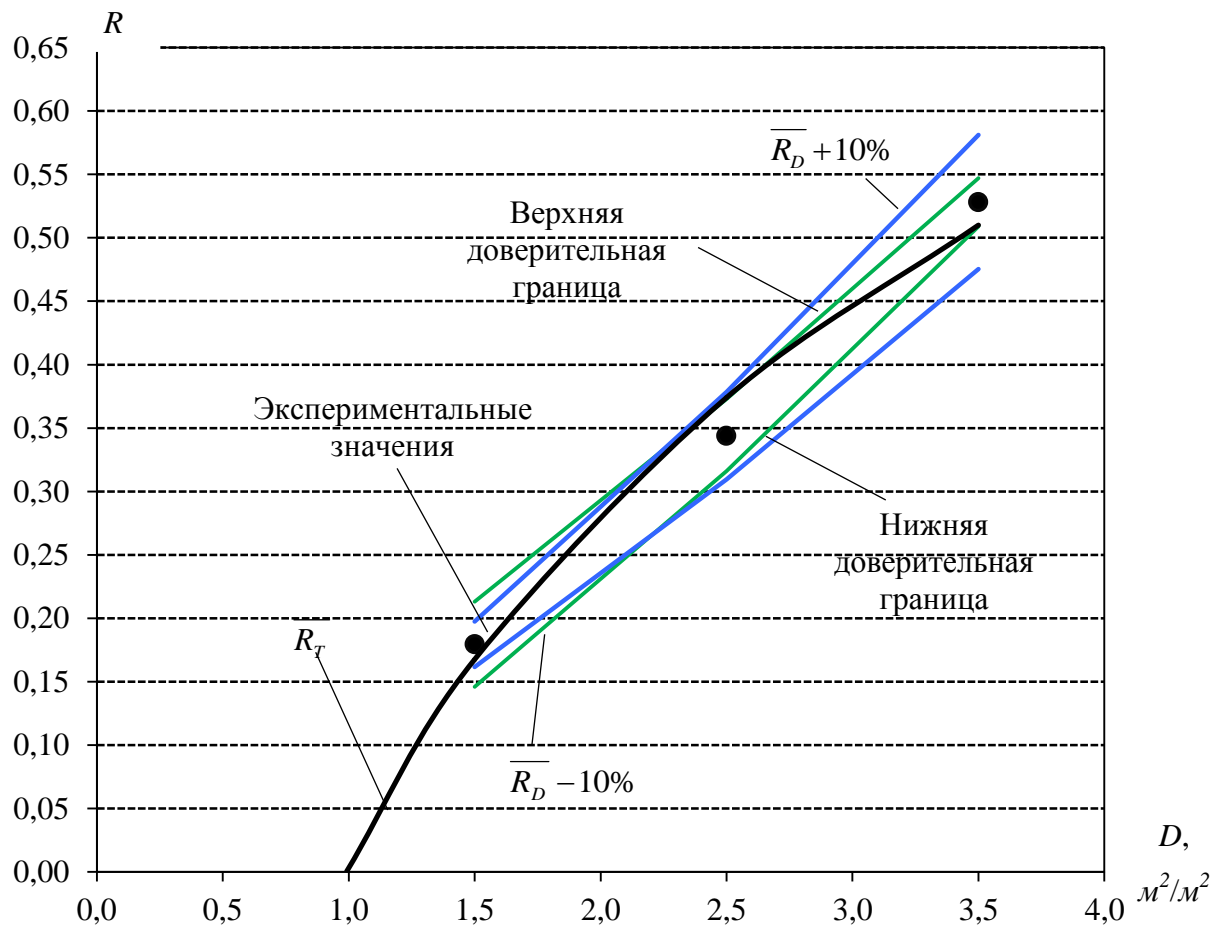


Рисунок 8 – Аппроксимация зависимости $R = f(D)$ для людского потока из беременных пациенток учреждений родовспоможения при движении по горизонтальному пути

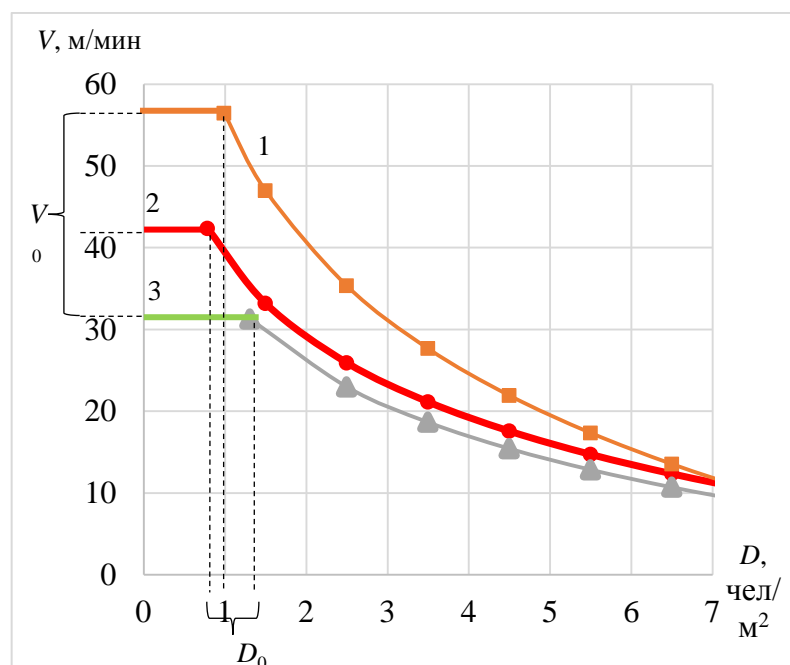


Рисунок 9 – Зависимость скорости движения беременных пациенток учреждений родовспоможения от плотности по различным видам пути:
1 – горизонтальный путь; 2 – лестница вниз; 3 – лестница вверх

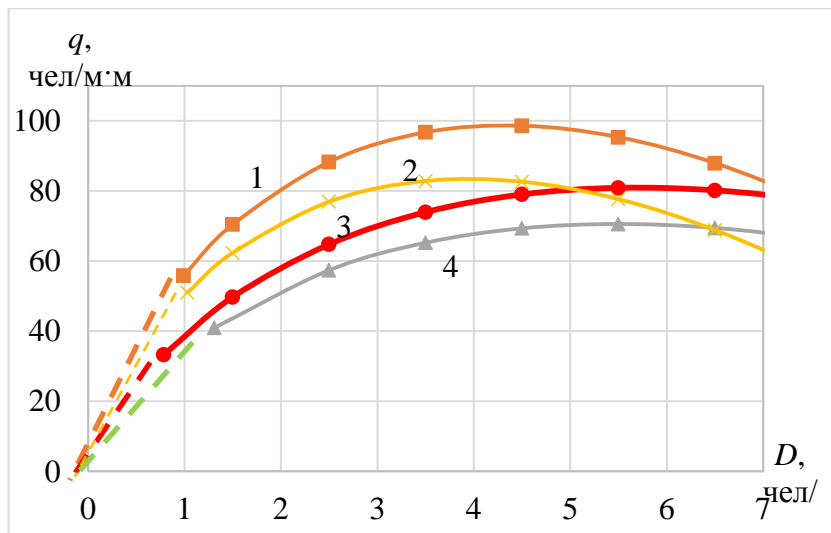


Рисунок 10 – Зависимость интенсивности движения беременных пациенток учреждений родовспоможения от плотности по различным видам пути: 1 – горизонтальный путь; 2 – проем; 3 – лестница вниз; 4 – лестница вверх

В четвертой главе проведен анализ возможности своевременной эвакуации беременных пациенток из учреждений родовспоможения, который определил необходимость разработки рекомендаций по нормированию способов защиты путей эвакуации.

На основе данных, полученных в ходе настоящей работы, разработан комплекс рекомендаций по расчету времени эвакуации при пожаре пациенток учреждений родовспоможения. На основании этих материалов выполнена расчетная оценка безопасности беременных пациенток учреждений родовспоможения.

Анализ объемно-планировочных решений зданий рассматриваемого класса функциональной пожарной опасности с учетом требований СП2.13130.2012 о том, что в перинатальных центрах размещение палат допускается не выше четвертого этажа, а дородовых палат – не выше третьего этажа, позволили сформировать общую расчетную схему эвакуации людей для анализа своевременности и беспрепятственности эвакуации основного функционального контингента учреждений родовспоможения. Для расчета параметров процесса эвакуации применялась индивидуально-поточная модель людского потока *Pathfinder*.

На основании динамики изменения численности людских потоков в различные интервалы времени следует, что беспрепятственность движения людей на лестничных маршах обеспечивается в случае, если функционируют все лестничные клетки. Тогда максимальное количество людей на маршах лестничной клетки не превысит 7 человек, в таком случае плотность потока будет достигать 2 чел/м² или 0,26 м²/м². При времени начала эвакуации, равном 4 минуты, общее среднее время эвакуации из 4-этажного учреждения родовспоможения составит около 8 минут. Это позволяет сделать любопытное замечание о том, что время начала эвакуации примерно равно времени, затрачиваемому на процесс движения людей к выходам.

Совокупность полученных данных позволяет сделать обобщенные выводы по времени эвакуации для учреждений родовспоможения. Время эвакуации из здания можно определять из следующего соотношения:

$$t_{\text{эв}} = t_{\text{нэ}} + l_{\text{к}}/V_{\text{к}} + (n - 1) l_{\text{лк}}/V_{\text{лк}}, \quad (12)$$

где $t_{\text{нэ}}$ – время начала эвакуации, мин; $l_{\text{к}}$ и $l_{\text{л}}$ – длина пути по коридору (от наиболее удаленной точки до лестницы) и по лестнице (между одним этажом), м; n – количество этажей.

Тогда для оценочных расчетов, принимая $t_{\text{нэ}} = 4$ мин (при СОУЭ 3-го типа), $V_{\text{к}} = 56$ м/мин (длина пути движения по коридору $l_{\text{к}} = 25$ м); по лестнице $V_{\text{лк}} = 40$ м/мин (длина пути по лестнице между этажами $l_{\text{лк}} = 12$ м), получим:

$$t_{\text{эв}} = 4,15 + 0,3 n. \quad (13)$$

Очевидно, что стохастичность людского потока в целом не подразумевает жестко предсказуемых результатов времени эвакуации людей, тем не менее, полученная аналитическая формула позволяет выявлять оценочные значения, по крайней мере, для планирования организационно-технических мероприятий.

С целью оценки своевременности эвакуации для моделирования пожара в отделении учреждения родовспоможения был использован программно-вычислительный комплекс *FDS (Fire Dynamic Simulator)*, реализующий дифференциальный метод моделирования пожара, который позволяет рассчитывать значения всех локальных параметров состояния во всех точках пространства внутри помещения для любого момента развития пожара и является наиболее точным из существующих.

При расчете принималось, что пожар происходит на посту медицинской сестры в середине коридора либо в помещении рядом со входом в лестничную клетку. На этаже пожара дверь в лестничную клетку принята открытой, а на всех остальных этажах – закрыта. При таком сценарии пожара дым будет проникать и концентрироваться в объеме лестничной клетке, блокируя выход с остальных этажей.

В результате установлено, что время блокирования путей эвакуации в коридоре в среднем составляет около 2,5 мин, а в лестничной клетке на уровне этажа пожара – около 3 мин. Наиболее неблагоприятным сценарием развития пожара является ситуация, когда очаг пожара размещен на нижележащих этажах здания, так как люди, находящиеся на этаже выше очага пожара, не имеют возможности произвести своевременную эвакуацию. Более того, если одна из лестничных клеток будет заблокирована опасными факторами пожара, то плотность людского потока на функционирующей лестнице возрастает и может достигать $0,52 \text{ м}^2/\text{м}^2$, что указывает еще и на нарушение беспрепятственности эвакуации.

Это требует разработки дополнительных мер для обеспечения безопасной эвакуации беременных пациенток учреждений родовспоможения.

Анализ результатов моделирования показал, что обеспечить безопасность пациенток учреждения родовспоможения при пожаре при существующих нормативных требованиях к путям эвакуации в зданиях, не оборудованных системами противодымной защиты и автоматическими установками пожаротушения, не представляется возможным. Решением данной проблемы может быть один из следующих вариантов (рисунок 11):

1. Снижение значения времени начала эвакуации путем совершенствования организационно-технических мероприятий, направленных на подготовку персонала и пациенток учреждений родовспоможения.

2. Снижение расчетного времени эвакуации: увеличение скорости движения беременных женщин либо ограничение протяженности эвакуационного пути в зависимости от времени его блокирования опасными факторами пожара. Очевидно, что при выборе этого варианта защиты надо идти по пути ограничения протяженности пути эвакуации.

3. Увеличение времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара с помощью проектирования систем противодымной вентиляции и систем автоматического пожаротушения.

Совокупность полученных в работе данных позволяет объективно диагностировать наличие угрозы беременным женщинам в случае пожара и выбрать то или иное решение по защите путей эвакуации от воздействия опасных факторов пожара.

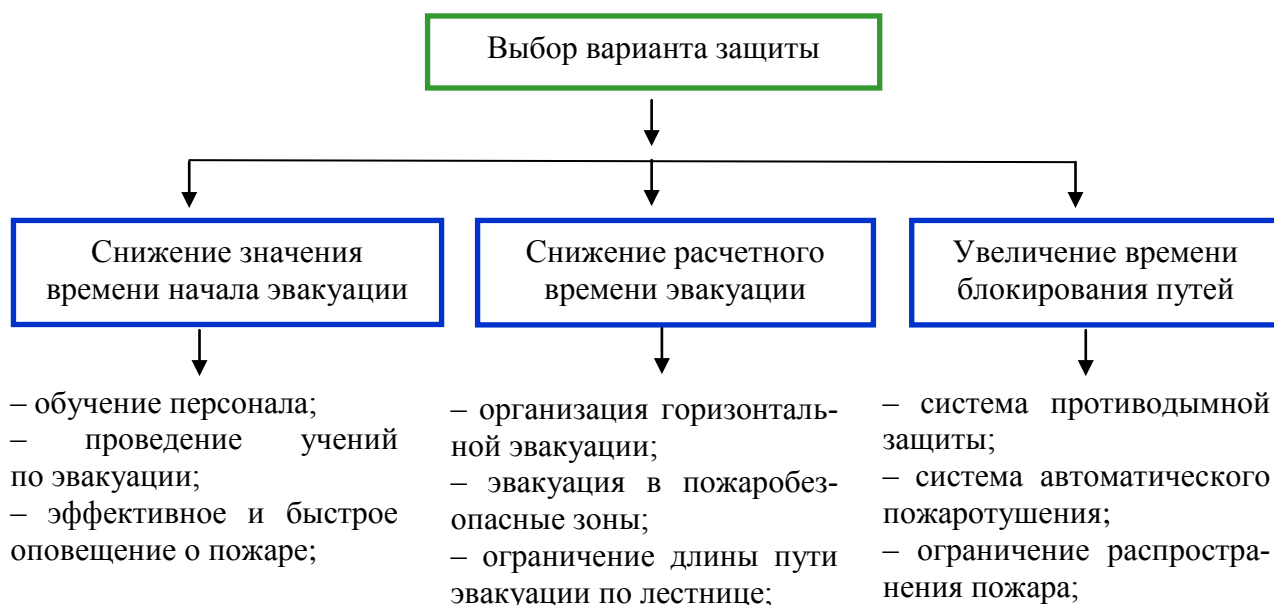


Рисунок 11 – Выбор варианта защиты людей в учреждениях родовспоможения в случае пожара

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ отечественных и зарубежных научных, нормативных и справочных источников выявил отсутствие данных, характеризующих процесс эвакуации беременных пациенток учреждений родовспоможения. Без таких данных невозможно гарантированно обеспечить их безопасность в случае возникновения пожара.

2. В процессе эвакуации учреждений с ночным пребыванием людей значительные затраты времени отмечаются на стадии подготовки к эвакуации. В связи с этим, впервые в учреждениях родовспоможения было исследовано время начала эвакуации не только в дневное, но и в ночное время. Время начала эвакуации было исследовано как для случая срабатывания общеобъектовой системы оповещения, так и для ситуации, при которой система не сработала. Это позволило описать в количественном отношении ранее не изученные аспекты оповещения людей о пожаре.

3. После подготовки к эвакуации на участках пути, ведущих к выходам из здания, формируются людские потоки. На основе экспериментов и натуральных наблюдений за движением беременных женщин по горизонтальным путям, по лестницам вверх, вниз и через дверные проемы была получена совокупность данных, которая была обработана методами математической статистики. В результате установлены параметры, характеризующие движение людских потоков в учреждениях родовспоможения в случае пожара.

4. Вполне очевидно, что нет возможности провести исследование процесса эвакуации в учреждениях родовспоможения в действительно чрезвычайных, экстремальных условиях. В связи с этим, для прогнозирования скоростей движения беременных женщин в условиях повышенной эмоциональной напряженности ситуации была использована существующая в теории движения людских потоков методика, позволяющая связать уровень эмоциональной напряженности ситуации и скорость движения женщин при эвакуации.

5. Совокупность полученных в работе данных позволяет объективно диагностировать наличие угрозы беременным женщинам и выбрать то или иное решение по защите путей эвакуации от воздействия опасных факторов пожара. Установлено, что беспрепятственность эвакуации, т.е. движение без образования высоких травмоопасных плотностей, при всех функционирующих эвакуационных выходах учреждений родовспоможения обеспечивается. Однако своевременность эвакуации при существующем положении вещей, как правило, гарантировать невозможно. Следует особо отметить, что в наибольшей опасности находятся женщины на этаже пожара и на вышележащих этажах.

6. Полученные в настоящей работе данные, базирующиеся на замерах времени начала эвакуации 134 беременных женщин и на 1077 замерах параметров их движения по различным видам пути в различном эмоциональном состоянии, а также результаты многовариантного моделирования пожара позволяют обоснованно формировать требования к путям эвакуации в учреждениях родовспоможения. В работе доказано, что для обеспечения безопасности основного функционального контингента необходимо защищать пути эвакуации в пределах этажа с помощью автоматических систем пожаротушения в помещениях,

ограничить длину пути эвакуации по лестнице либо обеспечить незадымляемость вертикальных путей эвакуации.

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

1. Хасуева, З. С. Влияние эмоционального состояния беременных женщин на скорость их движения при эвакуации в случае пожара [Электронный ресурс] / Д. А. Самошин, З. С. Хасуева, А. Фан // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 4. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/23-04-16.ttb.pdf>

2. Хасуева, З. С. К вопросу о влиянии степени готовности к действиям при пожаре медицинского персонала на время начала эвакуации больниц [Электронный ресурс] / Ю. А. Аниськина, Д. А. Самошин, З. С. Хасуева // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 6. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-6/03-06-16.ttb.pdf>

3. Хасуева, З. С. Особенности проведения исследований поточного пешеходного движения в учреждениях родовспоможения [Электронный ресурс] / З. С. Хасуева // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 4. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-6/32-06-16.ttb.pdf>

4. Хасуева, З. С. Параметры движения людских потоков, состоящих из беременных пациенток учреждений родовспоможения [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – № 6. – С. 52–69.

Остальные публикации по теме диссертации:

5. Хасуева, З. С. Особенности процесса эвакуации пациенток перинатальных центров и других учреждений родовспоможения при пожаре [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». – Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, – 2015.

6. Хасуева, З. С. Экспериментальные исследования скоростей свободного движения пациенток учреждений родовспоможения [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Материалы XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – М., МГСУ, 2016.

7. Хасуева, З. С. Первые экспериментальные данные исследования процесса эвакуации пациенток учреждений родовспоможения [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Материалы XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – М., МГСУ, 2017.

8. Хасуева, З. С. Математические критерии для проверки достаточности выборочной совокупности при исследовании параметров движения людских потоков на примере учреждений родовспоможения [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Материалы Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания». – Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017.

9. Хасуева, З. С. Обеспечение безопасной эвакуации людей в случае пожара в учреждениях родовспоможения [Текст] / З. С. Хасуева, Д. А. Самошин // Материалы Школы молодых ученых и специалистов МЧС России – 2017 – Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017.

10. Хасуева, З. С. Влияние мобильности пациенток учреждений родовспоможения на эвакуацию при пожаре [Текст] / В. В. Холщевников, Б. Б. Серков, Д. А. Самошин, З. С. Хасуева // Материалы конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – Кокшетау, 2017.

Подписано в печать 22.10.2019 Формат 60x84/1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,8. Тираж 100 экз. Заказ № 327

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