

*На правах рукописи*



**ШАРХУН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭВАКУАЦИИ  
РАБОТНИКОВ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ ОАО «РЖД»  
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕШТАТНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ**

05.02.22 – Организация производства (транспорт, технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

**Научный руководитель:** Сирина Нина Фридриховна, доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:**

Колодкин Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», Институт гражданской защиты, директор.

Цуриков Александр Николаевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», кафедра «Информатика», доцент.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Защита состоится 15 декабря 2017 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, зал диссертационного совета, ауд. Б2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещены диссертация и автореферат: <http://www.usurt.ru>

Автореферат разослан

«14» ноября 2017 года.

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять в двух экземплярах в адрес диссертационного совета по почте.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент



Н.Ф. Сирина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы исследования.** Обеспечение безопасности производственных процессов и их результатов, а также создание безопасных условий труда, направленных на сохранение жизни и здоровья работников ОАО «РЖД» и холдинга «Российские железные дороги» в целом в условиях воздействия возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций – одна из приоритетных задач, которой уделяется постоянное внимание.

Под нештатной ситуацией (НС) понимается общественно значимое событие, связанное с деятельностью холдинга и создающее ему репутационные и имиджевые риски и угрозы. К нештатным ситуациям относятся: угроза или наступление чрезвычайной ситуации природного и техногенного характера; террористическая угроза или террористический акт; противоправные действия, совершенные в отношении руководства либо работников ОАО «РЖД», пассажиров или иных пользователей услуг железнодорожного транспорта; акт незаконного вмешательства в работу железнодорожного транспорта; нарушение безопасности движения поездов или несчастный случай на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД», при которых пострадали, были травмированы или погибли люди (в том числе работники), имеется угроза их жизни и здоровью, возникают экологические риски, ожидается или допущен длительный перерыв в движении пассажирских поездов с задержкой на 3 часа и более, возник массовый сбой в графике движения пригородных поездов с максимальной задержкой более 30 минут.

Понятие же чрезвычайной ситуации (ЧС) определяется как ситуация и обстановка на определенной территории, возникшая в результате катастрофы, природного явления, аварии или стихийного бедствия, которая может повлечь за собой значительные как материальные потери, так и человеческие жертвы, либо привести к нарушению условий жизнедеятельности людей, ущербу здоровью людей и (или) окружающей среде.

В соответствии с картой существенных рисков ОАО «РЖД», изложенной в годовом отчете компании за 2016 год, существует техногенная и природно-климатическая категория рисков, в состав которой включены: риски, приводящие к разрыву технологической цепи; аварии на объектах, связанных с обеспечением работы холдинга; техногенные аварии на смежных видах транспорта; пожары, стихийные бедствия в районах деятельности и на объектах холдинга; управленческая категория риска, которая включает в себя риск принятия необоснованного управленческого решения.

Стратегией обеспечения гарантированной надежности и безопасности перевозочного процесса определены основные задачи, стоящие перед ОАО «РЖД»: повышение надежности и функционирования безопасности технических средств, входящих в состав объектов инфраструктуры и подвижного состава, а также предупреждение травматизма и снижение ущерба субъектам деятельности в сфере железнодорожного транспорта.

Помимо производственных, промышленных и линейных объектов, большую долю в инфраструктуре железнодорожного транспорта занимают административные здания, в которых располагается в основном управленческий штат работников ОАО «РЖД». Наиболее распространенной из возможных нештатных и чрезвычайных ситуаций в административных зданиях является пожар.

Учитывая характер зданий ОАО «РЖД» в крупных городах Российской Федерации, а также специфику и ответственность работников (от сохранности жизни и здоровья ряда категории работников зависит безопасность движения на больших территориях), можно сделать вывод, что повышение эффективности систем оповещения работников о НС и ЧС, а также управление эвакуацией из зданий является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы.** Проблемами, связанными с организацией эвакуации людей из зданий при нештатных или чрезвычайных ситуациях, занимались такие известные российские ученые: М.Я. Ройтман, С.В. Беляев, А.И. Милинский, В.И. Предтеченский, Д.А. Самошин, В.В. Холщевников, А.А. Таранцев, И.И. Исаевич, В.М. Колодкин; вопросами управления безопасностью на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта – А.Н. Гуда, М.А. Бутакова, А.М. Островский, А. Н. Цуриков, В.В. Доенин, Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов, К. Б. Кузнецов, Н.Ф. Сирина, В.И. Васильев и др., а также зарубежные ученые – К. Е. Воусе, Т. J. Shields, Н. Kuwabara, J. L. Bryan, J. L. Pauls, И. И. Полевода, Д. А. Полоз, О. В. Кураев и др.

Наибольший научный вклад в развитие данной темы вносят коллективы ВНИИЖТ, НИИАС, а также ведущих транспортных ВУЗов (МГУПС, ПГУПС, РГУПС, УрГУПС и др.). Большое внимание внедрению современных систем обеспечения безопасности производственных процессов и их результатов уделяет руководство ОАО «РЖД».

**Целью диссертационного исследования** является повышение эффективности организации эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» в условиях воздействия нештатных и чрезвычайных ситуаций.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить **следующие научные задачи:**

1. Проанализировать процесс организации эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» как временной промежуток, выявить временные интервалы, приводящие к увеличению времени эвакуации.

2. Выполнить анализ статистических данных о действиях сотрудников административных зданий ОАО «РЖД» при получении сигнала о НС и ЧС. Определить причины, по которым значительная часть работников игнорирует полученный сигнал и не предпринимает действий для начала эвакуации непосредственно при получении сигнала о НС и ЧС.

3. Разработать способ и реализующий его механизм, позволяющий при получении сигнала о НС и ЧС (в том числе о пожаре) исключить действия работников административных зданий ОАО «РЖД», не связанных непосредственно с эвакуацией.

4. Провести оценку эффективности и достоверности предложенного способа оповещения на основе практического применения и элементов имитационного математического моделирования.

**Объектом исследования** являются элементы транспортной инфраструктуры в период возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций и эвакуация работников административных зданий ОАО «РЖД».

**Предметом исследования** является организация оповещения и эвакуации работников административных зданий, обеспечивающих адекватное (в период эвакуации) воздействие на перевозочный процесс и способствующих сохранению жизни и здоровья работников.

**Научная новизна** результатов проведенных исследований заключается в следующем:

1. Формализованы и выделены отдельные временные промежутки процесса эвакуации, учитывающие особенности выполняемых функций работниками административных зданий ОАО «РЖД».

2. Разработан принципиально новый подход к оповещению работников административных зданий ОАО «РЖД» по средствам дублирования стандартной системы оповещения по существующим в административных зданиях каналам связи.

3. Произведена адаптация математической модели, реализующей индивидуально-поточное движение людей, для имитационного моделирования процесса эвакуации в исследуемых зданиях в зависимости от способа оповещения.

4. Дано математическое обоснование эффективности внедрения предлагаемого способа дублирующего оповещения работников ОАО «РЖД».

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость исследования заключается в разработанном принципиально новом способе оповещения работников административных зданий по существующим в административных зданиях каналам связи.

Практическая значимость выполненного диссертационного исследования состоит в качественной организации устойчивого функционирования и повышении эффективности системы управления эвакуацией работников при внештатных и чрезвычайных ситуациях в административных зданиях ОАО «РЖД».

Результаты исследования реализованы в компьютерной программе – Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре-ПК «СОУЭ-ПК», имеют прикладной характер и позволяют принимать разработанный программный комплекс «СОУЭ-ПК» в автоматическом режиме при организации перевозочного процесса на сети железных дорог.

Полученные результаты исследования используются в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность, подготовки по профилю «Безопасность технологических процессов и производств транспортных предприятий» в Уральском государственном университете путей сообщения, а также специалистов по направлению 20.05.01 Пожарная безопасность в Уральском институте Государственной противопожарной службы МЧС России.

**Методология и методы исследования.** В основу методологии диссертационного исследования положены общепризнанные методы теории вероятностей и математической статистики, теории системного анализа, научные методы сбора и обработки статистических данных, натурное наблюдение за процессом, имитационное моделирование и компьютерные вычисления.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Качественная формализация временных промежутков процесса эвакуации с учетом особенностей выполняемых функций работниками административных зданий ОАО «РЖД».

2. Способ оповещения, дублирующий общепринятую систему, используемую в административных зданиях ОАО «РЖД».

3. Адаптированная математическая модель, реализующая индивидуально-поточное движение людей с учетом реальных данных о времени начала эвакуации работников ОАО «РЖД».

4. Математическое обоснование эффективности внедрения предлагаемого дублирующего оповещения работников ОАО «РЖД».

**Степень достоверности результатов** проведенных исследований подтверждена обоснованным применением апробированных методов исследований, теорий и моделирования, а также апробацией основных результатов работы на ряде действующих административных зданий ОАО «РЖД», в качестве докладов на конференциях и публикацией работ в открытой печати транспортного и пожарно-технического профиля; адекватностью применяемых математических моделей и законов результатам расчетов и имитационного моделирования.

**Апробация работы.** Основные научные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы докладывались: на Научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов защиты» (Екатеринбург, 2012 г.); III и VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (Воронеж, 2012 г.); VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, слушателей, курсантов и молодых ученых с международным участием «Современные технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны» (Воронеж, 2015 г., 2017 г.); II Международной конференции «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» (Екатеринбург, 2016 г.); Международной научно-практической

конференции молодых ученых «Проблемы гражданской защиты: Управление, Предупреждение, Аварийно-спасательные и специальные работы» (Кокшетау, Республика Казахстан, 2017 г.); 77 Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и аспирантов «Транспорт: проблемы, идеи, перспективы» (Санкт-Петербург, 2017 г.); Международной научной конференции «Техника. Технологии. Образование. Безопасность 2017 г.» (София, Болгария, 2017 г.); 5-й Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (Москва, 2017 г.); III Международной конференции «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур» (Екатеринбург, 2017 г.).

**Публикации.** Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в восемнадцати печатных работах общим объемом 6,6 п.л.: при этом две печатные работы опубликованы в научных изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций».

**Структура диссертации.** Структура диссертационной работы представлена введением, четырьмя главами, заключением, списком используемой литературы, содержащим 87 наименований, списком сокращений и двумя приложениями. Основная часть работы изложена на 150 машинописных страницах, включает 57 рисунков и 10 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, цель и задачи, степень разработанности темы исследования, научную новизну, а также практическую и теоретическую значимость работы.

**В первой главе** выполнен анализ проблемы организации эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД».

Дана классификация зданий и сооружений инфраструктуры железнодорожного транспорта. Организация деятельности любого крупного предприятия требует постоянного мониторинга происходящих процессов и оперативного принятия решений в случае выхода процесса за определенные допустимые рамки, например, в случае пожара или иной НС в здании.

Установлено, что среди работников административных зданий ОАО «РЖД» существует категория работников, чья деятельность напрямую связана с организацией управления процессом перевозок непосредственно с использованием персональных компьютеров на рабочих местах. Также определено, что вопросы обеспечения сохранности жизни и здоровья данной категории работников при возникновении НС или ЧС решаются посредством общепринятых систем противопожарной защиты – системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) и автоматической пожарной сигнализацией (АПС). Изучены данные системы противопожарной защиты, используемые в административных зданиях ОАО «РЖД», приведена их классификация. Установлено, что эффективная эвакуация работников административных зданий зависит не только от правильности выбора, проектирования, монтажа и использования систем АПС и СОУЭ, но и также от адекватности действий работников при получении сигнала о необходимости эвакуации.

Выявлена специфика действий определенной части работников при получении сигнала о НС и ЧС, а именно невыполнение ими необходимых действий, направленных на немедленное начало эвакуации при пожаре или иной НС, что впоследствии может привести к их гибели или травмированию.

Отмечено, что в настоящее время актуальной задачей является изучение особенностей реагирования работников административных зданий на сигнал о НС и ЧС,

при этом особое внимание необходимо уделять определению причин, по которым работники данных зданий не начинают эвакуацию незамедлительно.

Разработка способов и технических систем, направленных на принуждение работника к определенным действиям при получении сигнала о НС и ЧС в целях своевременной эвакуации из здания, – необходимая и не решенная задача в настоящее время.

**Во второй главе** исследовано состояние проблемы своевременного реагирования работников на поступающий сигнал о НС и ЧС.

Процесс эвакуации работников из здания не является обеспеченным без решения трех взаимосвязанных и принципиально важных задач: обнаружение и оповещение о НС и ЧС, управление и организация эвакуации. Реализация первых двух задач требует определенных временных затрат, что окажет негативное влияние на время начала эвакуации. Третья задача непосредственно влияет на психоэмоциональное состояние людей и на их поведение в ходе эвакуации как следствие на характеристики людских потоков. Решение любой из вышеперечисленных задач определяется совокупностью различных действий и процессов, происходящих при НС или ЧС (рис. 1).

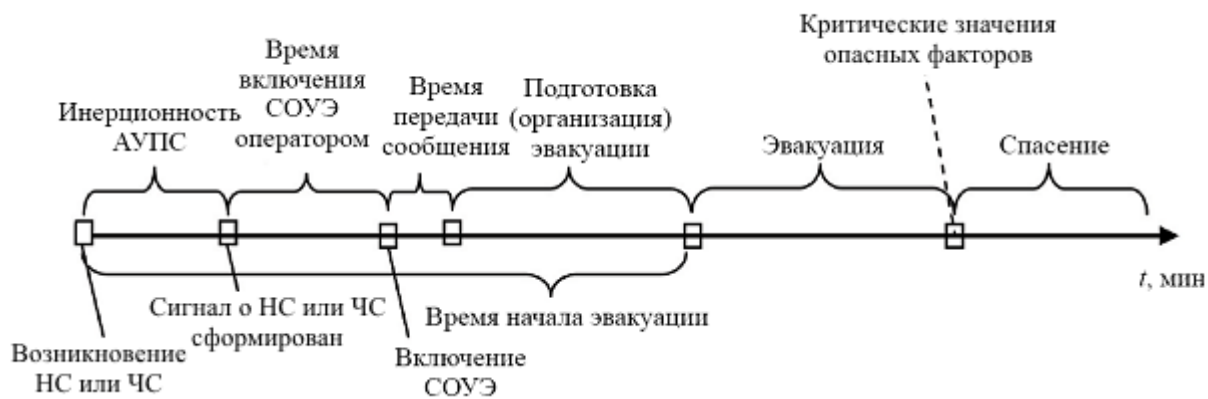


Рисунок 1 – Основные временные интервалы при возникновении НС или ЧС

Существующие представления о реагировании на сигналы опасности далеко не согласуются с реальностью. Время реагирования на сигнал тревоги по психофизиологическим данным составляет всего 0,1-0,2 сек., однако результаты проведенных наблюдений в существующих зданиях показывают, что реакция на сигнал о ситуации представляющую смертельную опасность бывает значительно замедленной и может составлять от нескольких секунд до десятков минут.

Анализ ряда исследований показал, что действия людей при получении сигнала о НС или ЧС имеют разную направленность и не всегда связаны с немедленным стремлением работников покинуть здание.

Установлено, что фактическое время эвакуации представляет собой промежуток времени, который необходимо разделить на три самостоятельных этапа: инерционность систем АПС и СОУЭ, непосредственно время движения по путям эвакуации и время принятия решения о необходимости начала эвакуации (рис. 2).

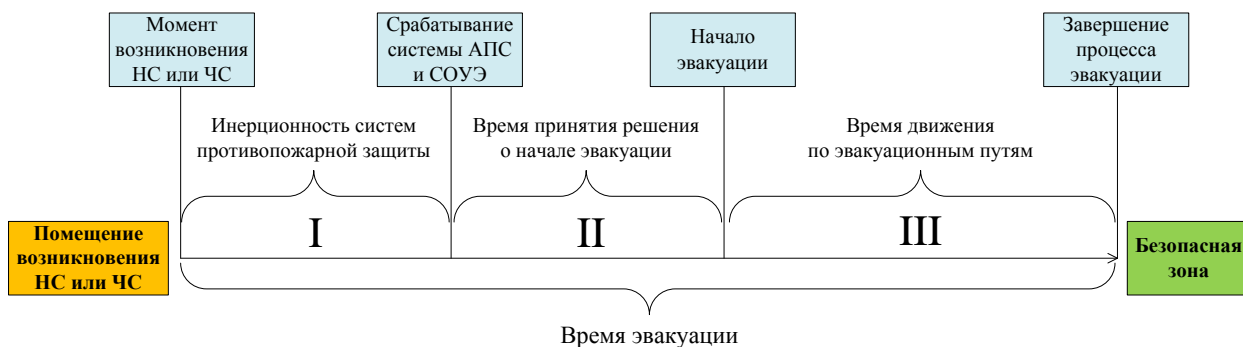


Рисунок 2 – Фактическое время эвакуации

Учитывая тот факт, что процесс эвакуации работников в современных условиях представляет собой многосторонний комплекс выполняемых мероприятий, а на итоговое время эвакуации влияет ряд различных факторов при реальном пожаре или НС, работать над сокращением общего времени эвакуации работников необходимо в разрезе и уделять внимание каждому из вышеперечисленных трех этапов. Для этого этап принятия решения о необходимости начала эвакуации также разделен на три отдельных временных промежутка (рис. 3):

1. Время реагирования работников на сигнал – промежуток времени от момента включения систем АПС и СОУЭ до восприятия работником сообщения о НС или ЧС.
2. Время, затраченное на окончание выполняемых работ, в том числе с использованием персональных компьютеров.
3. Время, затраченное на подготовительные для эвакуации работы – одевания, сбор личных вещей и т. д.

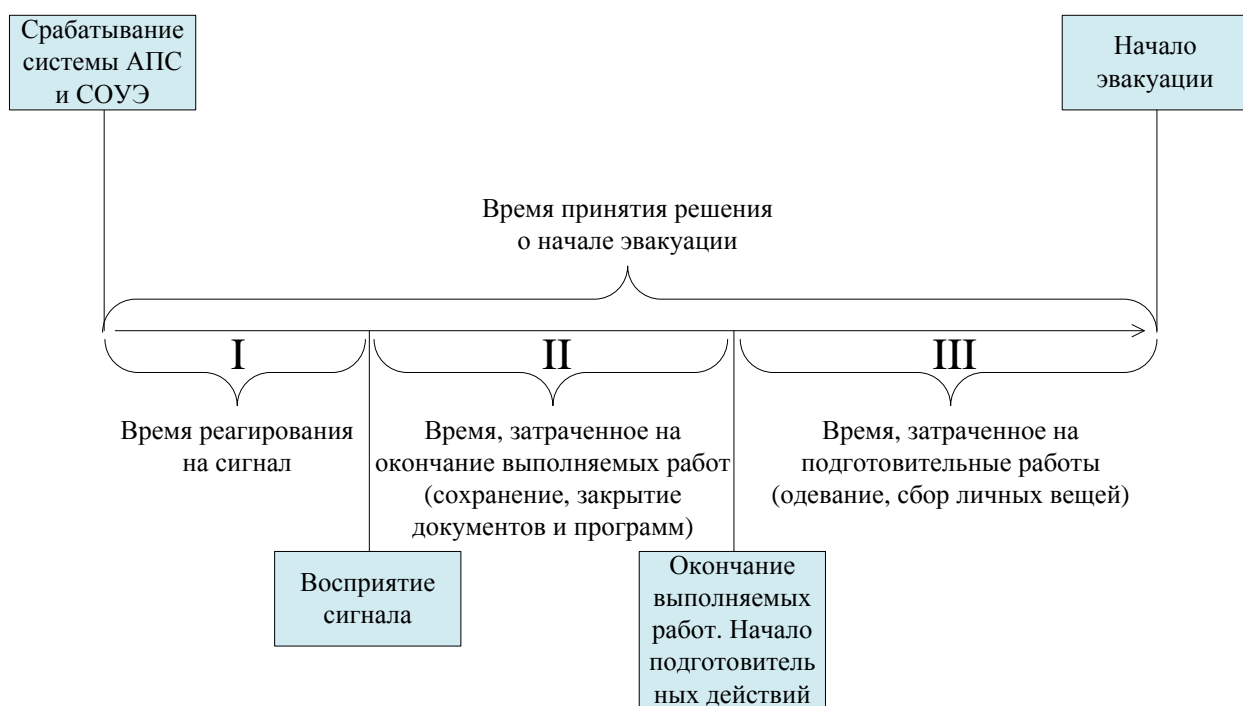


Рисунок 3 – Время принятия решения о начале эвакуации

Установлено, что действия подготовленных, инструктированных людей не всегда одинаковы. Проведенные исследования поведения работников установили, что, несмотря на регулярный противопожарный тренинг поведения работников при не анонсированных тренировочных эвакуациях, только 37% работников выполнили действия, предписываемые инструкцией при получении сигнала о НС и ЧС.



Для решения задачи сокращения временного интервала на принятие решения о необходимости начала эвакуации работниками административных зданий входящих в инфраструктуру ОАО «РЖД» в современных условиях можно выделить два направления (рис. 4) – выработка условного рефлекса «тревога – немедленная эвакуация» посредством обучения работников действиям при поступлении сигнала о НС и ЧС либо использование специальных технических средств, позволяющих принудить работника к принятию одного единственно верного решения, при существующей угрозе жизни и здоровью.



Рисунок 4 – Возможные методы сокращения временного интервала начала эвакуации

Работы по второму направлению – применение различных специальных технических средств, позволяющих принудить работника к принятию единственно верного решения, на существующих объектах в Российской Федерации, в том числе в ОАО «РЖД» – практически не ведутся. Основная причина заключается в том, что в настоящее время относительно простые, но при этом эффективные технические средства отсутствуют. А их разработка и возможность дальнейшего применения должны быть обоснованы с точки зрения технической и экономической эффективности.

В связи с этим представляется необходимым разработать математическую модель, позволяющую оценить эффективность применения дублирующего способа оповещения людей о НС или ЧС в административных зданиях ОАО «РЖД». Ввиду того, что некоторые составляющие части процесса эвакуации работников представляют собой в большей степени случайные величины (особенно в части начала эвакуации) для разработки математической модели целесообразно использовать различные законы распределения, с целью получения наиболее полного описания данного процесса.

На рисунке 5 показано графическое представление предлагаемой математической модели с учетом времени принятия решения о начале эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД».

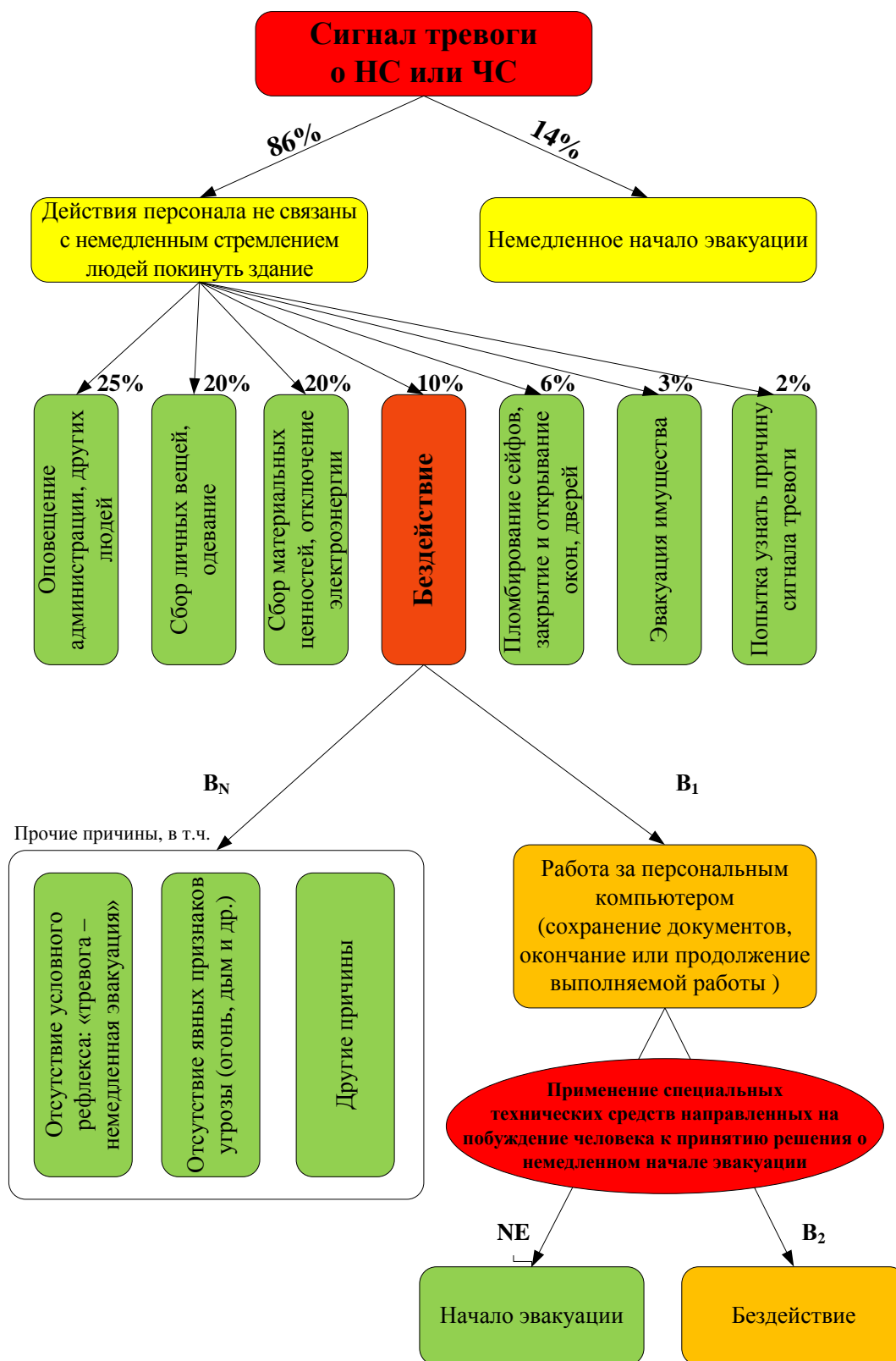


Рисунок 5 – Графическое представление математической модели с учетом времени принятия решения о начале эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД»

Разработка дублирующего оповещения и применение специальных технических средств, направленных на принуждение человека к принятию единственно верного решения о немедленном начале эвакуации, должны основываться на анализе эффективности восприятия человеком сигналов. Существующие СОУЭ по сути представляют собой комбинацию визуальных (световых) и звуковых сигналов, а

относительно работников ОАО «РЖД», основной частью деятельности которых является работа на персональных компьютерах, требуется также учесть степень их вовлеченности в производственный процесс.

Для оценки и математического обоснования эффективности внедрения предлагаемого способа дублирующего оповещения работников ОАО «РЖД» уточнена и адаптирована математическая модель, реализующая индивидуально-поточное движение людей.

Координаты каждого работника  $x_n^{t=0}$  в момент времени задаются в соответствии со схемой расположения рабочих мест в помещениях и в момент времени  $t$  определяются по формуле:

$$x_i(t) = x_n^{t=0} + V_i(t) \cdot (t_{\text{движ}} + t_{\text{нач.эвак}}), \quad (1)$$

где  $x_n^{t=0}$  – координата  $i$ -го работника в предшествующий момент времени, м;

$V_i(t)$  – средняя скорость  $i$ -го работника к моменту времени  $t$ , м/с;

$t_{\text{движ}}$  – время движения по пути эвакуации, с;

$t_{\text{нач.эвак}}$  – время начала эвакуации, с.

Скорость  $V_i(t)$  в момент времени  $t$  в зависимости от типа эвакуационного участка и значения локальной плотности потока, в котором он движется,  $D_i(t)$  определяется по таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость скорости  $V_i(t)$  в момент времени  $t$  от значения локальной плотности потока  $D_i(t)$

Плотность потока $V_i(t)$ , м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Скорость $D_i(t)$ , м/мин
0,01	100
0,05	100
0,10	80
0,20	60
0,30	47
0,40	40
0,50	33
0,60	28
0,70	23
0,80	19
0,90 и более	15

Используя математический аппарат регрессионного анализа и статистическую систему STATGRAPHICS for Windows, на основании данных таблицы 1 получена математическая закономерность:

$$V_i(t) = \exp(4,58827 - 2,11151 \cdot D_i(t)), \quad (2)$$

Коэффициент корреляции при этом составил 0,9953.

Локальная плотность  $D_i(t)$  вычисляется по группе, состоящей из  $n$  работников, по следующей формуле:

$$D_i(t) = \frac{(n(t)-1) \cdot f}{(b \cdot \Delta x)}, \quad (3)$$

где  $f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;  
 $n$  – количество работников в группе, чел.;  
 $\Delta x$  – разность координат последнего и первого человека в группе, м;  
 $b$  – ширина расчетного эвакуационного участка, м.

Таким образом, математическая модель для определения координаты каждого работника будет иметь следующий вид:

$$x_i(t) = x_n^{t=0} + \exp\left(4,58827 - 2,11151 \cdot \frac{(n(t)-1) \cdot f}{(b \cdot \Delta x)}\right) \cdot \sum (t_{\text{реакцир}}^i; t_{\text{окончание работ}}^i; t_{\text{подгот. работ}}^i; t_{\text{движ}}^i), \quad (4)$$

где  $n$  – количество работников в группе, чел.;  
 $x_n^{t=0}$  – координата  $i$ -го работника в предыдущий момент времени, м;  
 $b$  – ширина эвакуационного участка, м;  
 $f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;  
 $\Delta x$  – разность координат последнего и первого работника в группе, м;  
 $t_{\text{реакцир}}^i$  – время реагирования на сигнал, с;  
 $t_{\text{окончание работ}}^i$  – время, затраченное на завершение выполняемых работ, с;  
 $t_{\text{подгот. работ}}^i$  – время, затраченное на некоторые подготовительные для эвакуации работы, с;  
 $t_{\text{движ}}^i$  – время движения по эвакуационным путям, с.

Полученные закономерности, описывающие параметры движения людей при эвакуации, применимы для математического моделирования исследуемого процесса эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» при различных способах оповещения.

**В третьей главе** разработан и предложен принципиально новый подход к дублированию системы оповещения посредством применения программного комплекса «СОУЭ-ПК».

Структурно-логическая схема предлагаемого дублирующего способа оповещения приведена на рисунке 6 и заключается в том, что при проектировании и прокладке локально вычислительной сети в административных зданиях ОАО «РЖД» работа данной ЛВС будет технически увязана с работой (получением и обработкой сигналов) систем АПС и СОУЭ посредством применения аппаратного решения.

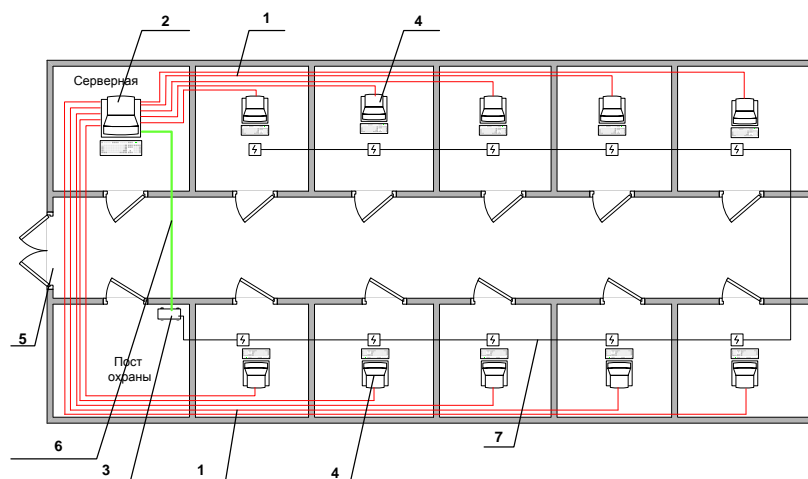


Рисунок 6 – Структурно-логическая схема разработанного способа дублирующего оповещения работников, ПК которых подключены к локально вычислительной сети: 1 – ЛВС, 2 – компьютер, управляющий ЛВС, 3 – прибор пожарной сигнализации приемно-контрольный (ПКПП), 4 – установленный на рабочем месте пользователя персональный компьютер, 5 – ближайший эвакуационный выход, 6 – линия связи ПКПП и серверного компьютера, 7 – шлейф АПС

Взаимосвязь данных систем (АПС и СОУЭ) предусматривает установку специального программного обеспечения – Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре-ПК «СОУЭ-ПК», позволяющего при получении от приемно-контрольного прибора АПС (3 на рис. 6) посредством линии связи (шлейфа сигнализации 6 на рис. 6) сигнала о НС и ЧС осуществить дублирование данного сигнала о НС и ЧС на все персональные компьютеры (4 на рис. 6), подключенные к локально-вычислительной сети.

Дублирующий способ оповещения работников будет воздействовать на людей по трем различным направлениям (рис. 7):

1. Визуальное оповещение с целью обновления в памяти внутренней планировки здания.
2. Дополнительное речевое оповещение с целью повышения достоверности сигнала.
3. Блокировка персонального компьютера с целью сокращения количества действий, не связанных непосредственно с эвакуацией из здания.

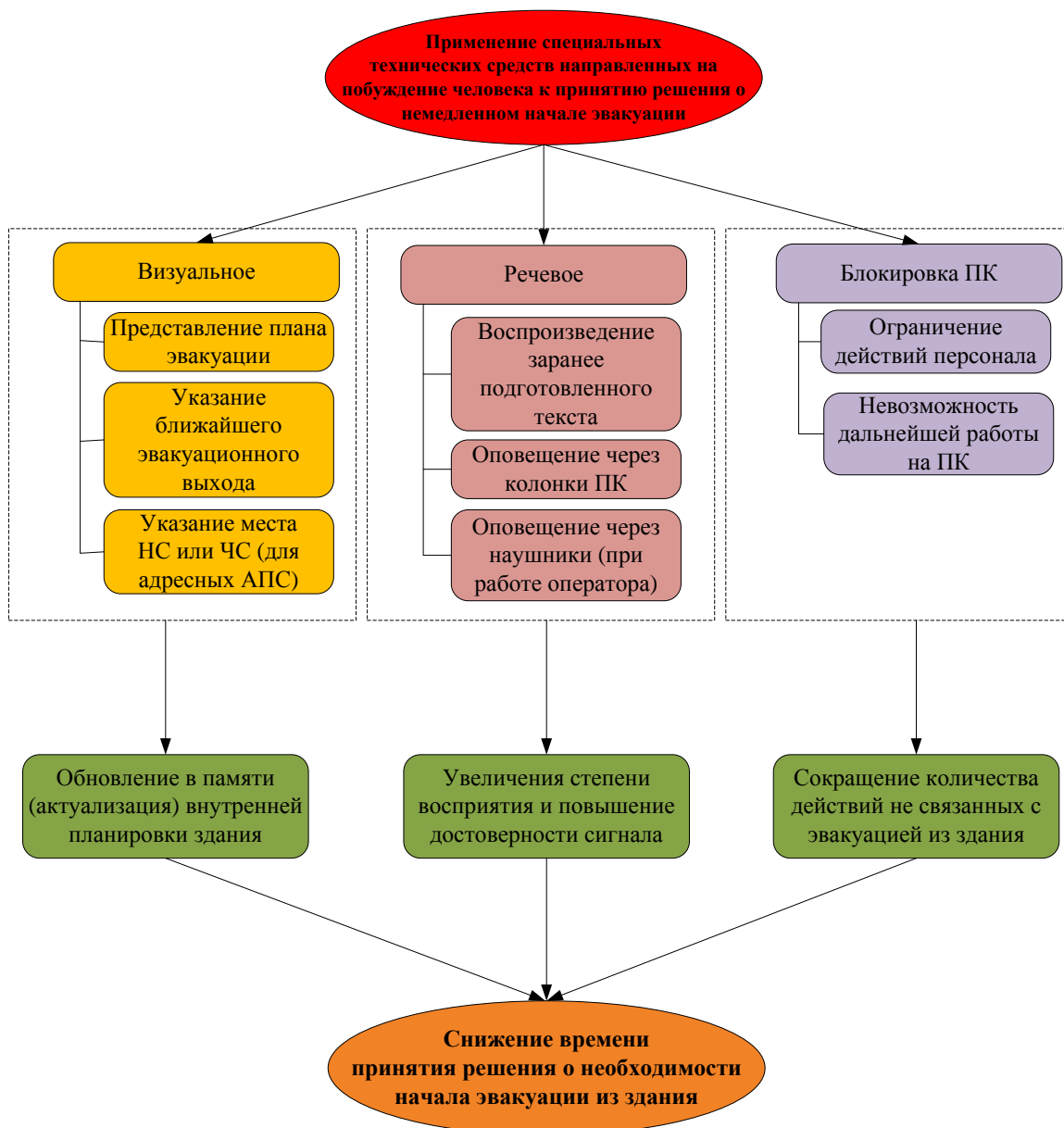


Рисунок 7 – Восприятие персоналом административных зданий ОАО «РЖД» сигнала СОУЭ о НС и ЧС

Приведено подробное описание технической составляющей разрабатываемого дублирующего способа оповещения, его интеграция в систему управления процессом эвакуации людей при НС или ЧС в административных зданиях ОАО «РЖД» показана на рисунке 8.

Внедрение дублирующего способа оповещения «СОУЭ-ПК» в систему противопожарной защиты административных зданий ОАО «РЖД» не требует значительных финансовых затрат, учитывая наличие технической составляющей в любом современном административном здании. Поддержание данного комплекса в работоспособном состоянии не потребует значительных трудовых ресурсов, а в основном будет сведено к первичной установке на персональные компьютеры работников ОАО «РЖД» и добавлению данного комплекса в список доверительных программ антивирусного программного обеспечения, используемого в каждом конкретном подразделении ОАО «РЖД».

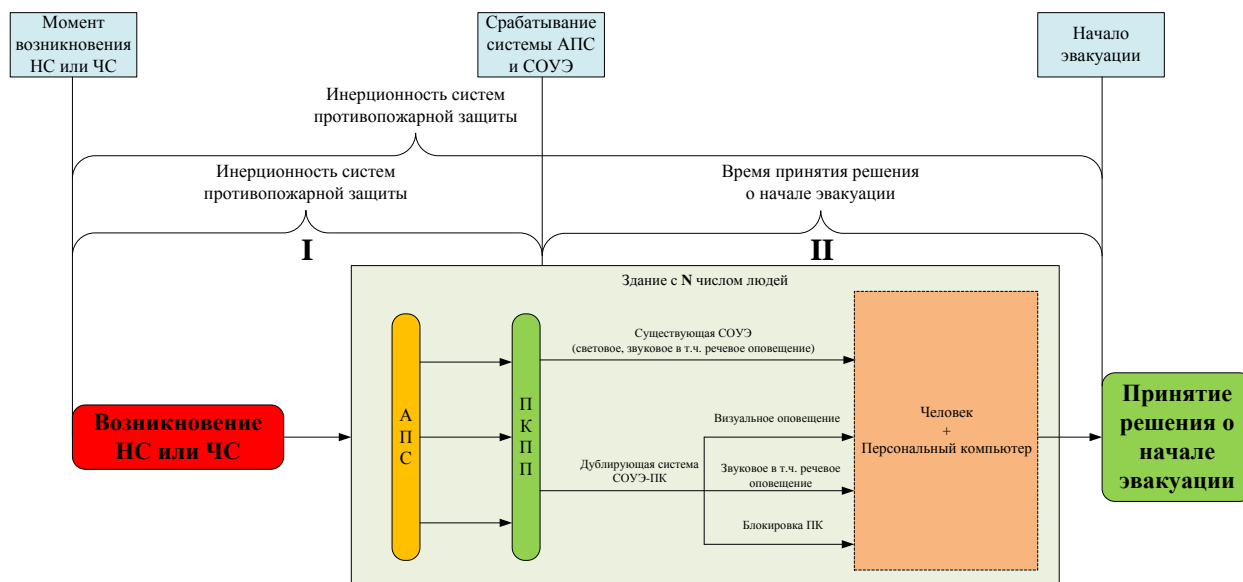


Рисунок 8 – Место для интеграции дублирующего способа оповещения работников административных зданий ОАО «РЖД» в систему управления процессом эвакуации людей при НС или ЧС

Подробно раскрыт функционал программного комплекса «СОУЭ-ПК».

Программный комплекс «СОУЭ-ПК» позволяет качественно дополнить существующую систему оповещения. Использование визуальной и речевой части дублирующего способа позволяет увеличить степень восприятия и достоверность сигнала о НС и ЧС в административных зданиях ОАО «РЖД».

Реализованная функция блокировки персонального компьютера пользователя позволяет исключить продолжение выполняемых работником действий и принудить его к незамедлительному началу эвакуации.

**В четвертой главе** проведен анализ эффективности интеграции предлагаемого программно-аппаратного комплекса «СОУЭ-ПК» в локально вычислительную сеть и систему противопожарной защиты административных зданий ОАО «РЖД».

Для оценки эффективности дублирующей СОУЭ проведено натурное наблюдение за поведением людей при различных способах оповещения о НС или ЧС. Наблюдение проводилось в пяти различных административных зданиях, входящих в инфраструктуру ОАО «РЖД», при этом фиксировалось время реагирования на сигнал о НС и ЧС (время принятия решения о начале эвакуации). Оповещение людей о НС проводилось в одинаковое рабочее время с предварительным информированием работников в пяти административных зданиях. При этом использовались 4 различных способа оповещения работников о НС:

- стандартная АПС и СОУЭ;
- стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (только звуковая составляющая);
- стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая и визуальное оповещение);
- стандартная АПС и СОУЭ + дублирующий способ оповещения «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая, визуальное оповещение и блокировка персонального компьютера).

При наблюдении фиксировалось время реагирования на сигнал о НС или ЧС, а именно интервал времени от момента включения системы оповещения до момента начала движения каждым отдельно взятым человеком.

По данным натурального наблюдения определены минимальные и максимальные значения времени реагирования на сигнал о НС или ЧС при различных способах оповещения работников одних и тех же зданий ОАО «РЖД», кроме того определено среднее значение реагирования в каждом конкретном случае, а также среднее квадратичное отклонение.

На основе результатов натурального наблюдения, с учетом реальных значений времени реагирования на сигнал о НС или ЧС, произведено имитационное моделирование процесса эвакуации. Моделирование процесса эвакуации людей при НС или ЧС выполнялось на основе полученных данных и адаптированной математической модели, реализующей индивидуально-поточное движение людей с использованием лицензионной программы многоагентного имитационного моделирования Pathfinder 2016, использующей управляемое поведение для моделирования передвижения людей.

На рисунке 9 показана динамика снижения времени эвакуации людей при использовании различных способов оповещения в исследуемом Здании № 1.

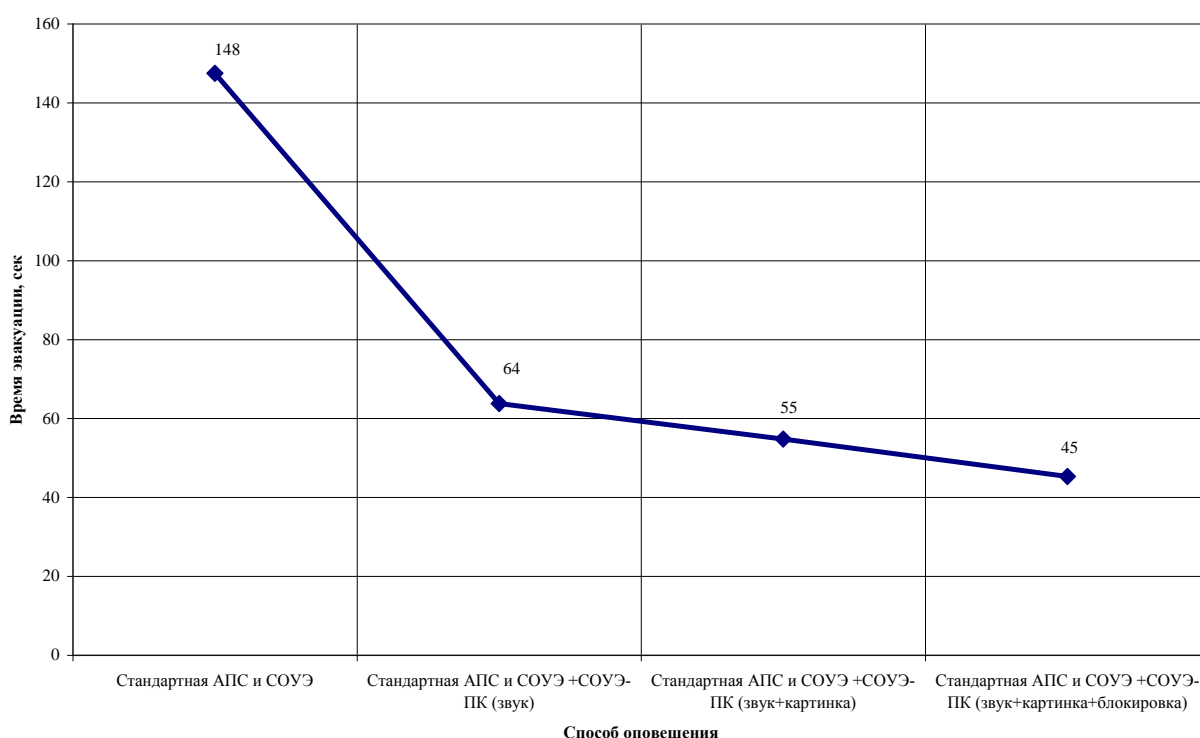


Рисунок 9 – Динамика снижения времени эвакуации людей при использовании различных способов оповещения в здании № 1

В ходе анализа результатов исследования были получены следующие данные: Время эвакуации людей при использовании только стандартного способа оповещения составит 148 сек. Время эвакуации при частичном использовании (только звуковое оповещение) дополнительного способа оповещения людей о НС или ЧС («СОУЭ-ПК») составит 64 сек, что на 56 % меньше начального. Время эвакуации при использовании звукового и визуального оповещения («СОУЭ-ПК») составит 55 сек, что на 62 % меньше начального. А время эвакуации при полном использовании дополнительного способа оповещения людей о НС или ЧС («СОУЭ-ПК») составит 45 сек, что на 69 % меньше начального.

Применение дублирующего способа оповещения людей о НС или ЧС («СОУЭ-ПК») позволяет снизить время принятия решения о необходимости начала эвакуации из здания, а как следствие, снизить время эвакуации людей из здания.



Время реагирования работников административных зданий на сигнал о НС и ЧС  $t$  – случайная величина, закон распределения которой неизвестен, и поэтому выполнен анализ применения следующих законов распределения:

- нормальный закон;
- логарифмически нормальный закон;
- гамма-распределение;
- экспоненциальный закон;
- распределение Вейбулла.

Для математического исследования экспериментальных данных была использована статистическая графическая система STATGRAPHICS for Windows.

Из проанализированных пяти распределений возможность применения нормального закона была отвергнута, остальные рассмотренные законы могут быть применены для описания моделируемого события «услышал – принял решение – начал движение».

Полученные данные по результатам математического исследования по доверительному уровню при использовании различных законов распределения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Доверительный уровень возможности использования математических законов для исследования полученных данных

Закон распределения	Нормальный закон	Логарифмически нормальный закон	Гамма-распределение	Экспоненциальный закон	Распределение Вейбулла
Доверительный уровень использования, %	10	93	90	95	90

Анализ экспериментальных данных и проверка возможности применения рассмотренных законов распределения к результатам экспериментального исследования (критерий хи-квадрат, критерий Колмогорова – Смирнова) позволяет сделать вывод о том, что для описания времени  $t$  протекания события «услышал – принял решение – пошел» возможно использовать экспоненциальный закон распределения с доверительным уровнем 95 % ( $p = 0,95$ ).

На рис. 10 показаны графики функции плотности распределения (по экспоненциальному закону) времени моделируемого события для различных способов оповещения. На рис. 11 показаны графики интегральной функции экспоненциального распределения времени моделируемого события для различных способов оповещения.

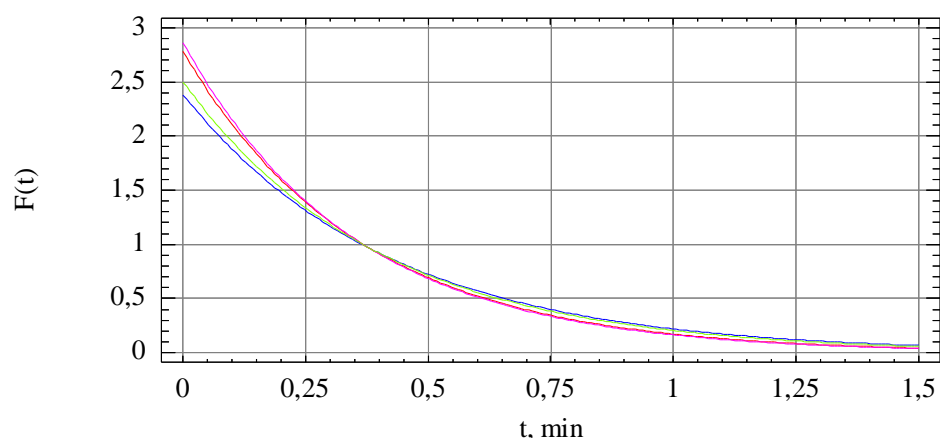


Рисунок 10 – Функция плотности распределения (экспоненциальный закон) времени  $t$  при различных способах оповещения:

- стандартная АПС и СОУЭ,
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (только звуковая составляющая),
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая и визуальное оповещение),
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая, визуальное оповещение и блокировка персонального компьютера)

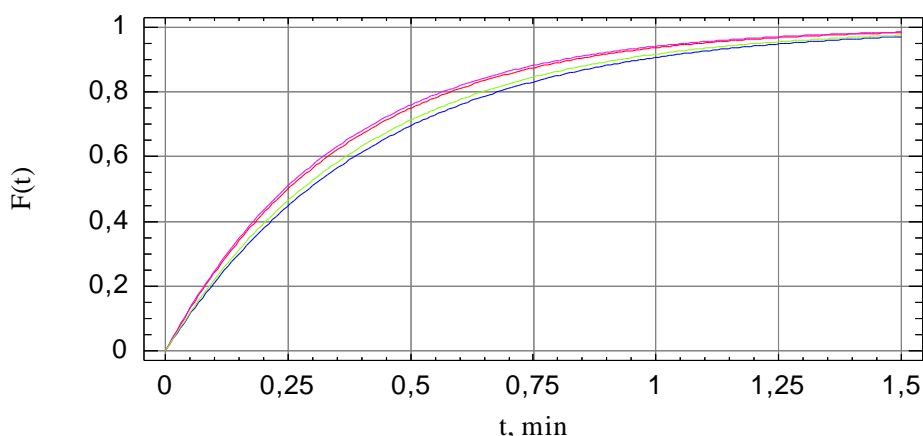


Рисунок 11 – Интегральная функция распределения (экспоненциальный закон) времени  $t$  при различных способах оповещения:

- стандартная АПС и СОУЭ,
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (только звуковая составляющая),
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая и визуальное оповещение),
- стандартная АПС и СОУЭ + «СОУЭ-ПК» (звуковая составляющая, визуальное оповещение и блокировка персонального компьютера)

Предлагаемый вариант системы «СОУЭ-ПК» с блокировкой работы ПК создаёт дополнительную мотивацию к эвакуации человека из потенциально опасного здания и тем самым способствует уменьшению времени события «услышал – принял решение – начал движение». На рисунке 12 показана динамика увеличения количества отреагировавших на сигнал оповещения при различных способах оповещения с течением времени.

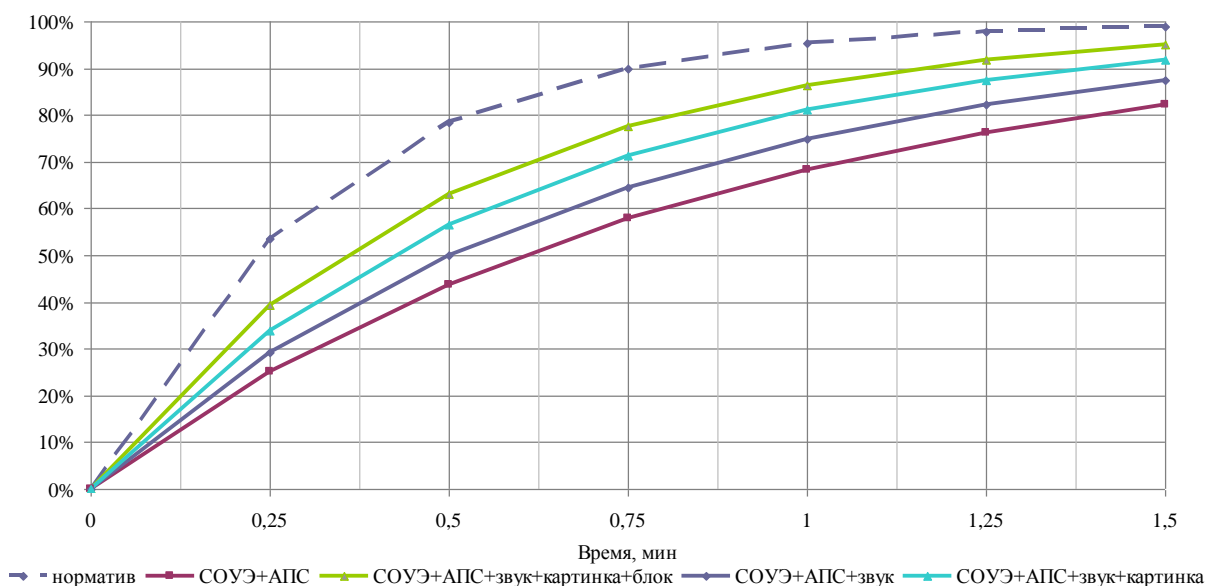


Рисунок 12 – Количество отреагировавших на сигнал оповещения (в %) при различных способах оповещения с течением времени

На основании выбранной модели экспоненциального закона распределения была выполнена сравнительная оценка эффективности оповещения при НС или ЧС в зависимости от способа оповещения в сравнении с нормативными значениями, а также существующими традиционными способами оповещения.

Анализ данных рисунка 12 показывает, что предлагаемый способ оповещения повышает процент отреагировавших на сигнал оповещения в среднем 15,38 % (на различных временных этапах). Также можно сделать вывод, что применение предлагаемого способа оповещения людей на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта вынуждает людей реагировать на сигнал оповещения в соответствии с нормативным временем по причине принудительного блокирования ПК пользователя и невозможности продолжения дальнейшей работы.

На основании использованной математической модели удалось получить следующие прогнозы: к моменту времени  $t = 0,5$  мин реагирование на стандартную АПС составит 44 %, на АПС + звук 50 %, на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках 56 % и на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках + принудительная блокировка ПК 63 %. Графически данные представлены на рисунке 13.

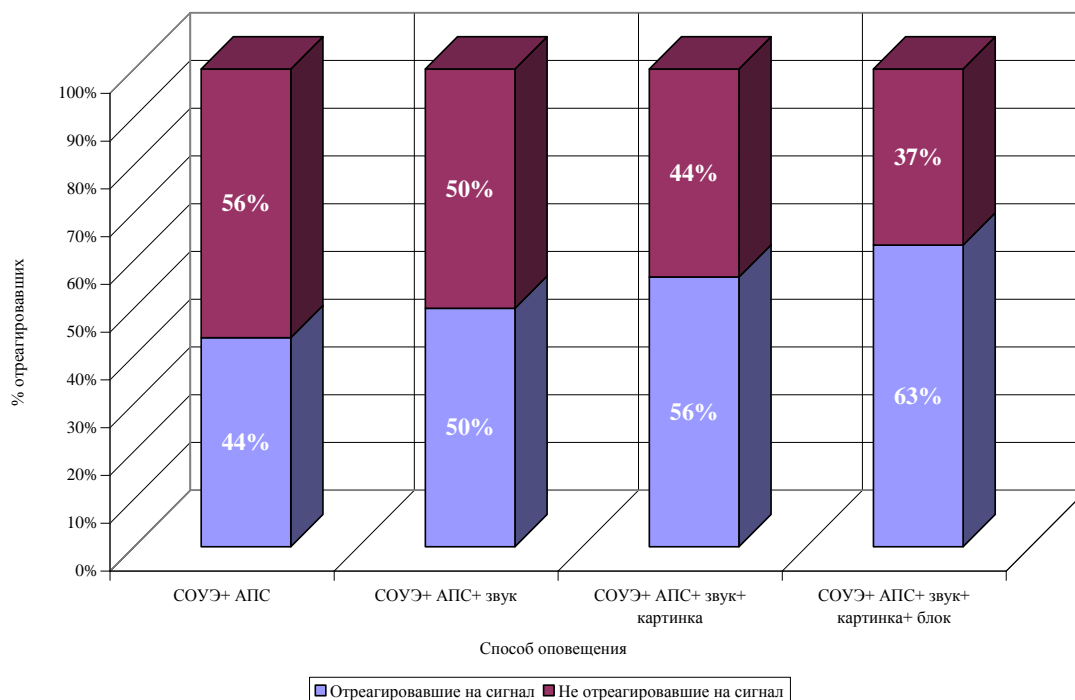


Рисунок 13 – Соотношение отреагировавших и не отреагировавших на сигнал через 0,5 мин после начала оповещения о НС или ЧС, %

Следовательно, применение «СОУЭ-ПК» позволит повысить количество отреагировавших в момент времени  $t = 0,5$  мин на 19 %, применительно к существующему зданию № 1 в абсолютных величинах (кол-ве людей) это составит 28 человек.

К моменту времени  $t = 1,0$  мин реагирование на стандартную АПС составит 68 %, на АПС+звук 75 %, на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках 81 % и на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках + принудительная блокировка ПК 86 %. Графически данные представлены на рисунке 14.

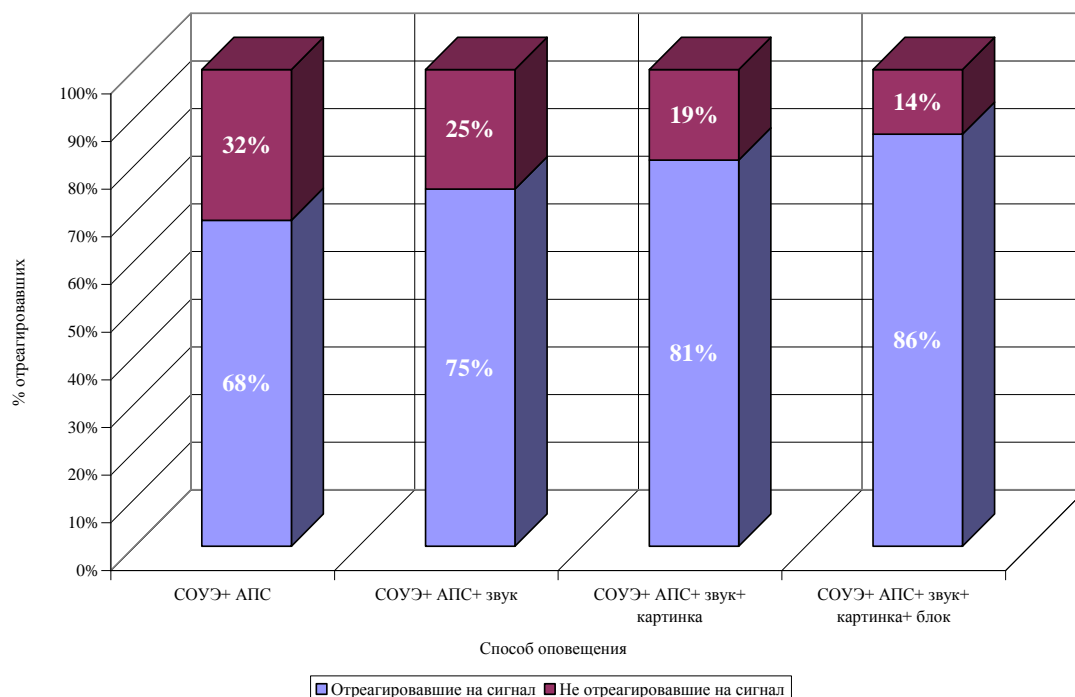


Рисунок 14 – Соотношение отреагировавших и не отреагировавших на сигнал через 1,0 мин после начала оповещения о НС или ЧС, %

Следовательно, применение «СОУЭ-ПК» позволит повысить количество отреагировавших в момент времени  $t = 1,0$  мин на 18 %, применительно к существующему зданию № 1 в абсолютных величинах (кол-ве людей) это составит 26 человек.

К моменту времени  $t = 1,5$  мин реагирование на стандартную АПС составит 82 %, на АПС+звук 87 %, на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках 92 % и на АПС+картинка на мониторах ПК+звук в колонках + принудительная блокировка ПК 95 %. Графически данные представлены на рисунке 15.

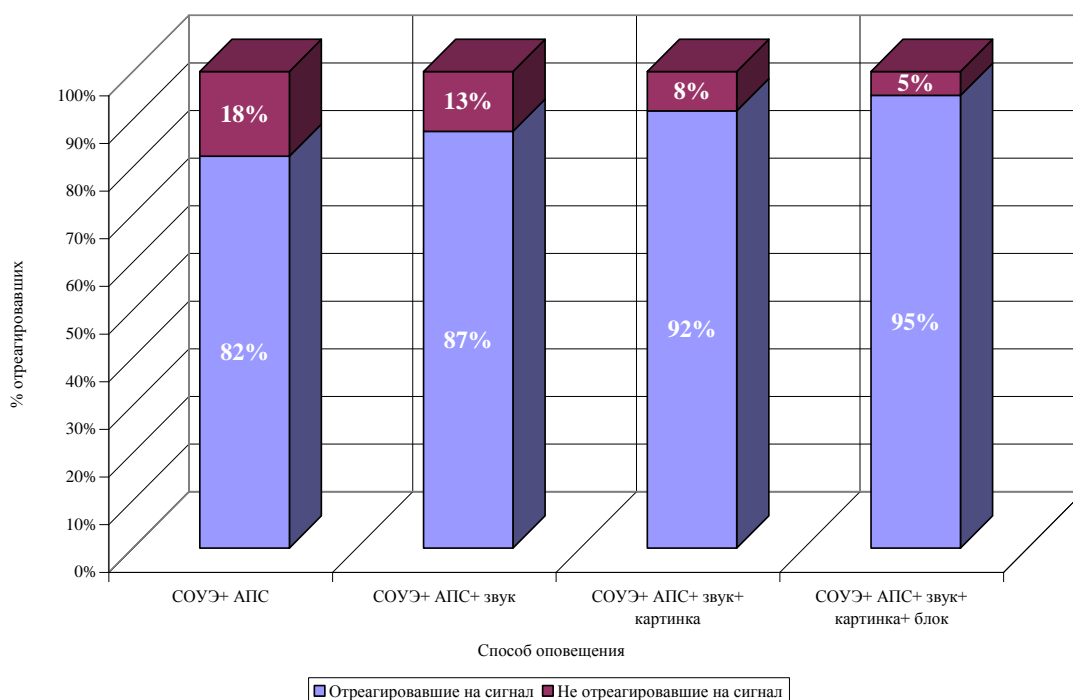


Рисунок 15 – Соотношение отреагировавших и не отреагировавших на сигнал через 1,5 мин после начала оповещения о НС или ЧС, %

Следовательно, применение «СОУЭ-ПК» позволит повысить количество отреагировавших в момент времени  $t = 1,5$  мин на 13 %, применительно к существующему зданию № 1 в абсолютных величинах (кол-ве людей) это составит 18 человек.

Из анализа данных рисунков 13-15 очевидно, что наибольшее влияние предлагаемый способ оповещения «СОУЭ-ПК» оказывает на начальных этапах оповещения людей о НС или ЧС, как раз в то самое время, когда в реальных условиях люди не до конца понимают опасность чрезвычайной ситуации и не всегда предпринимают необходимые для эвакуации действия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационного исследования поставленная в работе цель достигнута, задачи решены.

Результаты исследования, направленные на практическое решение задачи по повышению эффективности организации эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» в условиях воздействия нештатных и чрезвычайных ситуаций.

Основными результатами работы являются следующие положения:

1. Изучены и систематизированы системы противопожарной защиты, используемые в административных зданиях ОАО «РЖД», в частности система оповещения и управления эвакуацией работников при НС или ЧС.

2. Подробно разобран процесс эвакуации работников из здания как временной промежуток, выявлены интервалы, способствующие значительному увеличению времени эвакуации при НС или ЧС. Проанализированы действия работников ряда административных зданий ОАО «РЖД» при получении сигнала о НС или ЧС. Определены причины, по которым значительная часть работников игнорирует полученный сигнал и не предпринимает действий для начала эвакуации непосредственно при получении сигнала о НС или ЧС.

3. Определена и обоснована необходимость создания дублирующей технической системы оповещения, принуждающей работников к немедленному началу эвакуации. В качестве канала связи предложено использовать существующую в административных зданиях локально вычислительную сеть.

4. Предложен способ дублирующего оповещения работников административных зданий ОАО «РЖД», базирующийся на применении разработанного автором программного комплекса «СОУЭ-ПК», который позволяет качественно дополнить существующую систему оповещения большинства административных зданий. Определено, что интеграция предлагаемого программно-аппаратного комплекса в локально вычислительную сеть ОАО «РЖД» позволит качественно дополнить системы оповещения и управления эвакуацией при НС или ЧС, созданные и эксплуатируемые на объектах железнодорожной инфраструктуры в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности. А внедрение и поддержание дублирующего способа оповещения «СОУЭ-ПК» в систему противопожарной защиты административных зданий ОАО «РЖД» не повлечет за собой значительных финансовых и трудовых затрат.

5. Произведена адаптация математической модели реализующей индивидуально-поточное движение людей из здания, для имитационного моделирования процесса эвакуации в исследуемых зданиях в зависимости от способа оповещения. Проведено имитационное моделирование процесса эвакуации работников административных зданий на основе данных, полученных в результате натурного наблюдения за действиями людей при получении сигнала о НС и ЧС.

6. Доказано и математически обосновано, что применение дублирующего способа оповещения «СОУЭ-ПК» оказывает положительное влияние на время реагирования работников административных зданий ОАО «РЖД» на сигнал о НС и ЧС что позволит значительно снизить количество проигнорировавших сигнал о НС и ЧС (в среднем на 19 %). Данные, полученные в результате внедрения дублирующего способа оповещения «СОУЭ-ПК» в систему противопожарной защиты действующих административных зданий ОАО «РЖД», наглядно демонстрируют эффективность предлагаемого способа и технического решения за счет снижения времени эвакуации людей из административных зданий на 69 %, что в свою очередь снижает возможность воздействия опасных факторов пожара на работников в процессе эвакуации и сокращается количество потенциальных погибших из числа работников административных зданий ОАО «РЖД».

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Шархун, С. В. Снижение времени начала эвакуации при пожаре как основа обеспечения безопасности работников административных зданий ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Транспорт Урала. – 2016. – № 2. – С. 34-38.
2. Шархун, С. В. Анализ эффективности интеграции дублирующего способа оповещения в систему управления инфраструктурой железнодорожного транспорта на примере зданий ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина, В. А. Штерензон // Транспорт Урала. – 2017. – № 1. – С. 19-24.

### Научные публикации в прочих изданиях:

3. Шархун, С. В. Оповещение и управление эвакуацией людей при пожаре с использованием локально вычислительных сетей [Текст] / С. В. Шархун // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов защиты : м-лы. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2012. – С. 19-23.
4. Шархун, С. В. Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий [Текст] / С. В. Шархун // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 2. – С. 60-64.
5. Шархун, С. В. Этапы эвакуации людей при пожаре [Текст] / С. В. Шархун, Т. С. Колбин, Е. Н. Брюхов // Современные технологии ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и обеспечения гражданской обороны: м-лы. науч.-практ. конф. с международным участием. – Воронеж, 2015. – С. 255-259.
6. Шархун, С. В. Своевременное начало эвакуации при пожаре как основа ее эффективности [Текст] / С. В. Шархун, Е. Н. Брюхов // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 5. – С. 54-57.
7. Шархун, С. В. Результаты имитационного моделирования процесса эвакуации работников административных зданий ОАО «РЖД» на основе данных натурного наблюдения при применении программного комплекса «СОУЭ-ПК» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Техносферная безопасность. – 2017. – № 2. – С. 8-14.
8. Шархун, С. В. Современное высотное строительство и его пожарная опасность [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Техносферная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 37-42.
9. Шархун, С. В. Анализ оснащенности подразделений пожарной охраны техническими средствами по спасению людей из высотного здания дорожного центра управления перевозками (ОАО «РЖД») [Текст] / Н. Ф. Сирина, С. В. Шархун, С. А. Махнев // Техносферная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 33-36.
10. Шархун, С. В. О возможности применения дублирующего способа оповещения работников при пожаре на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур : м-лы Международн. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. Н. Алехина. – Екатеринбург, 2016. – С. 301-305.
11. Шархун, С. В. О результатах натурного наблюдения за изменением времени реагирования персонала административных зданий ОАО «РЖД» на сообщение о пожаре при применении программного комплекса «СОУЭ-ПК» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина, В. А. Штерензон // Техносферная безопасность. – 2017. – № 1. – С. 13-18.
12. Шархун, С. В. Математическое исследование применения программного комплекса «СОУЭ-ПК» в административных зданиях ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина, В. А. Штерензон // Техносферная безопасность. – 2017. – № 1. – С. 19-29.

13. Шархун, С. В. Результаты интеграции дублирующего способа «СОУЭ-ПК» для оповещения людей при пожаре в административных зданиях ОАО «РЖД» [Электронное текстовое издание] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы : м-лы Международн. науч.-практ. конф. 17 марта 2017 г. – Кокшетау, РГУ «КТИ КЧС МВД Республики Казахстан». – 2017. – С. 321-324.

14. Шархун, С. В. Применение дублирующего способа оповещения людей при пожаре «СОУЭ-ПК» в административных зданиях ОАО «РЖД» [Электронное текстовое издание] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Материалы 5-й международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения». – М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 108-111.

15. Sharkhun S. V. Experience application of the duplicating way \"WSEM-PC\" for the notification of people at the fire in office buildings of JSC Russian Railways [Text] / S.V. Sharkhun, N.F. Sirina // Materials V of the international scientific and practical conference \"Technician Tekhnologiya. Education. Safety\". – Veliko Tarnovo: Scientific technical union of mechanical engineering \"Industry 4.0\", 2017. – 324 Pages 255-258.

16. Шархун, С. В. Опыт применения дублирующего способа «СОУЭ-ПК» для оповещения людей при пожаре в административных зданиях ОАО «Российские железные дороги» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Современные технологии ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и обеспечения гражданской обороны : м-лы науч.-практ. конф. с международным участием. – Воронеж, 2017. – С. 377-381.

17. Шархун, С. В. Дублирующий способ оповещения людей как метод снижения времени начала эвакуации при пожаре в административных зданиях ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и аспирантов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – С. 142-148.

18. Шархун, С. В. Результаты интеграции дублирующего способа оповещения в систему противопожарной защиты инфраструктуры железнодорожного транспорта на примере административных зданий ОАО «РЖД» [Текст] / С. В. Шархун, Н. Ф. Сирина // Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур (SAFETY2017) : м-лы Международн. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. Н. Алехина. – Екатеринбург, 2017. – С. 115-123.

#### **Результаты исследования реализованы в компьютерной программе:**

19. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре – ПК (СОУЭ-ПК) / Шархун С.В. : свид. № 2012617518; правообладатель : Шархун С.В.; заявка №2012615195; дата поступления 22.06.2012 г.; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.08.2012 г.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1,5,6,8,9] – формализация и выделение отдельных временных промежутков процесса эвакуации, учитывающих особенности выполняемых функций работниками административных зданий ОАО «РЖД», [17] – разработка принципиально нового подхода к оповещению работников административных зданий ОАО «РЖД» по средствам дублирования стандартной системы оповещения по существующим в административных зданиях каналам связи, [10,12,13] – адаптация математической модели, реализующей индивидуально-поточное движение людей, для имитационного моделирования процесса эвакуации в исследуемых зданиях в зависимости от способа оповещения, [2,11,14,15,16,18] – математическое обоснование эффективности внедрения предлагаемого способа дублирующего оповещения работников ОАО «РЖД».



## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АППЗ	Система автоматической противопожарной защиты
АПС	Автоматическая пожарная сигнализация
АУПТ	Автоматическая система пожаротушения
ДУ	Автоматическая система дымоудаления
ДЦУП	Дорожный центр управления перевозками
ЛВС	Локально вычислительная сеть
МЧС	Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
НС	Нештатная ситуация
ОАО «РЖД»	Открытое акционерное общество «Российские железные дороги»
ОФП	Опасные факторы пожара
ПК	Персональный компьютер
ПКПП	Приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации
СвЖД	Свердловская железная дорога
СОУЭ	Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре
СОУЭ-ПК	Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре-ПК
ЧС	Чрезвычайная ситуация
ФГП ВО ЖДТ России	Федеральное государственное предприятие «Ведомственная охрана железнодорожного транспорта Российской Федерации»

Подписано в печать «13» октября 2017 г.  
Усл. печ. л. 1,5. Заказ 141. Тираж 100 экз.  
Формат 60x84 1/16.

---

Издательство ФГБОУ ВО УрГУПС, 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66