

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия ГПС МЧС России

Д.В. Шихалев, Р.Ш. Хабибулин

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

МОНОГРАФИЯ

Москва
2019

УДК 614.84
ББК 38.96
С17

Рецензенты:

В.М. Колодкин, директор Института гражданской защиты
Удмуртский государственный университет
доктор технических наук, профессор

А.М. Членов, профессор кафедры пожарной автоматики
Академии ГПС МЧС России
доктор технических наук, профессор

Шихалев Д.В., Хабибулин Р.Ш.

С17 Система поддержки управления эвакуацией людей при пожаре: монография / Д. В. Шихалев, Р. Ш. Хабибулин – М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. – 164 с.

ISBN 978-5-9229-0182-6

В монографии рассмотрена и обоснована необходимость применения систем поддержки управления эвакуацией людей при пожаре (на примере торгово-развлекательных центров). В работе предложены модели определения безопасных маршрутов движения людей во время эвакуации при пожаре, разработаны соответствующие алгоритмы.

Разработана концепция построения систем поддержки управления эвакуацией людей при пожаре и программного обеспечения системы. Подготовлены рекомендации по информационно-аналитическому обеспечению системы и определены перспективные направления исследования систем поддержки управления эвакуацией при пожаре.

УДК 614.84
ББК 38.96

ISBN 978-5-9229-0182-6

© Шихалев Д.В., Хабибулин Р.Ш., 2019

© Академия ГПС МЧС России, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЛИЦАМИ, ПРОВОДЯЩИМИ ЭВАКУАЦИЮ ПРИ ПОЖАРАХ.....	6
1.1 Обоснование необходимости применения системы поддержки управления в составе системы оповещения и управления эвакуацией.....	6
1.2 Проблемы принятия управленческих решений лицом, проводящим эвакуацию из задания при пожаре	11
1.3 Существующие системы управления эвакуацией при пожаре	14
1.4 Выводы по первой главе.....	28
ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ВО ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ	30
2.1 Анализ подходов, применяемых к определению маршрутов движения людей при пожаре	30
2.2 Безопасность маршрута движения людей при пожаре и алгоритм его определения	35
2.3 Выводы по второй главе	53
ГЛАВА 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗА- ДАЧИ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПО- ЖАРЕ	57
3.1 Описание модели движения людей и модели распространения опасных факторов пожара.....	57
3.2 Моделирование эвакуации людей и распространения опасных факто- ров пожара с учетом определения безопасных маршрутов движения	67
3.3 Выводы по третьей главе.....	100
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ	102
4.1 Система поддержки управления эвакуацией при пожаре.....	102
4.2 Разработка программного обеспечения системы поддержки управления эвакуацией при пожаре.....	121
4.3 Рекомендации по информационно-аналитическому обеспечению	123
4.4 Перспективные направления исследования систем поддержки управле- ния эвакуацией при пожаре.....	126
4.5 Выводы по четвертой главе.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
SUMMARY FOR FOREIGN RESEARCHERS.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Анализа статистических источников и информации о пожарах в зданиях показали, что гибель людей при пожарах во многом связана с плохо организованной эвакуацией. Так, имеющаяся информация подтверждает наличие определенных недостатков, связанных с организацией эвакуации при пожаре, проявляющихся, в частности, в действиях посетителей и обслуживающего персонала, которые, как известно, носят неоднородный характер.

Во время эвакуации из здания при пожаре у человека возникает ряд проблем, связанных с его безопасностью: во-первых, пожарная сигнализация или признаки пожара (дым, запах) дают недостаточно информации о местоположении источника пожара, его серьезности, безопасных маршрутах эвакуации и количестве времени, находящемся в распоряжении эвакуируемых.

Во-вторых, ввиду ряда психологических особенностей, человек, малознакомый со зданием и не имеющий знаний и опыта поведения при эвакуации во время пожара, будет избегать принятия решений и станет следовать указаниям персонала здания, осуществляющего эвакуационные мероприятия.

В то время как эвакуируемые полагаются на указания персонала здания, осуществляющего эвакуацию (при их наличии), у обозначенного персонала не всегда имеются точные представления о доступных эвакуационных маршрутах и эвакуационных выходах. Таким образом, с одной стороны, эвакуируемые ожидают от персонала указаний по эвакуации из здания, а с другой стороны, персонал также не всегда может объективно оценить текущую ситуацию и указать безопасное направление эвакуации.

Результаты анализа требований к системам оповещения и управления эвакуацией при пожаре показали, что на данном этапе практически нет требований к управлению эвакуацией, что, в свою очередь, обуславливает отсутствие принципов, алгоритмов, по которым должно производиться управление, не приводятся сведения, которые являются приоритетными, при определении направления эвакуации, не определены ни степень участия персонала, ни задачи лица, принимающего решения при эвакуации. С учетом вышесказанного делаем вывод, что управление, обозначенное в термине «система оповещения и управления эвакуацией», относится к управлению оповещением, а не процессом эвакуации.

На основании результатов анализа систем управления эвакуацией, как российских, так и зарубежных, сделан вывод о том, что в существующих системах достаточно широко представлены всевозможные способы управления эвакуацией, однако маршрут эвакуации, которые они определяют, не всегда является безопасным. Так, в большинстве систем в каче-

стве оптимизационного показателя выбрано время эвакуации, тем самым упускается из внимания безопасность людей при их движении. Такие маршруты являются оптимальными с точки зрения времени эвакуации, но не с точки зрения безопасности людей, которая должна рассматриваться в комплексе.

Таким образом, актуальность исследования определяется необходимостью совершенствования существующей структуры СОУЭ, разработки методов и алгоритмов информационно-аналитической поддержки ЛПР для совершенствования управления эвакуацией при пожаре.

В основе настоящего исследования лежат результаты научной деятельности многих отечественных и зарубежных ученых, занимающихся исследованием эвакуации людей при пожаре: С.В. Беляева, А.И. Милинского, В.М. Предтеченского, В.В. Холщевникова, Р.Г. Григорьянца, В.А. Копылова, И.И. Исаевича, Д.А. Самошина, К. Kimura, J. Fruin, D. Helbing, U. Kemloh, A. Seyfried, M. Chraïbi и др.; в области построения систем поддержки принятия решений (СППР) и автоматизированных информационных систем: Н.Г. Топольского, Е.А. Мешалкина, Ю.В. Пруса, А.А. Таранцева, А.Н. Членова, М.В. Климовцова, Р.Ш. Хабибулина, S. Alter, J. Rockart, R. Kimball и др.

По мнению авторов, монография может быть полезна как обучающимся, так и преподавателям, научным работникам, специалистам, занимающимся разработкой комплексных систем безопасности и оценкой пожарных рисков.

Авторы будут благодарны любым предложениям и замечаниям по теме монографии. Информацию можно направлять по электронной почте: evacsystem@gmail.com.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЛИЦАМИ, ПРОВОДЯЩИМИ ЭВАКУАЦИЮ ПРИ ПОЖАРАХ

1.1 Обоснование необходимости применения системы поддержки управления в составе системы оповещения и управления эвакуацией

Количество зданий крупных торговых центров (ТЦ) в городах непрерывно растет. Как уже говорилось, это связано с уменьшением площади, на которой возможна городская застройка, а также с концентрацией потребительских секторов в одном месте. Международный совет торговых центров определяет торговый центр как группу архитектурно объединённых розничных предприятий, управляемых единой компанией, обеспеченных парковкой и расположенных на специально спланированном участке [1].

Торговые центры, с точки зрения пожарной безопасности, характеризуются следующими основными параметрами:

- большая площадь размещения и сложность внутренней планировки (рис. 1.1 б);
- количество людей и их неравномерное распределение (рис. 1.1 а);
- большое количество различных видов пожарной нагрузки.



а) Скопление людей



б) Внутренняя планировка

Рисунок 1.1 – Торговый центр. Вид внутри

Здания ТЦ в силу своей специфики имеют большую степень потенциальной пожарной опасности в сравнении с остальными зданиями, так как на сравнительно небольшой площади аккумулируется значительное количество пожарной нагрузки [2]. В таблице 1.1 приведены некоторые из крупных пожаров в зданиях ТЦ.

Таблица 1.1

Крупные пожары в зданиях торговых центров

№ п/п	Дата	Место	Происшествие	Количество пострадавших
Российская Федерация				
1	11.07.2005 г.	г. Ухта, Россия	Пожар в торговом центре «Пассаж» (г. Ухта)	25 человек погибло, 10 получили травмы
2	28.10.2009 г.	г. Тольятти, Россия	Пожар в торговом центре «Мегастрой». Загорелась мебель в торговом зале на первом этаже. Площадь возгорания составила 300 м ²	1 человек погиб, трое были госпитализированы
3	22.01.2011 г.	г. Уфа, Россия	Взрыв в пятиэтажном торгово-развлекательном центре «Европа», после которого последовал пожар	2 человека погибло, пострадали 15 человек
Зарубежные страны				
4	22.05.1967 г.	г. Брюссель, Бельгия	Пожар в универмаге на 3 этаже	Около 400 человек погибло, несколько сот человек получили сильные ожоги
5	16.12.1994 г.	г. Алтона, штат Пенсильвания, США	Пожар в центральной части магазина «Logan Valley Mall Fire»	Нанесен ущерб в размере 50 млн долларов
6	26.12.2000 г.	г. Лоян, Китай	Пожар в торгово-развлекательном центре	Погибло 309 человек
7	13.03.2009 г.	г. Дакка, Бангладеш	Пожар на 17 этаже 21-этажного, расположенного в центре столицы. На пострадавших от огня этажах были расположены преимущественно офисы	7 человек погибло, 30 пострадали
8	28.05.2012 г.	г. Доха, Катар	Пожар в торговом центре «Villagio Mall»	19 человек погибло, в том числе 13 детей
9	30.06.2012 г.	провинция Тяньзинь, Китай	Пожар начался с воспламенения кабеля на 1 этаже. Генеральный менеджер дал указание охране заблокировать два входа на первом этаже – никому не разрешалось покидать центр, пока не будут оплачены покупки. Ни один из покупателей не знал о пожаре	378 человек погибло

Анализ таблицы 1.1 показал, что зона пожара, как правило, ограничена несколькими этажами, реже – одним зданием. Неизвестны случаи, когда пожар в торговом центре выходит из границы здания. Количество погибших зачастую зависит от количества посетителей, находящихся на объекте пожара, а также правильности первоначальных действий обслуживающего персонала и посетителей.

В таблице 1.2 приведено распределение основных показателей обстановки с пожарами в Российской Федерации за 2007–2013 годы в зданиях предприятий торговли [3].

Таблица 1.2

Распределение основных показателей обстановки с пожарами в Российской Федерации за 2009–2013 гг. в зданиях предприятий торговли

Показатель/год	2009	2010	2011	2012	2013
Количество пожаров, ед. / % от общего количества пожаров	4983 2,6	4525 2,5	4080 2,4	3831 2,35	3568 2,32
Прямой материальный ущерб, тыс. руб. / % от общего ущерба	1 162 015 10,3	1 105 351 6,8	1 312 132 7,2	1 523 165 9,71	2 206 907 14,83
Погибло, чел. / % от общего количества погибших	37 0,2	29 0,2	29 0,2	17 0,15	18 0,18

Данные таблицы 1.2 показывают стабильное ежегодное увеличение размера ущерба. Причиной тому служит стоимость реализуемых продуктов, материалов и оборудования, используемого на объектах.

Для оценки риска для человека погибнуть при пожаре из-за неправильных действий персонала и нарушений требований пожарной безопасности при организации эвакуации был вычислен риск R (жертва/количество пожаров). Определение значения риска производилось в соответствии с [4, 5]. Результаты приведены в таблице 1.3.

**Распределение пожаров и количество погибших
в Российской Федерации в 2009–2013 гг. из-за нарушений
требований безопасности при организации эвакуации**

Показатель	Год				
	2009	2010	2011	2012	2013
Количество погибших	17	13	14	4	1
Количество пожаров	85	97	84	26	11
Риск R	0,2	0,13	0,17	0,16	0,1

Таким образом, статистические данные и проведенный анализ пожаров подтверждают наличие ряда проблем, связанных с организацией эвакуации при пожаре, в частности, в действиях посетителей и обслуживающего персонала, которые, как известно [6–9], носят неоднородный характер. Так, установлено, что проявление активности и пассивности действий по обеспечению безопасности людей при пожаре во многом обусловлено наличием опыта, вытекающего из предыдущего пребывания человека в пожароопасной ситуации, его осведомленностью о пожарной безопасности зданий, а также возрастными и гендерными особенностями окружающих людей [10].

При поступлении информации о пожаре люди, как правило, приступают к эвакуации. Однако имеют место случаи, когда посетители склонны к игнорированию сигнала о пожаре, либо ожиданию подтверждающих признаков пожара (задымление, массовая эвакуация, повышение температуры и др.). Важным фактором в поведении человека при пожаре является его представление о внутренней планировке здания. В случае если внутри здания применены сложные архитектурные конструкции и план этажа здания труден для понимания, это непременно оказывает негативное влияние на эвакуируемых и повышает их уровень стресса, который уже присутствует в случае эвакуации при пожаре [11].

В работе [12] было проведено исследование с целью установления закономерностей выбора пути эвакуации при пожаре в торговом центре. Эксперимент заключался в опросе посетителей торгового центра с различным уровнем адаптации к внутренней планировке здания (хорошо знакомы с планировкой супермаркета, расположенного внутри торгового центра; плохо знакомы или незнакомы с планировкой супермаркета; посетители находятся непосредственно в торговом центре).

Результаты исследования показали, что почти 80 % пожилых и взрослых посетителей, являющихся постоянными клиентами супермаркета, во всех трех случаях не смогли вспомнить хотя бы один эвакуационный

выход или заявили, что их поведение в чрезвычайных ситуациях будет неэффективное. В случае усложнения внутренней планировки торгового центра имеет место увеличение числа людей (до 41,4 % посетителей), которые будут искать указатели направлений эвакуации. Это связано с тем, что эвакуируемые редко осведомлены о наличии указателей выходов или указателей направления движения, которые размещаются на уровне потолка, или, по меньшей мере, не основывают свой выбор на них [11]. Более того, в каждом исследовании есть порядка 10–14 % посетителей, кто будет следовать за движущимся потоком людей.

Эксперимент в розничном магазине *IKEA* [13] показал, что посетители предпочитают знакомые выходы обычным (выход, расположенный у касс), даже если расстояние до этого выхода больше, чем до ближайшего эвакуационного выхода. Однако если эвакуационный выход открыт, и посетитель может увидеть улицу, привлекательность такого выхода становится намного выше, и большинство посетителей выбирают его.

Так, установлено, что выходы, которые обычно не используются посетителями ежедневно (при каждом посещении), не будут использованы и при эвакуации [11]. Если же человек находится в здании, которое ему мало знакомо, при пожаре он выбирает путь, по которому он попал в место его расположения, либо путь, по которому эвакуируется большая часть людей. Это обуславливается перестройкой его поведения, вызванной экстремальной ситуацией. В таких ситуациях у человека происходят нарушения в работе памяти, мышлении и эмоциях, что в свою очередь характеризуется как «блокада» психических функций [14]. Этим же подтверждается склонность большей части эвакуируемых выбирать роль «ведомого» [11] и избегать принятия решений в экстренных случаях.

Анализ литературных и экспериментальных данных, проведенный в работе [10], установил, что введение специальных знаков, организующих поведение людей и направление их движения к выходам, значительно уменьшит время эвакуации и повысит эффективность организующего взаимодействия. Такими знаками, в том числе могут служить и динамические указатели путей эвакуации при пожаре [15, 16].

Принимая во внимание вышеизложенные проблемы, выявлены факторы, способствующие увеличению времени эвакуации людей (рис. 1.2).

Для человека во время эвакуации из торгового центра возникает ряд проблем, связанных с его безопасностью при пожаре. Во-первых, пожарная сигнализация или признаки пожара (появление дыма, запаха) дают недостаточно информации о местоположении источника пожара, его серьезности, безопасных маршрутах эвакуации, и количестве времени, имеющемся в распоряжении эвакуируемых. Во-вторых, ввиду ряда психологических особенностей, человек, малознакомый со зданием и не имеющий

знаний и опыта поведения при эвакуации во время пожара, будет избегать принятия решений, и станет следовать указаниям персонала здания, организовывающего процесс эвакуации.

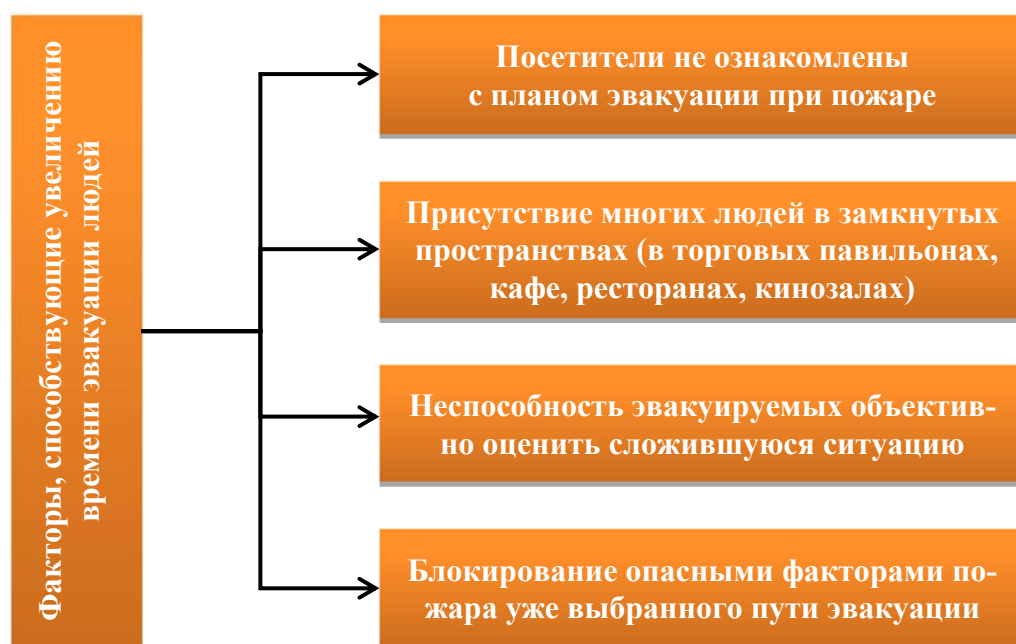


Рисунок 1.2 – Факторы, способствующие увеличению времени эвакуации людей

Так, зачастую вышеобозначенные проблемы способствуют образованию скоплений людей высокой плотности, в том числе и по причине неоптимального распределения людей к эвакуационным выходам. Результатом такого события (скопление людей высокой плотности), как правило, становится значительное увеличение времени эвакуации, а при определенных условиях и гибель части людей, находящихся длительное время в скоплении, из-за механической асфиксии (удушения) [17].

1.2 Проблемы принятия управленческих решений лицом, проводящим эвакуацию из здания при пожаре

В то время как эвакуируемые полагаются на указания персонала здания, осуществляющего эвакуацию, у обозначенного персонала не всегда имеются точные представления о доступных эвакуационных маршрутах и выходах.

В эксперименте [12] персоналу торгового центра предлагалось назвать по памяти эвакуационные выходы или места, где расположены указатели путей эвакуации, после чего полученные данные были сравнены с результатами ответа посетителей ТЦ на аналогичные вопросы. Результаты показывают, что представления об эвакуационных путях и выходах у

персонала и у посетителей разные. Персонал в основном называл выходы, с которыми посетители не знакомы. Такие выходы расположены, как правило, рядом с рабочими местами персонала (вероятнее всего, это выходы, ежедневно используемые сотрудниками для выхода из здания). Таким образом, при пожаре могут возникнуть затруднительные ситуации, когда персонал будет указывать на эвакуационные выходы, не знакомые посетителям.

В работах [18, 19] авторами проведен анализ поведения персонала торговых центров при пожаре и процесс эвакуации людей из высотных зданий, в результате чего было установлено, что поведение служащих было несхожим с поведением эвакуируемых при поступлении различных сигналов о пожаре. Действия, вызванные при обнаружении дыма и срабатывании sireны пожарной сигнализации (по сравнению с действиями, вызванными при обнаружении пламени), в большей мере направлены на исследование ситуации. Опираясь также на другие полученные данные, авторы заключили, что служащие не строго ассоциируют дым с пожаром в торговом центре.

Таким образом, с одной стороны, посетители торгового центра ожидают от персонала указаний к действиям по эвакуации из здания, а с другой – персонал не всегда может объективно оценить текущую ситуацию и указать безопасное направление движения. Поэтому зачастую персонал склонен к исследованию ситуации при поступлении сигнала «пожар», что в свою очередь отражает факт дефицита информации.

Устранение факта дефицита информации в большой степени возлагается на систему оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), которая предназначена для своевременного информирования людей о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации.

Первое упоминание об оповещении и управлении эвакуацией датировано концом 1980-х годов. В период с конца 80-х годов по настоящее время менялись требования, нормы, документы, регламентирующие построение СОУЭ, разрабатывались и вводились рекомендации [20], руководства [21], пособия [22], нормы пожарной безопасности [23, 24], закон [25] и свод правил [26]. В настоящее время документом, который определяет требования в области построения СОУЭ, является свод правил СП 3.13130.2009 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре».

Таким образом, к СОУЭ как к одному из функциональных элементов системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) объекта защиты распространяются требования действующего законодательства Российской Федерации [25–27].

В статьях 3, 5 нормативного акта [25] дано определение СОПБ, представлены ее элементы и функции, а также указано на необходимость ее наличия на каждом объекте защиты. Целями создания такой системы является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре. СОПБ включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В статьях 51, 52, 81, 82 [25] обозначены цели, задачи системы противопожарной защиты и ее основные функции, общие требования, предъявляемые к СОУЭ, требования, предъявляемые к функциональным характеристикам систем противопожарной защиты, общие требования пожарной безопасности к СОУЭ. Определены способы, с помощью которых должно осуществляться оповещение и управление эвакуацией людей. В частности, для управления эвакуацией предусмотрен пункт 2, который предполагает управление с помощью трансляции специально разработанных текстов о необходимости эвакуации, путях эвакуации, направлении движения и других действиях, обеспечивающих безопасность людей и предотвращение паники при пожаре. Однако данное мероприятие будет неэффективно, если фактическое местоположение очага пожара не совпадает с очагом пожара, принятым в качестве расчетного для разработки текстов [28, 29].

В нормативном документе по пожарной безопасности [26] определены требования пожарной безопасности к СОУЭ, к способам светового, звукового и речевого оповещения. Представлена классификация СОУЭ, а также требования по оснащению зданий и сооружений различными ее типами.

В перечисленной нормативной литературе в большей части установлены требования к оповещению людей о пожаре, а не к управлению их эвакуацией. Из всех перечисленных требований к управлению можно отнести: п. 2, ст. 82 [25], п. 5.4, 5.5 [26]. Однако в этих данных не отражается сущность управления эвакуацией, *т.е. нет принципов, алгоритмов, по которым должно производиться управление, не приводятся данные, которые являются приоритетными при определении направления эвакуации, не определены ни степень участия персонала, ни задачи лица, принимающего решения в процессе эвакуации.* По большому счету управление, обозначенное в термине «система оповещения и управления эвакуацией», относится к управлению оповещением, а не процессом эвакуации.

Тем не менее, самые функциональные типы СОУЭ (4–5) предусматривают наличие оператора, т.к. предписывают необходимость устройства зон обратной связи с помещением пожарного поста-диспетчерской, а также координированное управление из одного пожарного поста-

диспетчерской всеми системами здания, связанными с обеспечением безопасности людей.

Следовательно, необходимо сделать вывод о том, что в общем смысле оповещение и управление эвакуацией необходимо осуществлять в автоматизированном режиме (система «человек – машина»), где окончательное решение принимает человек.

Для полноценного управления эвакуацией ЛПР должен решить следующие задачи:

1. Постоянное контролирование эвакуации людей при пожаре, как с помощью расчетов, производимых электронно-вычислительными машинами (ЭВМ), так и с помощью средств видеонаблюдения, а также мониторинг показателей, изменение которых может привести к изменениям обстановки на путях эвакуации.

2. Принятие решений в случае необходимости перераспределения эвакуационных потоков к вновь выявленным путям эвакуации.

3. Координирование действий персонала, задействованного в организации процесса эвакуации.

Сложность решения поставленных выше задач заключается в необходимости их параллельной реализации, то есть эти задачи должны выполняться одновременно. Также немаловажное влияние на процесс принятия решения во время эвакуации оказывают следующие факторы:

- дефицит информации, получаемой с путей эвакуации;
- постоянно меняющаяся обстановка на путях эвакуации;
- отсутствие необходимого времени для качественного анализа сложившейся обстановки на каждом пути эвакуации;
- высокая психологическая нагрузка и ответственность при принятии управленческого решения.

Зачастую обоснованное применение информационных технологий и систем позволяет существенно снизить информационную нагрузку на ЛПР.

1.3 Существующие системы управления эвакуацией при пожаре

Одной из информационных технологий, внедрение которой эффективно влияет на снижение нагрузки ЛПР, является система поддержки принятия решений (СППР).

Система поддержки принятия решений – это человеко-машинная система, которая позволяет ЛПР использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктурированных проблем [30–32].

Актуальность внедрения СППР для решения задач МЧС России, а также их прикладное применение отражены в работах Топольского Н.Г., Таранцева А.А., Мешалкина Е.А., Крылова А.Г., Косорукова О.А., Пруса Ю.В., Сатина А.П., Хайрулина Р.С., Климовцова В.М., Тараканова Д.В., Хабибулина Р.Ш. и др. [33–41].

В большей своей части разработанные СППР предназначены для решения оперативно-тактических задач в ходе локализации и ликвидации ЧС. Тем не менее, ряд публикаций свидетельствует об исследованиях в области управления процессом эвакуацией при пожаре [2, 42–46].

Перед рассмотрением обозначенных публикаций следует конкретизировать исследуемую область. Так, управление эвакуацией людей, в широком смысле, происходит на различных этапах жизненного цикла здания (рис. 1.3), начиная с проектирования эвакуационных путей и выходов на первоначальном этапе, и заканчивая управлением эвакуацией во время пожара.



Рисунок 1.3 – Различные этапы управления эвакуацией людей

В настоящей работе рассматривается СОУЭ на III этапе управления эвакуацией, а именно вопросы информационно-аналитической поддержки управления эвакуацией в составе СОУЭ. Вернемся к рассмотрению обозначенных публикаций. В работе [43] ставится задача эффективного управления эвакуацией людей из здания, решение которой предполагается на этапе проектирования и реконструкции здания при помощи расчетных методов с учетом СОУЭ. Анализируя СОУЭ, автор указывает на отсутствие в правилах проектирования каких-либо рекомендаций по управлению эвакуацией. Предлагается использование СОУЭ усиленного типа, как организационной системы обеспечения безопасности людей в высотном здании. В такую систему должны быть включены видеокамеры на путях эвакуации и в помещениях, а также устройства для связи между эвакуируемыми и персоналом объекта. Это позволит операторам в дежурном помещении (пункте) иметь необходимую информацию о развитии пожара в высотном здании и движении людских потоков, благодаря чему можно эффективно управлять процессом эвакуации.

Алгоритм работы, который использует автор, сводится к поэтапной эвакуации, предложенной в работе [18], а также имеет ограничения и предположения, а именно: эвакуация людей будет происходить поэтапно в соответствии с очередностью оповещения. Однако неоднозначность поведения людей при пожаре не позволяет утверждать тот факт, что они будут дожидаться своей очереди эвакуации.

Исследование [44] останавливает внимание на образовательных учреждениях, полагая, что в соответствии с учебным расписанием локальная концентрация людей внутри здания изменяется несколько раз в сутки. Данное обстоятельство приводит к необходимости учета зависимости планов эвакуации от времени суток, а также требует оценки учебного расписания с точки зрения организации беспрепятственного движения людей при эвакуации. В одном из разделов исследования указано, что с точки зрения повышения оперативности эвакуации людей из помещений одним из основных блоков системы обеспечения пожарной безопасности является модуль поддержки принятия решений. В свою очередь действующее законодательство Российской Федерации [25], определяющее состав системы обеспечения пожарной безопасности, расставляет иной приоритет в структуре системы обеспечения пожарной безопасности. Более того, автор утверждает, что основным назначением модуля поддержки принятия решений является формирование плана эвакуации с целью повышения качества управленческих решений по эвакуации. Однако авторы [36] утверждают, что основной задачей модуля поддержки принятия решений является оказание помощи ЛПР при принятии решений. Сформированный план эвакуации является лишь результатом компиляции имеющейся информации и результатов расчета. Какого-то конкретного подготовленного решения, на которое будет опираться ЛПР в рамках плана, не предусматривается.

Результатом разработанного алгоритма работы СППР является план эвакуации людей из аудиторий образовательного учреждения в сложившейся обстановке, разработанный на основе сформированного сценария управления. Следовательно, предложенный алгоритм работы носит вероятностный характер и не отражает действительной ситуации, так как формирование сценария управления подразумевает, что эвакуируемые будут двигаться в строгом соответствии с ним. Однако из-за нестандартности и иррациональности поведения людей при пожаре ставится под сомнение возможность строгого следования планам эвакуации людей. Автор в своей работе заострил внимание лишь на лекционных аудиториях, апеллируя тем, что в них скапливается большое количество людей, однако если учитывать суммарное количество людей, размещенных не только в лекционных аудиториях, но и других помещениях, их количество будет непременно больше. Таким образом, СППР, обеспечивая ЛПР планами эвакуации для лекционных аудиторий, не обеспечивает контроль и управление эвакуацией из других помещений. Также следует учитывать факт, что ЛПР ограничен своими физиологическими возможностями и в определенный момент времени способен объективно работать (управлять процессом эвакуации) лишь с одним (реже двумя) планами эвакуации.

В работе [47] автор, также как и в предыдущем исследовании, заострил свое внимание на разработке оптимальных планов эвакуации в учебных заведениях. В ходе диссертационного исследования был выработан подход к моделированию процесса эвакуации с применением сетей Петри. Для поиска оптимальных планов эвакуации предложено применение генетического алгоритма, а в качестве оптимизационного критерия – минимальное время эвакуации. Результатом разработки оптимального плана эвакуации является схема эвакуации, при которой достигается минимальное время эвакуации. Для каждой комнаты определяется оптимальный маршрут эвакуации. Однако стоит отметить, что он справедлив лишь в момент проведения расчетов. Таким образом, предложенный подход к поиску оптимальных маршрутов движения актуален лишь для момента начала эвакуации, ввиду стохастичности дальнейшего процесса эвакуации [48], когда могут возникать всевозможные ситуации [2], неблагоприятно влияющие на общее время эвакуации. Таким образом, данный подход носит прогностический характер и не позволяет определять оптимальные пути движения людей в процессе эвакуации. Результаты применения данного подхода при моделировании процесса эвакуации из здания пятиэтажного учебного заведения (два эвакуационных выхода с каждого этажа равномерно рассредоточены между собой) показывают сокращение общего времени эвакуации на 4 %, на основании чего автор делает выводы, что простое перераспределение не позволяет существенно сократить время эвакуации. Однако такое утверждение может быть несправедливо для объектов, где присутствует большее количество эвакуи-

ационных выходов с этажа, нежели в здании учебного заведения (торговые центры и т.д.).

В работе [45] управление процессом эвакуации в здании предлагается с помощью смартфонов. Автор концептуально изложил основной замысел системы, и предположил, что каждый человек, имеющий в наличии смартфон, сможет при пожаре правильно воспользоваться этим устройством. Таким образом, функция управления эвакуацией сводится к самоэвакуации человека, обременяя человека мыслительной задачей ориентирования в пространстве и сопоставления данных, полученных с устройства, с реально «видимой» картиной. В свою очередь, авторы работы [10] доказывают, что человек не способен объективно мыслить и не стремится к принятию индивидуальных решений при экстренной ситуации.

Исследование [46] посвящено построению иерархической системы поддержки принятия решений (ИСППР) при эвакуации людей из здания в критических ситуациях. Предлагаемая ИСППР состоит из трех уровней, взаимодействие которых обеспечивает, по мнению авторов, выбор оптимального пути эвакуации и оказание необходимой поддержки ЛПП во время эвакуации.

Рассматриваемая ИСППР, также, как и подходы [44, 47], предполагает проведение моделирования, в частности, распространения опасных факторов пожара (ОФП) внутри здания. Однако какой бы точной ни была модель, невозможно с ее помощью заменить физический процесс горения и распространения ОФП, который протекает во время эвакуации при пожаре. Применение моделей развития пожара и моделей движения людей оправданно на стадии планирования. Во время эвакуации при пожаре необходимо иметь дело с реальными данными, отражающими динамику распространения ОФП и ход процесса эвакуации. Оценка эффективности предлагаемой ИСППР выполнена на примере здания аэропорта, в штатной (отсутствие пожара) и критической (в условиях пожара) ситуациях. В качестве критерия оценки выбран риск неэффективной эвакуации. Результаты оценки показали, что риск был в пределах 0,06. Полученные результаты трудно воспроизводимы, так как не производилось сравнение времени эвакуации для случаев, когда ИСППР не применялась.

Были рассмотрены зарубежные работы, в которых представлено описание систем управления эвакуацией [49–63]. По результатам проведенного анализа систем была разработана сравнительная таблица (таблица 1.4), в которой представлены функциональные возможности систем управления.

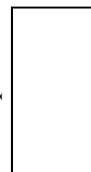
Если рассмотреть системы, представленные в таблице 1.4, по процентному распределению реализуемых функций (рис. 1.4), то становится очевидным, что такие важные функции как наличие предварительно заготовленных алгоритмов управления (47 %), применение динамических указателей (40 %) и математическое моделирование процесса эвакуации (33 %) используются менее чем в половине рассмотренных систем.

Таблица 1.4

Функциональные возможности систем управления эвакуацией

№ п/п	Функции Наименование	Использование лифтов	Динамические указатели	Математическое моделирование	Предварительно заготовленные алгоритмы	Использование лазерных указателей	Информационное обеспечение ЛПР*	Базы данных	Использование датчиков (контроля ОФП)	Определение количества людей
1	Laser Guidance Emergency navigation method and system									
2	Method and system for emergency evacuation of building occupants									
3	Evakuierungssystem									
4	Leitsystem									
5	A DDS System for Building Evacuation									
6	D.E.R.-system									
7	Leitsystem für Flucht- und Rettungswege									
8	Fire escape system									
9	Verfahren zur Personenstromlenkung durch ein Fluchtwegleitsystem									
10	Notfallinformationssystem									
11	Monitoring the evacuation of people									
12	Evakuierungsvorrichtung und Fluchtweganzeige hierfür									
13	On the quantitative response rank									
14	Towards Adaptive Sensor Data Management for Distributed Fire Evacuation Infrastructure									
15	Premise evacuation system									

* - Лицо, принимающее решение во время эвакуации людей (оператор).



- отсутствие функции;



- наличие функции.

Определение количества людей на путях эвакуации и применение датчиков контроля ОФП реализовано менее чем в 14 % систем. Таким образом, функциональность рассмотренных систем сравнительно низка. В большинстве систем реализовано не более 4 функций (как правило, две-три). Наличие ограниченного набора функций вызвано относительно небольшим количеством исследований и апробированных инженерных решений в области управления эвакуацией в целом.

Рассмотрев распределение количества функций в различных системах управления (рис. 1.5), выполним их группировку по странам-разработчикам. Из гистограммы становится очевидным, что лидером в разработке систем управления эвакуацией является Германия, затем США и Великобритания. Помимо того, что в Германии разработано больше систем, они также являются и более функциональными.

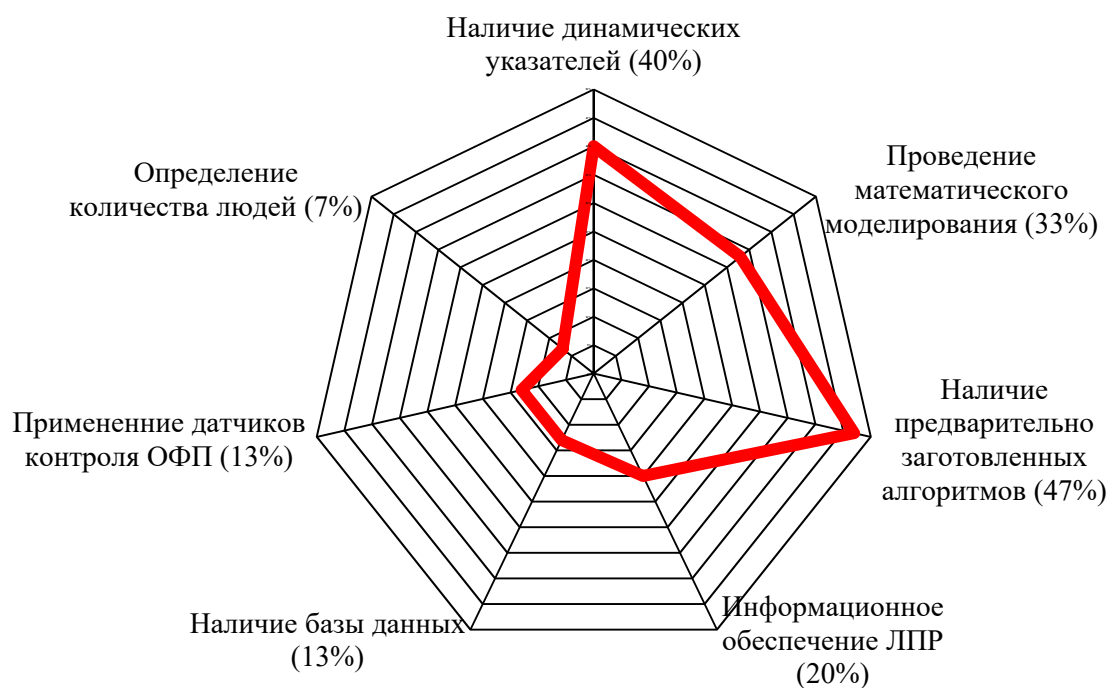


Рисунок 1.4 – Процентное распределение реализуемых функций в системах управления эвакуацией

В Российской Федерации система управления эвакуацией в составе автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности объектов защиты была предложена еще в середине 90-х годов [64–65], однако до сих пор полноценного развития не получила.



* Номер соответствует положению в таблице 1.4

Рисунок 1.5 – Распределение функций в рассматриваемых системах управления эвакуацией в зависимости от страны-разработчика

Рассмотрим более подробно работы, в которых были представлены системы управления эвакуаций. Актуальность проблемы управления эвакуацией при пожаре показана в публикациях [50, 55, 56, 58, 62], где определен ряд ситуаций, с которыми может столкнуться человек во время эвакуации.

В работах [50, 51, 55–58, 61, 62] находит свое подтверждение необходимость создания системы управления эвакуацией для зданий со сложной архитектурой и большим количеством людей. Там же указывается на статичность некоторых систем управления эвакуацией: независимо от местоположения очага пожара либо иной угрозы указатели системы управления эвакуацией всегда показывают в одном направлении, и не изменяют свое положение в зависимости от опасности на путях эвакуации.

В системе управления [51] предлагается использовать лифт как средство надежного выхода при эвакуации из многоэтажного здания. Принцип систем заключается в управлении лифтами и направлении к ним людей во время эвакуации.

В работах [50, 57–59] определяется необходимость использования динамических указателей для управления людскими потоками. Данное решение позволит более наглядно представить эвакуируемым направления безопасной эвакуации, а также окажет определенную поддержку персоналу при организации эвакуации при пожаре.

В исследованиях [49, 52, 54, 57, 58] применен математический аппарат для определения безопасного пути эвакуации. Так, в зависимости от той или иной системы, применяются методы теории клеточных автоматов,

а также теории графов, в частности, алгоритм Дэйкстры для нахождения кратчайшего пути эвакуации при пожаре.

Одним из важных преимуществ системы [57] является определение количества людей в здании. Эта функция реализована с применением эффекта Доплера. Однако следует отметить, что автор предлагает использовать электромагнитное излучение, что может негативно сказаться на здоровье человека. Более безопасный способ определения количества людей на путях эвакуации предложен в работе [66] с помощью системы подсчета количества людей *Vitracom*.

В основе систем [51, 53, 56–59, 62] используются предварительно подготовленные алгоритмы, которые определяют очередность движения по путям эвакуации. Данные алгоритмы могут оказаться неэффективными ввиду того, что управления как такового не производится, и работа данных алгоритмов сводится к указанию мест расположения выходов.

В системах [57, 61] используются различные датчики (пожарной сигнализации, газовые, скорости и направления ветра, подсчета людей) для определения опасности и принятия объективного управленческого решения. Существующие системы управления эвакуацией используются не только для проведения эвакуации при пожаре. Так, в системе [54] используется локальная метеостанция, которая определяет температуру воздуха, направление и скорость ветра. Эти данные используются в расчетах при определении безопасного местоположения в здании при химической угрозе. Также приводится возможность использования такой системы при эвакуации во время террористического акта.

Для более глубокого анализа систем управления эвакуацией отображены пять наиболее функциональных систем, рассмотрение которых позволит объективно оценить существующую ситуацию в области управления эвакуацией, а также выявить проблемные области данных систем.

Работа [58] представляет динамическую систему управления эвакуацией, предназначенную для размещения в зданиях, в том числе подземных туннелях и производственных зданиях. В работе указывается на необходимость решения задачи статических указателей. Использование таких устройств в составе систем управления эвакуацией может привести к негативным последствиям: они всегда указывают в одном направлении и при пожаре могут привести к замешательству и задержкам при эвакуации.

Важной функцией, реализованной в предложенной системе, является ее применение не только для организации эвакуации посетителей, но и для успешных действий подразделений пожарной охраны. Однако в процессе передвижения к очагу пожара или ЧС между пожарными и эвакуируемыми могут возникнуть замешательства при использовании одного и того же

маршрута движения, и как следствие задержка движения в обоих направлениях.

Для определения оптимального пути эвакуации используется экспертная система и показания с различных датчиков (информация о положении клапанов вентиляции, положении лифтов, эскалаторов и т. п.). В экспертной системе важным фактором является кривая распределения количества людей от времени суток. Авторы указывают на преимущество использования аналитического метода при построении экспертной системы. Таким образом, для определения безопасного пути эвакуации при пожаре используется заранее подготовленная база знаний и кривая распределения, что позволяет нам утверждать о вероятностном характере системы.

В системе предусмотрено деление зданий на зоны управления. Таким образом, нагрузка на систему распределяется, сводя задачу управления эвакуацией с объема всего здания на локальные участки. Однако принципы взаимодействия этих локальных участков между собой, процесс передачи информации и учет выбранных путей эвакуации не приводится.

В работе [52] авторы предлагают адаптивную систему поддержки принятия решений для эвакуации из здания. Предложенная система состоит из ряда узлов решений (УР), расположенных внутри здания, задача которых заключается в определении безопасного пути эвакуации. В состав систем включены узлы, которые собирают информацию о наличии дыма либо открытого горения на путях эвакуации и передают ее в УР. Результаты моделирования процесса эвакуации с учетом применения предлагаемой системы показали, что общий результат эвакуации повышается (уменьшение времени эвакуации) за счет применения СППР.

В работе [57] предлагается система управления эвакуацией при пожаре в зданиях торговых центров, высотных зданиях, промышленных объектах и объектах подземного строительства. В составе системы используются вычислительные устройства и контролирующие датчики. Предполагается разбиение здания на определенные зоны. Каждая зона содержит вычислительное устройство. Для определения оптимального выхода при пожаре используется алгоритм Дейкстры, где вершины привязываются к выходам из здания, выходам из зоны, устройствам указания направления движения, а ребрам соответствует путь между двумя вершинами. Также к ребрам может присоединяться контролирующий сенсор. Если сработал контролирующий сенсор на ребре, то считается, что такой путь использовать нельзя. Для выбора между двумя ребрами может производиться их «взвешивание». Параметром оценки может быть максимальная пропускная способность людей по пути. Таким образом, наибольший вес соответствует широкому выходу. Определение веса может производиться как динамично (при наличии сенсора контроля количества людей), так и статично.

В качестве контролирующих датчиков могут выступать как датчики пожарной сигнализации, так и видеокамеры. Управление процессом эвакуации предлагается с использованием мигающих указателей, которые необходимо устанавливать у уровня пола. Авторы предлагают использовать в составе системы и подсистему для направления пожарных подразделений к очагу пожара с использованием вэб-экранов. Взаимодействие между элементами предполагается как с помощью проводных линий связи, так и беспроводных. Оптимальным вариантом является сочетание беспроводной и проводной линий связи.

В работе [49] предлагают использовать систему с использованием беспроводных датчиков при эвакуации из здания. Каждый датчик включен в состав системной модели поддержки принятия решения при эвакуации. Согласно этой модели, пространство эвакуации разбито на квадратные клетки равного размера. Это пространство заполнено людьми, и есть, по крайней мере, один источник огня и, по крайней мере, один выход. Каждая клетка S содержит беспроводной датчик, который контролирует условия и управляет эвакуацией из этой клетки. Каждый датчик поддерживает информацию, запрошенную для принятия решения при эвакуации. Часть этой информации формируется через сообщения других датчиков. Таким образом, управление в такой системе полностью отдается техническим устройствам и исключается возможность ЛПР предпринимать какие-либо действия по управлению эвакуацией.

В работе [54] представлена система эвакуации, в состав которой входят элементы: стационарная метеостанция, компьютерная система, к которой подключены датчики и другие элементы, позволяющие определить безопасное направление эвакуации из различных помещений.

При получении сигнала о пожаре система с помощью программного обеспечения производит расчет безопасных путей эвакуации и одновременно передает информацию о ЧС в оперативные силы города (пожарная охрана, полиция, скорая помощь и др.). Однако в работе не указано, какой тип программного обеспечения, какие методы и алгоритмы применяются для определения безопасного пути при эвакуации. После определения безопасного пути активизируются визуальные и звуковые индикаторы, которые передают информацию эвакуируемым. В объеме здания предусмотрено размещение управляющих, визуальных и звуковых устройств. В зависимости от безопасного маршрута направления эвакуации могут быть на Север, Запад, Восток, Юг. И в зависимости от направления эвакуации авторы предлагают присвоить каждой стороне свой звуковой сигнал: выход на Север – один

звуковой сигнал, выход на Восток – два звуковых сигнала, выход на Юг – три звуковых сигнала, выход на Запад – четыре звуковых сигнала. Такая система может оказаться неэффективна ввиду того, что человек, который находится впервые в здании, не знает соответствия направления эвакуации звуковым сигналам. Допуская, что человек знает такое соответствие, в экстренной ситуации, достаточно трудно производить мыслительные процессы из-за психологической блокады, речь о которой шла в начале главы.

Обобщая результаты проведенного анализа систем управления эвакуацией, рассмотрев их функциональные возможности, преимущества и недостатки, можно сделать вывод о том, что в существующих системах достаточно широко представлены всевозможные способы управления процессом эвакуации, однако тот маршрут эвакуации, которые они определяют, не всегда является безопасным. Так, в большинстве систем в качестве оптимизационного показателя выбрано общее время эвакуации, тем самым упускается из внимания безопасность людей во время эвакуации. Такие маршруты являются оптимальными с точки зрения времени эвакуации, но не с точки зрения безопасности людей, которая должна рассматриваться комплексно. Это связано с тем, что в процессе эвакуации не производится оценка безопасности путей движения людей. Также большинство систем носят прогностический характер.



Рисунок 1.6 – Концептуальная структура системы управления

Таким образом, наличие преимуществ системы в одном компоненте исключается недостатком в другом и, как следствие, отсутствует полноценная система управления эвакуацией, т.е. система, в которой, с точки зрения теории управления, имеют место три основных компонента: управление, контроль и обработка данных. Поэтому, с учетом ранее предложенной схемы (рис. 1.3), целесообразно представить полноценную систему управления эвакуацией следующей концептуальной схемой (рис. 1.6).

На основе анализа рассмотренных систем управления эвакуацией разработана классификация таких систем (рис. 1.7).

Системы управления эвакуацией можно классифицировать по следующим признакам: по степени участия человека, принципу действия, достоверности расчета, информативности системы, принципам определения безопасного пути эвакуации. Исходя из представленной классификации, следует предположить, что систему управления эвакуацией при пожаре можно считать таковой, если удастся распределить ее функции по каждому из блоков классификации.

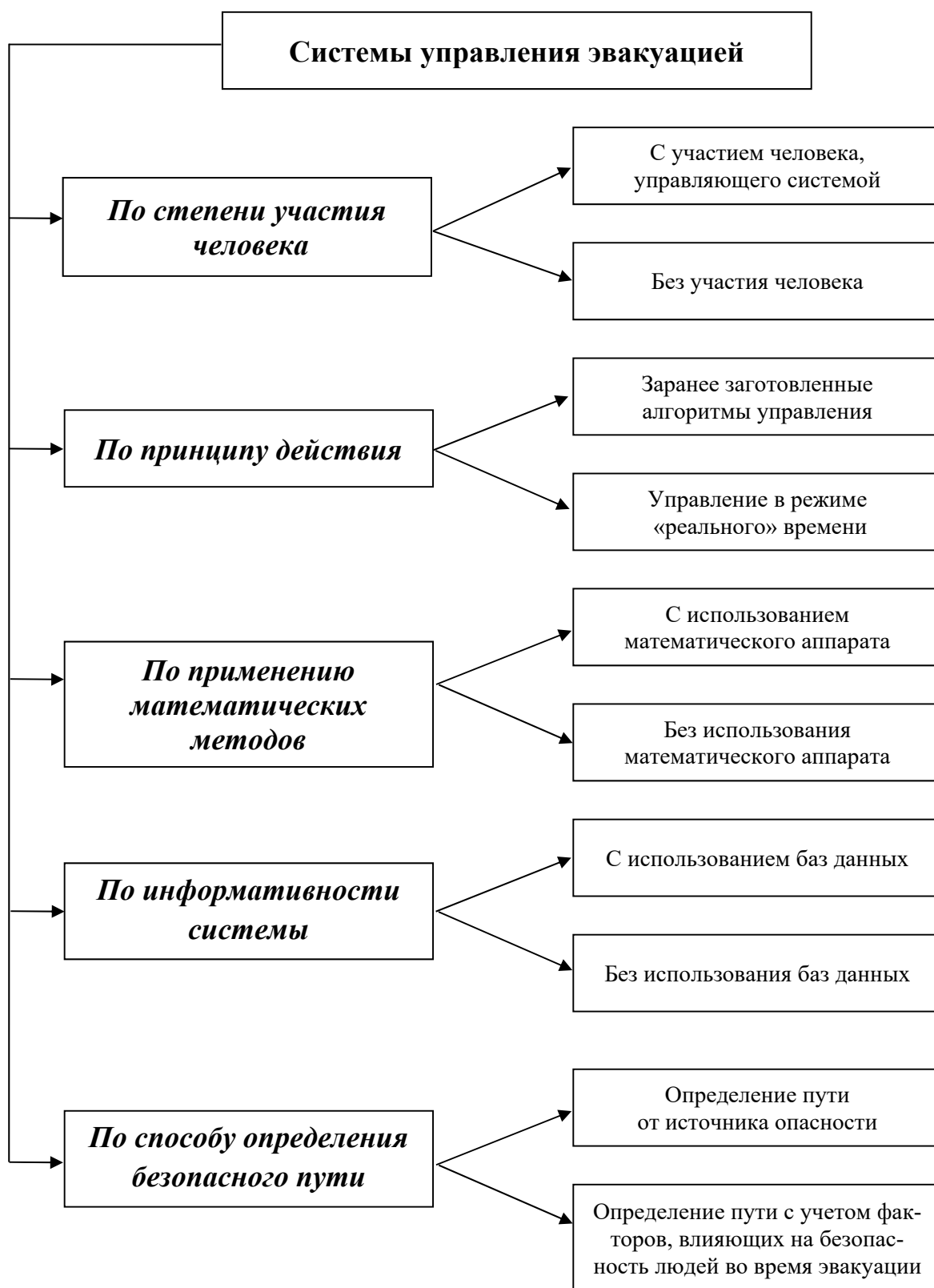


Рисунок 1.7 – Классификация систем управления эвакуацией

1.4 Выводы по первой главе

На основании проведенного анализа статистических данных, информации о пожарах в зданиях торговых центров, существующей СОУЭ в России и систем управления эвакуацией за рубежом, сделаны следующие выводы:

1. Статистические данные и анализ информации о крупных пожарах в зданиях торговых центров показали, что количество пожаров на объектах и гибель людей при пожарах имеет стабильно установившиеся значения. Причиной гибели людей при таких экстренных ситуациях служит, в том числе, отсутствие как у эвакуируемых, так и у персонала объекта представлений о направлениях безопасной эвакуации и очередности движения по таким путям.

2. Существующая в Российской Федерации СОУЭ производит в большей степени управление оповещением, а не эвакуацией. Не определено место и роль в составе СОУЭ, отводимые человеку как лицу, принимающему решение. Как следствие, ЛПП во время эвакуации не может объективно оценить весь спектр опасностей, *в том числе из-за отсутствия информационно-аналитического обеспечения процесса эвакуации людей.*

3. Существующие системы управления эвакуацией имеют недостатки, которые могут повлиять на безопасность эвакуируемых. Так, ни в одной из рассмотренных систем не производится оценка безопасности путей эвакуации при эвакуации. Расчет оптимального пути эвакуации сводится к минимизации времени эвакуации людей. В частности, в существующей СОУЭ управление эвакуируемыми по большей части сведено к управлению звуковым оповещением.

Принимая во внимание проблемы, с которыми могут столкнуться эвакуируемые во время пожара, учитывая опыт создания существующих систем управления эвакуацией, их функциональность и выявленные недостатки, определен ряд задач, которые должна решать система управления эвакуацией, а также требования, которыми она должна обладать:

– получать необходимую информацию от всех систем обеспечения безопасности здания об угрозах для эвакуируемых при движении по путям эвакуации;

– включать в себя подготовленную базу данных обо всех возможных путях эвакуации и их особенностях;

– на основании полученных данных производить оценку безопасности путей эвакуации людей, и с учетом этой оценки выбирать наиболее безопасный маршрут движения эвакуируемых;

- информировать персонал здания и эвакуируемых о направлениях безопасной эвакуации из мест, в которых они находятся, с помощью динамических указателей;
- использовать специальное оборудование (датчики, видеодетекторы и т.д.), с помощью которого определяется место возникновения опасности, ее характеристики, а также контролируется сам процесс эвакуации;
- быть автоматизированной, где окончательное решение по управлению процессом эвакуации принимает человек.