

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГПС МЧС РОССИИ

На правах рукописи

Литовченко Ирина Олеговна

**МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ**

05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (транспорт)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Моторыгин Юрий Дмитриевич

Санкт-Петербург – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ.....	11
1.1. Анализ особенностей возникновения и развития пожаров на открытых автостоянках	11
1.2. Обзор крупных пожаров на открытых местах хранения автотранспорта...	15
1.3. Анализ постояннодействующих факторов, влияющих на пожарную опасность открытых автостоянок.....	19
1.4. Анализ источников зажигания.....	36
1.5. Классификация факторов, влияющих на возникновение и развитие пожара на автостоянках	38
Выводы по главе 1	41
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ.....	42
2.1. Математический подход для оценки обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках	42
2.2. Особенности использования детерминированных методов развития пожаров на открытых автостоянках.....	45
2.3. Математическое моделирование источников зажигания автомобиле	54
2.4. Моделирование чрезвычайных ситуации на открытых автостоянках стохастическими методами.....	63
2.5. Использование теории перколяции для исследования развития чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках.....	77
2.6. Классификация математических методов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках	92
Выводы по 2 главе.....	95

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ	97
3.1. Определение пожарной опасности открытых автостоянок.....	97
3.2. Методика оценки пожарной опасности открытых автостоянок при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций.....	103
3.3. Обоснование принципов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках	107
Выводы по 3 главе.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
Список литературы	113
Приложение А	130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Развитие автомобильного транспорта занимает важную роль в экономике любой страны. В развитых странах на автомобилях перевозится около 80 % общего количества грузов. Так, например, удельный вес грузооборота автомобильным транспортом в России составляет около 48 % от общего грузооборота страны и то благодаря традиционно хорошо развитым железнодорожным, морским и авиаперевозкам.

Производственно-техническая база любого автопредприятия состоит из ряда объектов, предназначенных для обслуживания, ремонта и хранения автомобилей. Для хранения автомобилей обычно используются открытые и закрытые автостоянки. Автостоянки представляют собой сосредоточение автомобилей, часто располагающихся случайным образом. Статистическое распределение пожаров в России показывает, что пожары транспортных средств стоят на втором месте после пожаров в жилом секторе.

При возникновении пожара на автостоянке практически невозможно определить направление и скорость его развития. На открытых автостоянках процесс горения автомобилей усложняется зависимостью пожара от случайных факторов, связанных с погодными условиями, силой и направлением ветра, сосредоточением пожарной нагрузки (автомобилей), конструктивными особенностями и конфигурацией площади хранения автотранспорта. Поэтому вероятностные модели становятся все более популярными для исследования связей между возникновением и развитием пожаров и физическими особенностями окружающей. Так, для исследования процессов распространения опасных факторов пожара в структурированных средах, к которым относятся открытые автомобильные стоянки, можно рассматривать физические закономерности развития чрезвычайных ситуаций с использованием конечных цепей Маркова или математический аппарат перколяционных процессов. Однако в настоящее время методика, основанная

на стохастических моделях, для анализа пожароопасной ситуации на открытых автостоянках, не разработана. Существующему положению вещей по анализу и предотвращению пожара на открытых автостоянках не соответствует имеющаяся теоретическая база.

В настоящее время отсутствует единая теория и модели, описывающие распространение пожара на открытых территориях с распределенной пожарной нагрузкой. Существующие нормативные документы по пожаробезопасным расстояниям не распространяются на открытые автостоянки. Широко распространённые детерминированные модели развития пожара используют огромное число приближений, усреднений и допущений, а в итоге с помощью систем дифференциальных уравнений позволяют лишь приближённо рассчитать процесс распространения опасных производственных факторов. Поэтому весьма актуальной является **научная задача**, поставленная в настоящем исследовании - математическое обоснование способов обеспечения пожарной безопасности и разработка методики, обеспечивающей снижение пожарной опасности при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках с использованием стохастических моделей.

Степень разработанности темы исследования. Основы экспериментально-расчетного инструментария для контроля и прогнозирования возникновения и развития пожаров на открытых местах хранения автотранспорта были заложены в трудах многих отечественных и зарубежных ученых. Особенностью развития методологических подходов в данной области является изначальная декомпозиция общего процесса: каждый уровень детализации развивался самостоятельно и обеспечивался своим комплексом методов, методик и моделей. Проблемами обеспечения транспортной безопасности городов и разработкой методов мониторинга и прогнозирования возникновения и развития пожаров на открытых автостоянках в нашей стране занимались М.В. Волкодаева, Е.Л. Генихович, В.Н.

Добромиров, С.А. Евтюков, А.А. Иванченко, Д.А. Корольченко, В.Н. Ложкин, А.А. Макоско, И.Г. Малыгин, Р.И. Оникул, С.В. Пузач, В.В. Зайцев, Д.А. Тархов, Д.А. Холщевников, Е.Г. Цыплакова, В.С. Шкрабак, за рубежом - R.M. Harrison, M. Ketzel, J. Kukkanen.

Актуальность решения данной проблемы определила выбор объекта и предмета исследования, а также обоснование цели и задач.

Целью диссертационной работы является обоснование способов обеспечения пожарной безопасности в местах хранения автотранспорта.

Объект исследования. Закономерности процессов возникновения и развития пожаров на открытых а автостоянках.

Предмет исследования. Математические модели описания развития пожаров для оценки потенциальной опасности открытых объектов хранения автотранспорта.

Задачи исследования.

3. Провести декомпозицию факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров на объектах хранения автотранспорта.

4. Провести классификацию математических моделей для оценки пожарной безопасности в местах хранения автотранспорта на открытых территориях.

5. Разработать методику, обеспечивающую снижение пожарной опасности при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках, с использованием стохастических моделей.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе использовались следующие методы: стохастический анализ, математическое моделирование, теория перколяции, логико-вероятностный метод.

Научная новизна.

1. Впервые проведён анализ основных факторов, влияющих на возникновение и распространение горения на открытых объектах хранения

автотранспорта, позволяющий провести декомпозицию ситуаций, влияющих на возникновение и развитие пожаров на автостоянках.

2. Проведена классификация математических моделей для оценки пожарной безопасности в местах хранения автотранспорта на открытых территориях.

3. Разработана методика, обеспечивающая снижение пожарной опасности в местах хранения автотранспорта с использованием стохастических моделей.

Практическая значимость.

Проведённый выбор основных факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров на открытых автостоянках, позволяет повысить качество технических решений при обеспечении пожарной безопасности создаваемых новых и модернизации существующих объектов рассматриваемого типа.

Обоснование математических подходов и проведённая классификация для оценки пожарной безопасности на объектах хранения автотранспорта даёт возможность повысить качество технических решений при их строительстве и обслуживании.

Применение предложенной методики, для оценки пожарной опасности возникновения и развития чрезвычайных ситуаций в местах хранения автотранспорта с использованием стохастических моделей способствует принятию эффективных решений при обеспечении пожарной безопасности и тушению пожаров.

Полученные результаты исследований применяются в практической деятельности экспертных учреждений МЧС России и в экологической лаборатории (Приложение А).

Достоверность и обоснованность основных положений диссертационного исследования подтверждается корректным использованием апробированного математического аппарата системного анализа, математического моделирования, математической статистики и современного

пакета прикладных программ, соответствием результатов теоретических исследований результатам компьютерного моделирования.

На защиту выносятся основные научные результаты:

1. Декомпозиция факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров на объектах хранения автотранспорта.
2. Классификация математических моделей для оценки пожарной безопасности в местах хранения автотранспорта на открытых территориях.
3. Методика, обеспечивающая снижение пожарной опасности в местах хранения автотранспорта.

Апробация исследований. Основные научные результаты исследования докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, а также обсуждались и получили одобрение на следующих конференциях:

I Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 29-30 октября 2008 г.;

II Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 29-31 октября 2009 г.;

II International scientific conference on safety engineering fire, environment, work environment, integrated risk, Нови Сад, 2010 г.;

Научно-практической конференции «О правовом регулировании судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 19-20 ноября 2010 г.;

Научно-практической конференции «Совершенствование работы в области обеспечения пожарной безопасности людей на водных объектах», Вытегра, УСЦ «Вытегра» МЧС России, 10-11 июня 2010 г.;

III Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности при подготовке и проведении XXII зимних Олимпийских игр в 2014 году в г. Сочи», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 29-31 октября 2010 г.;

III Научно-практической конференции «Системы безопасности: материалы», Москва, Академия ГПС МЧС России, 27 октября 2011 г.;

Международной научно-практической конференции «Использование криминалистической и специальной техники в противодействии преступности», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет МВД России, 21-22 ноября 2013 г.;

Всероссийской конференции «Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 23-25 апреля 2013 г.;

III Международном семинаре памяти профессора Б.Е. Гельфанда и X Международной научно-практической конференции «Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014 г.;

VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 23-24 сентября 2015 г.;

Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы судебной пожарно-тактической экспертизы», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 5-6 ноября 2015 г.;

III Межкафедральной научно-практической конференция «Актуальные проблемы противодействия правонарушениям в сфере строительства и транспорта», Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016 г.;

VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 22-24 сентября 2016 г.;

Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации», 15 декабря 2016 г.;

IX Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations», 30 апреля 2017 г.;

VII Всероссийской научно-практической конференции «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций», Железногорск, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 20 октября 2017 г.

Публикации. По теме диссертации опубликована 22 научная работа из них 4 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. Объем публикаций 4,05.

ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ

1.1. Анализ особенностей возникновения и развития пожаров на открытых автостоянках

По данным Международной организации автопроизводителей (OICA) [1] ещё в 2015 году количество автомобилей в мире превысило 1 миллиард. По производству автомобилей Россия занимает восьмое место после Китая, Японии, Германии, США, Южной Кореи, Индии и Бразилии. Рост количества произведённых автомобилей в мире по годам показан на Рисунке 1.



Рисунок 1 - Количество произведённых в мире автомобилей по годам

По данным органов внутренних дел, автомобильный парк по состоянию на 1 января 2017 г. на территории Российской Федерации составил порядка 41,6 млн единиц [2]. Сегодняшний российский автомобильный парк имеет высокий средний возраст. Так, на долю машин старше 10 лет приходится более половины от общего парка, что в количественном выражении соответствует 21,2 млн экземпляров. В то же время новых машин (до 3 лет) насчитывается почти 4,4 млн штук (Рисунок 2) [2].

В региональной разбивке парка лидируют Москва (3,8 млн шт.), Подмосковье (2,6 млн шт.) и Краснодарский край (1,7 млн шт.), на долю которых приходится пятая часть парка. За ними следуют Санкт-Петербург (1,7 млн шт.) и Ростовская область (1,3 млн шт.) (Рисунок 3) [2].



Рисунок 2 - Возраст автомобильного парка России на 1 января 2017 г.

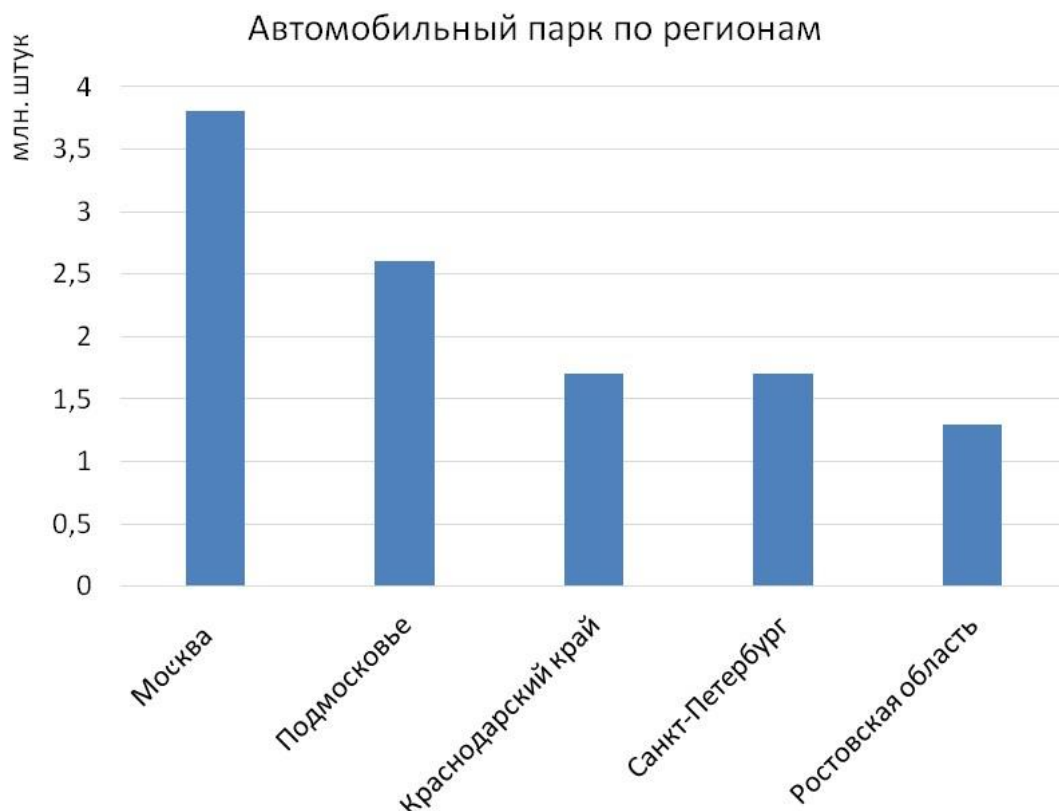


Рисунок 3 - Автомобильный парк по регионам

С ростом автомобильного парка в России встала проблема по созданию безопасных мест хранения автомобильного транспорта (автостоянок). Автомобиль, находящийся на автостоянке, с учётом подъездных путей, занимает около 25 м². С учётом того, что средняя загрузка автомобиля один-два человека, а в городе с миллионным населением в центре одновременно может находиться до 30 % человек, то искать парковку будут около 150 тысяч автомобилей, что потребует около 3750 тысяч м² или 375 гектаров территории [3, 4].

Сами автостоянки являются местом сосредоточения мощной пожарной нагрузки, к которой относятся автомобили. Современный автомобиль представляет собой передвижную концентрированную пожарную нагрузку, состоящую из ЛВЖ, ГЖ, электрических проводов с горючей изоляцией, пластмассы, ткани, полипропилена и т.д. Время горения транспортного средства среднего класса очень мало и обычно не

превышает 30 минут [5, 6]. Поэтому время развития пожара связано со значениями показателей пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку транспортного средства.

Исходя из этого были сформулированы следующие методы повышения пожарной безопасности на автомобильных стоянках (Рисунок 4).



Рисунок 4 - Методы повышения пожарной безопасности автостоянок

Из проведённого в ходе работы анализа следует, что существующие административный и нормативный методы за последнее время практически не изменились, хотя и оказывают существенное влияние на пожарную безопасность автостоянок. Административный метод сводится к системе штрафов, нормативный метод к контролю уже существующих, реконструируемых и вновь строящихся автомобильных стоянок.

Наиболее перспективным методом для повышения пожарной безопасности автотранспортных средств, хранящихся на автостоянках, становится метод математического моделирования. Поэтому актуальным является математическое обоснование способов обеспечения пожарной безопасности на автостоянках.

Учитывая, что на автостоянках концентрируется большое количество автомашин, разделённых небольшим промежутком, при пожаре возникает цепная реакция горения. При этом выгорает несколько автомобилей, принося существенный материальный ущерб. Возникновение пожаров на автостоянках часто обусловлено не природными причинами, а техногенными и человеческими факторами. Проведённый анализ показал, что пожарная обстановка и динамика развития горения зависят от следующих факторов [6-8]:

- горючих свойств используемых на транспорте веществ и материалов (пожарной нагрузки);
- источника зажигания;
- огнестойкости конструкций автомобиля;
- конструктивных особенностей автостоянки;
- систем пожаротушения и действий пожарных подразделений;
- плотности размещения автомобилей на стоянке;
- метеоусловий, в частности, от силы и направления ветра.

1.2. Обзор крупных пожаров на открытых местах хранения автотранспорта

Пожары на открытых автостоянках характеризуются большими материальными убытками. Сосредоточение автомобилей на небольшой площади приводит к цепной реакции горения автомобилей. Учитывая большую пожарную нагрузку каждого автомобиля, влияние природных

условий, наличие ЛВЖ и ГЖ, возможность взрыва, отсутствие нормальных подходов для развёртывания средств тушения ставит такие пожары в раздел наиболее опасных. Однако в связи с возможностью легко покинуть зону горения, пострадавших людей на таких пожарах немного.

Для примера рассмотрим несколько пожаров, происшедших на автостоянках разных стран и городов:

16 июля 2013 г. на проспекте Победы д. 75а в г. Харькове (Украина) произошёл пожар на охраняемой автостоянке [9]. К прибытию первого расчёта пожарных огнём было охвачено 11 автомобилей, площадь пожара составляла около 150 м². Пострадало 11 автомобилей (Рисунок 5).



Рисунок 5 - Последствия пожара на автостоянке (г. Харьков)

15 марта 2013 г. на охраняемой автостоянке в г. Вязьма Смоленской области около 4 часов 20 минут произошёл пожар [10]. В результате пожара полностью выгорело 23 автомобиля и 28 машин пострадали (Рисунок 6).



Рисунок 6 - Последствия пожара на автостоянке (г. Вязьма)

23 июня 2014 г. на штрафстоянке в г. Екатеринбурге на улице Ушакова д. 25 около 4 часов утра возник пожар [11]. Основными сложностями в тушении пожара стали слишком маленькое расстояние между припаркованными на стоянке машинами и отсутствие искусственных водоисточников, из-за чего пришлось ездить к ближайшей водонапорной башне. В итоге огонь уничтожил более 350 м² стоянки и 32 автомобиля (Рисунок 7).



Рисунок 7 - Последствия пожара на автостоянке (г. Екатеринбург)

14 октября 2013 г. в г. Сиднее (Австралия) сгорело 47 автомобилей и 33 получили повреждения (Рисунок 8) [12].



Рисунок 8 - Последствия пожара на автостоянке (г. Сидней)

28 августа 2013 г. на автомобильной стоянке в г. Иерусалиме произошёл пожар, в результате которого выгорели 4 автомобиля и 6 получили повреждения (Рисунок 9) [13].



Рисунок 9 - Последствия пожара на автостоянке (г. Иерусалим)

Проведённый анализ показывает, что особенностью таких пожаров является причиненный большой материальный ущерб, и что практически не бывает людских жертв. На открытой территории при большой концентрации автомобилей происходит быстрое развитие пожара, при этом, как правило, люди успевают уйти из зоны горения.

1.3. Анализ постояннодействующих факторов, влияющих на пожарную опасность открытых автостоянок

1.3.1. Анализ нормативных документов, регламентирующих пожарную безопасность объектов хранения автотранспорта

К проблеме пожарной безопасности автостоянок в настоящее время относятся как к какому-то объекту (в виде чёрного ящика), от которого надо держаться подальше. Существующие нормативные документы [14-17] предназначены для обеспечения соблюдения требований к строительным, объёмно-планировочным и конструктивным решениям по ограничению распространения пожара в зданиях и сооружениях и рассматривают автомобильные стоянки в качестве источника повышенной опасности, от которого следует «отгородиться» противопожарными расстояниями. Автостоянки по пожарной безопасности классифицируются по количеству машиномест: 10 и менее, 11-50, 51-100, 101-300, свыше 300. Внутри автостоянки расстояние между автомобилями определяется только разметкой и размерами открытых автомобильных дверей [16, 18]. Это объясняется резким ростом числа автотранспорта и недостаточным контролем со стороны Государственной противопожарной инспекции.

По выполняемым функциям все автопредприятия и организации подразделяются на автотранспортные, автообслуживающие и авторемонтные.

Производственно-техническая база любого автопредприятия состоит из многих элементов, предназначенных для обслуживания, ремонта и хранения автомобилей. В данной работе будут рассматриваться в основном автотранспортные предприятия, в той части, которая отвечает за хранение подвижного состава автомобильного транспорта (автостоянки).

Автотранспортные предприятия подразделяются на:

- грузовые (для перевозки грузов);

- пассажирские и таксомоторные (для перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугороднем сообщении);
- смешанные (для перевозки грузов и пассажиров);
- специальные (для осуществления специальных перевозок, например, крупногабаритных грузов, и обслуживания таких структур, как скорая медицинская помощь) [18, 19].

Основные требования к проектной строительной документации и обеспечению противопожарной безопасности изложены в следующих общепринятых документах [11-18]. Наряду с общепринятыми документами для исследования пожарной безопасности автопредприятий следует учитывать ряд специфических нормативных документов:

СП 113.13330.2012 «Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* (с Изменением № 1) [15]. Данные нормы и правила распространяются на здания, сооружения и помещения для стоянки (хранения) автомобилей независимо от форм собственности и устанавливают основные положения и требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям, а также к инженерному оборудованию таких зданий и их размещению на территории поселений.

МДС 11-4.99 «Методические рекомендации по проведению экспертизы технико-экономических обоснований (проектов) на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения». Настоящие методические рекомендации разработаны для обеспечения единого подхода к рассмотрению технико-экономических обоснований (проектов, рабочих проектов) на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения, необходимой полноты и качества экспертизы и предназначены для работников экспертных органов Российской Федерации, а также нештатных экспертов, подготавливающих локальные заключения по соответствующим разделам или отдельным вопросам проектов строительства.

ОНТП 01-91 «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта». Здесь рассматриваются особенности проектирования автотранспортных предприятий, станций технического обслуживания, гаражей-стоянок, грузовых автостанций и терминалов. Установлен параметрический ряд предприятий и регламентированы исходные данные для проектирования, расчетные нормативы для определения производственной программы по ТО и ТР, нормы расчета производственно-складских площадей, количества оборудования. Экономически обоснованы прогрессивные нормы расхода воды, тепла, электроэнергии, сжатого воздуха, эксплуатационных материалов и запасных частей. Особое место отведено вопросам охраны окружающей среды.

ВСН 01-89 «Предприятия по обслуживанию автомобилей». В настоящих ведомственных строительных нормах установлены требования по генеральному плану автотранспортных предприятий. В соответствии с действующими нормами санитарии, экологии и охраны труда промышленных зданий сформулированы требования по водоснабжению, канализации, отоплению, вентиляции, электроснабжению и автоматизации для автотранспортных предприятий. Выделены дополнительные требования для предприятий по обслуживанию газобаллонных автомобилей.

Перечень категорий помещений и сооружений автотранспортных и авторемонтных предприятий по взрывопожарной и пожарной опасности и классов взрывоопасных и пожароопасных зон по правилам устройства электроустановок. Перечень разработан в соответствии с методикой определения категории помещений промышленных предприятий с учётом особенности технологии технического обслуживания и применяемых материалов, объёмов и свойств материалов и легковоспламеняющихся жидкостей, критериями возможности возникновения взрыва или пожара и экономического фактора применения пожаротушения и мероприятий по предупреждению взрывопожарных ситуаций.

Специфика автопредприятий заключается в том, что их неотъемлемым элементом являются автостоянки, отвечающие за хранение автомобильного транспорта. На Рисунке 10 показан проект открытой автостоянки, а Рисунке 11 - реальное место хранения автотранспорта. От количества и размещения автотранспорта будет зависеть распространение горения.

Проектирование и обслуживание открытых автостоянок, особенно в крупных городах, имеет свои специфические особенности. В первую очередь это высокая стоимость земельных участков, взаимодействия автостоянок с архитектурой города, обеспечение охраны окружающей среды и конечно противопожарной безопасности [20-22].

Аналогичный подход следует применять для оценки вероятности проявления редко возникающих пожаров, по которым на сегодняшний день отсутствуют удовлетворительные статистические данные, а также не имеется оснований для полномасштабного мониторинга. Они могут быть проанализированы только с использованием экспертных оценок и построенных на их основе стохастических моделях [23, 24].

Методы экспертных оценок - это методы организации работы со специалистами - экспертами и обработки мнений экспертов. При этом мнения обычно выражаются частично в количественной, частично в качественной форме. Экспертные исследования проводят с целью подготовки информации для принятия решений. Для проведения работы по методу экспертных оценок создают рабочую группу, которая и организует по поручению человека, принимающего решение, деятельность экспертов, объединённых (формально или по существу) в экспертную комиссию.

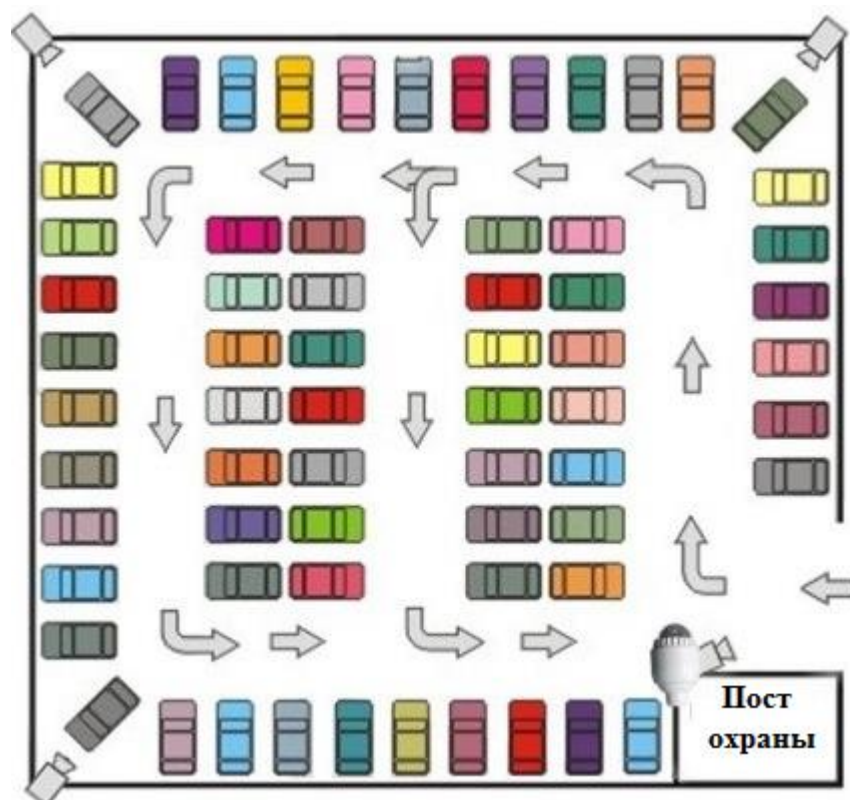


Рисунок 10 - Проект открытой автостоянки



11 - Пример мест хранения автомобилей

Существует множество методов получения экспертных оценок [25-28]. Так, в одних методах с каждым экспертом работают отдельно, он даже не знает, кто ещё является экспертом, а потому высказывает своё мнение независимо от авторитетов. В других методах экспертов собирают вместе для подготовки материалов, при этом эксперты обсуждают проблему друг с другом, учатся друг у друга, и неверные мнения отбрасываются. В одних методах число экспертов фиксировано, чтобы статистические методы проверки согласованности мнений и затем их усреднения позволяли принимать обоснованные решения. В других - число экспертов растёт в процессе проведения экспертизы. Не меньше существует и методов обработки ответов экспертов, в том числе весьма насыщенных математикой и компьютеризированных.

Один из наиболее известных методов экспертных оценок - это метод Дельфи. Метод Дельфи представляет собой метод экспертного оценивая, основными его особенностями являются анонимность, многоуровневость и заочность. Базовой предпосылкой служит идея о том, что, если должным образом произвести обобщение и обработку индивидуальных оценок экспертов по поводу конкретной ситуации, можно получить общее мнение, которое будет обладать максимальной степенью надёжности и достоверности [29-32].

1.3.2. Структурирование пожарной нагрузки

Одним из критериев гибели материальных ценностей является сосредоточение автомобилей на малых площадях. Поэтому одним из основных факторов, влияющим на возникновение и развитие пожара, является структурирование пожарной нагрузки. Структурирование пожарной нагрузки зависит от расстояния между горючими объектами. Противопожарные расстояния - это нормированные расстояния между объектами, установленные

для предотвращения развития пожара между ними. Для зданий, сооружений и (или) строений в настоящее время противопожарные расстояния нормируются в соответствии с СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» [18, 33-35].

Термин «противопожарное расстояние» определяет расстояние между объектами, которое исключает распространение пожара от горящего объекта на окружающие горючие предметы [36-39]. Основными факторами, влияющими на величину противопожарного разрыва между горючими объектами, являются:

1. Непосредственное воздействие пламени (открытого огня) на горючие конструкции.

Кроме расстояния между объектами, на этот фактор оказывают влияние мощность очага пожара, размеры горящего объекта, скорость ветра и другие природные и случайные факторы.

2. Горячие частицы (искры), способные преодолевать значительные расстояния не теряя своей зажигающей способности.

3. Конвективный поток, переносящий нагретые, не полностью сгоревшие частицы горения и дыма.

4. Тепловое излучение (тепловой поток), измеряющийся в кВт/м². Существуют зависимости поджигающей способности теплового потока и расстояния до горючих материалов.

Однако в настоящее время противопожарное расстояние для автотранспорта не нормируется. Для зданий и сооружений различных классов функциональной пожарной опасности действует СП 4.13130, утвержденный Приказом МЧС России от 24 апреля 2013 г. Но и в нем нет утвержденной методики для расчёта расстояния между зданиями и сооружениями, то есть рассчитать противопожарные расстояния нельзя.

Расчёт площади открытой автомобильной стоянки [40-43] определяется следующим образом:

$$F_x = f_0 * A_c * K_{п.а.},$$

где f_0 – площадь, занимаемая автомобилем в плане (по габаритным размерам), m^2 ; A_c – число автомобильных мест на стоянке; $K_{п.а.}$ – коэффициент плотности расстановки автомобильных мест на стоянке.

Величина $K_{п.а.}$ зависит от способа расстановки мест на автостоянке и считается равной 2,5–3,0.

Для примера на рис. 10 показан расчёт размеров стандартной автостоянки. Существуют нормативы расстановки автомобилей на открытой автостоянке (Рисунок 12).

Ширина автостоянки определяется следующим образом:

$$B_{тр} = 2 * 4,7 + B_{пр},$$

где $B_{пр}$ – ширина проезда, которая определяется из соотношения:

$$B_{пр} = R_H + 0,7 - (OA^2 - OB^2)^{1/2},$$

где R_H – внешний радиус поворота, а

$$OA = R_B - 0,5 = 2,9;$$

$$OB = R_B - 0,5 = 2,6;$$

R_B – внутренний радиус поворота, исходя из того, что $R_H = 5,9$, а $R_B = 3,1$, получаем $B_{пр} = 5,3$, а $B_{тр} = 14,71$.

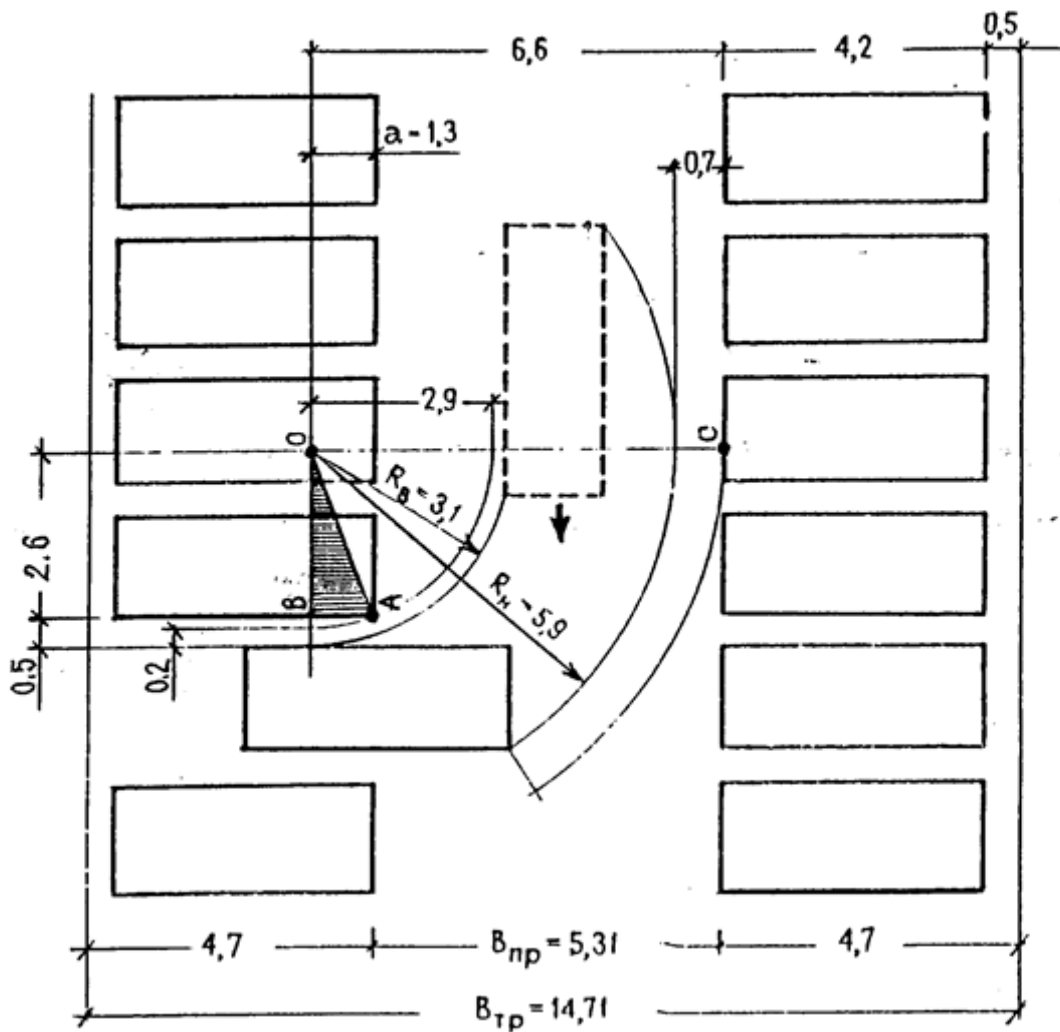


Рисунок 12 - Определение требуемых размеров стандартной автостоянки

В Таблице 1 указаны расстояния между автомобилями, а также автомобилями и элементами зданий [39-42].

Кроме архитектурных особенностей автомобильных стоянок на структурирование пожарной нагрузки влияет количество и место паркующихся автомобилей. То есть открытую автостоянку можно представить как систему удовлетворяющую спрос на стоянку автомобилей с ограниченными возможностями (систему массового обслуживания с потерями). При этом каждое парковочное место будет являться каналом

обслуживания, автомобили будут информационным потоком заявок, а число парковочных мест будет являться числом обслуживающих каналов.

Таблица 1 - Расстояния между автомобилями, а также автомобилями и элементами зданий

Автомобили и элементы конструкции зданий	Категория автомобиля		
	I	II и III	IV
Продольные стороны автомобилей	0,7	0,7	0,9
Стена и автомобиль, стоящий параллельно стене	0,6	0,7	0,9
Продольная сторона автомобиля и колонна	0,4	0,5	0,6
Передняя сторона автомобиля и стена (ворота):			
- при прямоугольной расстановке	0,8	0,8	0,8
- при косоугольной расстановке	0,6	0,6	0,6
Задняя сторона автомобиля и стена (ворота):			
- при прямоугольной расстановке	0,6	0,6	0,6
- при косоугольной расстановке	0,6	0,6	0,6
Автомобили, стоящие один за другим	0,5	0,6	0,7

Особенностью работы такой системы является то, что всякое требование, поступившее в систему в некоторый момент времени, либо сразу обслуживается, либо теряется, если в момент его поступления все обслуживающие каналы заняты, то есть автомобиль, появившийся на стоянке в случае отсутствия свободного места, отправляется искать свободную стоянку в другом месте. Для аппроксимации закона распределения автомобилей на открытой автостоянке можно использовать распределение Эрланга k – порядка E_k . Такое распределение можно рассматривать как последовательность k экспоненциально распределённых фаз с одинаковым параметром

$$\alpha_i = \alpha = 1/M[\tau] \quad (i=1, k),$$

где $M[\tau]$ – математическое ожидание распределения τ автомобилей по открытой парковке (Рисунок 13).

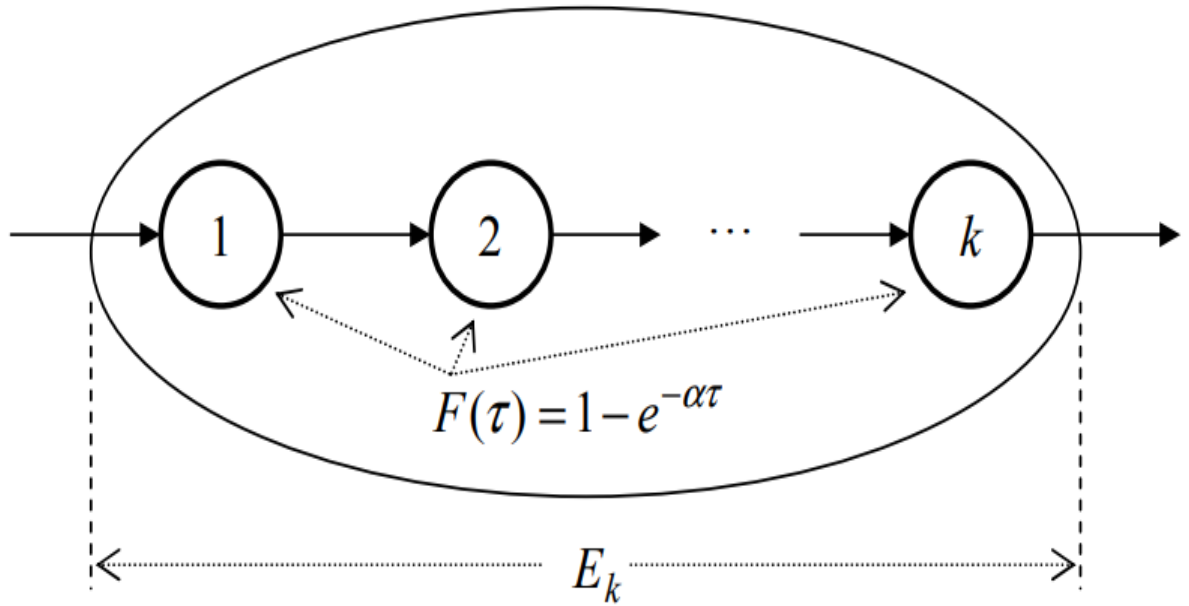


Рисунок 13 - Распределение автомобилей на открытой автостоянке по закону Эрлага

Используя теорию массового обслуживания (модель А.К. Эрланга) [43-45], можно оценить эффективность работы автостоянки.

Вероятность того, что заняты все парковочные места определится следующим образом:

$$P_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}$$

где λ – плотность автомобильного потока; n - количество парковочных мест;
 $\mu=1/t_{\text{обсл}}$ - параметр обслуживания; $t_{\text{обсл}}$ - среднее время пребывания автомобиля на парковке.

Из работы [24] следует, что уровень свободы выбора места стоянки Y_c будет зависеть от соотношения потребностей P_{Π} и наличия мест P_M :

$$Y = P_{\Pi} / P_M.$$

Процесс парковки автомобилей подчиняется распределению Эрланга. Поэтому при создании автостоянки следует учесть поток автомобилей и число парковочных мест. Соответственно, если этот коэффициент будет ниже, чем 0,75, тогда работа автостоянки будет неоптимальной, что играет большую роль на сегодняшний день.

1.3.3. Влияние горючей нагрузки на пожарную обстановку открытых мест хранения автотранспорта

Следующим основным фактором, влияющим на развития пожара, является пожарная нагрузка. Возникновение и развитие пожара автомобиля на открытых стоянках подчиняется физическим законам, по которым развивается пожар в любом другом месте, однако существуют свои особенности, которые необходимо учитывать [46 - 49]. Мощность при горении автомобиля можно рассчитать по формуле:

$$Q = K_T \cdot \tau^2, \text{ кВт},$$

где K_T - коэффициент, характеризующий темп изменения тепловой мощности очага пожара, кВт/с²; τ - время с момента возникновения пламенного горения, с.

Коэффициент K_T рассчитывают в зависимости от выбранной схемы развития пожара по формулам:

а) для кругового распространения пожара:

$$K_T = \pi \eta V_{\text{л}}^2 \psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}},$$

где η - коэффициент полноты горения (допускается принимать равным 0,87); $V_{\text{л}}$ - линейная скорость распространения пламени по поверхности материала, м/с; $\psi_{\text{уд}}$ - удельная массовая скорость выгорания материала, кг/(м²с); $Q_{\text{н}}$ - низшая рабочая теплота сгорания материала, кДж/кг.

Значения $V_{л}$, $\psi_{уд}$ и Q_n принимаются по методике изложенной, например, [47] (Таблица 2) или по нормативной и справочной литературе [50-53].

Таблица 2 - Данные по типовой горючей нагрузки (ГН) автомобиля [54]

Автомобиль; 0,3*(резина, бензин)+0,15*(ППУ, ис. кожа ПВХ)+0,1* эмаль	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	31700,0
Удельная скорость выгорания, кг/м ² ·с	0,02330
Дымообразующая способность, Нп·м ² /кг	487,00
Потребление кислорода (О ₂), кг/кг	-2,6400
Выделение газа:	
углекислого (СО ₂), кг/кг	1,29500
угарного (СО), кг/кг	0,09700
хлористого водорода (HCl), кг/кг	0,01090

При горении легкового автомобиля массой 1 000-1 500 кг, тепловыделения около 60 000 кВт;

Экспериментальные исследования [55-57] развития пожара в автомобиле на открытых автостоянках показывают, что можно выделить три периода при условии, что пожар в автомобиле происходит свободно, без тушения:

- первый период - возникновение пожара;
- второй период - основной, развитие пожара (сгорание основной массы горючей нагрузки);
- третий период - затухание пожара (горят остатки пожарной нагрузки).

Первый период характеризуется развитием пожара из сравнительно небольшого очага (зависящего от мощности источника зажигания) до общего воспламенения. Длительность этого периода может составлять от нескольких секунд до нескольких часов.

Основными видами топлива для автотранспорта являются продукты переработки нефти - бензины и дизельные топлива, которые представляют собой смеси углеводородов и специальных присадок, предназначенных для улучшения их эксплуатационных свойств. В состав бензинов входят углеводороды, выкипающие при температуре от 35 до 200 °С. Показатели

пожарной опасности некоторых бензинов по ГОСТ Р 51105-97 (до 1 января 1999 г. - ГОСТ 2084-77) и дизельного топлива приведены в Таблице 3.

Таблица 3 - Показатели пожарной опасности некоторых бензинов и дизельного топлива

Марка бензина	Температура вспышки, °С	Температур самовоспламенения, °С	Концентрационные пределы воспламенения, % об.		Температурные пределы воспламенения, °С	
			верхний	нижний	верхний	нижний
АИ-80 (А-76*)	-37	320	5,60	0,78	-7	-35
АИ-92 (АИ-93*)	-37	360	6,14	0,79	-6	-37
АИ-95	-37	370	6,73	0,79	-6	-37
АИ-98	-37	380	6,90	0,79	-6	-37
ДЗ	59	237			98	54
ДЛ	65	225			116	64
ДС	92	231			146	76
ДТ-1	110	370			135	99
ДТ-2	110	350			155	91

Бензин и дизельное топливо относится к легковоспламеняющимся жидкостям, которые в пожарном отношении наиболее опасны и могут воспламениться от искры, накаливаемого тела и т.п. Распространение пламени по их поверхности происходит с большой скоростью, так как оно движется по смеси воздуха с парами.

Нормальная скорость распространения пламени в таких смесях составляет от 0,5 до 2м/с, теплота сгорания бензина 45 800-47 600 кДж/л, а его скорость горения (на открытом воздухе) 3-6 л/м² мин [58].

Кроме бензина в автомобилях используются технические жидкости и материалы различного назначения. В настоящее время в гидроприводе тормозной системы автомобилей применяется несколько марок отечественных и зарубежных тормозных жидкостей. Основные показатели

пожарной опасности некоторых технических жидкостей представлены в Таблице 4 [58, 59].

Таблица 4 - Показатели пожарной опасности технических жидкостей, используемых в автомобилях

Наименование	Группа горючести	Температура, °С		
		вспышки	воспламенения	самовоспламенения
Тормозная жидкость БСК (ТУ 6-01-1163-78) «Нева»	ЛВЖ	40	46	345
(ТУ 6-10-1533-75) «Роса»	ГЖ	97-102	102	242
(ТУ 2451-004-10488057)	ГЖ	112-128	131	315
«Тосол-АМ» (ТУ 6-57-95)	ГЖ	108	117	508

Следующее, что следует учитывать при анализе пожарной нагрузки, это разнообразные полимеры. Количество применяемых пластмасс при изготовлении автомобилей растут год от года. Число пластмассовых деталей на современных автомобилях превышает 35 %, а их общая масса более 100 кг [60]. Как правило, полимерные материалы используют для изготовления деталей, не несущих больших нагрузок. Изделия из пластмасс представляют значительную пожарную опасность. Показатели пожарной опасности основных материалов, применяемых в конструкциях отечественных и зарубежных автомобилей, представлены в Таблице 5 [54-56].

Таблица 5 - Показатели пожарной опасности веществ и материалов, применяемых в конструктивных элементах

Наименование	Группа горючести	Температура, °С	
		воспламенения	самовоспламенения
Полиэтилен низкого давления	горючий	306	417
Полиэтилен высокого давления	горючий	306	417
Полипропилен	горючий	340	322-349
Дерматин	-//-	325-343	325-388
Резина	-//-	165	-
ДВП	-//-	-	350
Битум	-//-	222	345
Каучук:	-//-	300-351	380-397
натуральный			
изопреновый	-//-	129	375
бутадиен-нитрильный	-//-	290	340
хлорпреновый	-//-	305-316	406-445
фторкаучук	-//-	250	475
Антикор битумный	трудногорючий	-	536
	ЛВ Эмульсия		
Мовиль	(до нанесения)	31	433
	ЛВЖ		
	(до нанесения)	43	-

Пожарная опасность лакокрасочного покрытия определяется теплостойкостью, скоростью испарения и токсичностью. Термостойкость большинства органических пигментов и наполнителей данного покрытия ограничивается температурами 423-473 К. Термостойкость покрытия на кремнийорганической основе составляет 523-773 К [53].

Возникновение и распространение пожара на открытых автостоянках - сложный физико-химический процесс, зависящий от множества факторов. Во многом его протекание определяется структурой пожарной нагрузки. Часто на открытых автостоянках пожарная нагрузка (автомобили) распределяется случайным образом. При этом пути эвакуации могут не совпадать с реально возможными. На пути эвакуации людей возникают следующие основные

опасные факторы: пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму.

В перечне токсичных продуктов горения, выделяющихся при пожарах на открытых автостоянках, содержится до 60-70 видов химических соединений, оказывающих токсическое воздействие на человека. Перечень некоторых токсичных компонентов, выделяемых при горении различных веществ, приведён в Таблице 6.

Таблица 6 -Характерные токсичные продукты горения на пожарах

Источник образования (материал)	Токсичные компоненты
Все горючие материалы, содержащие углерод	Двуокись (диоксид) углерода, окись (оксид) углерода
Целлулоид, полиуретаны	Оксиды азота
Древесина, шелк, кожа, пластмасса, содержащая азот, целлюлозные материалы, целлюлозные пластмассы, вискоза	Двуокись (диоксид) углерода, окись (оксид) углерода, цианистый водород
Резина, тиоколы	Диоксид серы
Поливинилхлорид, огнезащищенные пластмассы, фторированные пластмассы	Галогеносодержащие кислоты и другие соединения (соляная, бромистоводородная, плавиковая кислоты, фосфоген)
Полистирол	Бензол
Пенополиуретан	Изоцианаты

Токсический эффект этих соединений зависит от целого ряда факторов и, прежде всего, от состава газоводушных смесей, который определяется видом материалов, его количеством, технологией изготовления.

Большое влияние оказывают также условия, в которых протекает горение автомобилей: температура и скорость нагрева материала, время воздействия на людей, температура окружающего воздуха, содержание в нем кислорода.

1.4. Анализ источников зажигания

Анализ источников зажигания автомобиля на открытых автостоянках показан на Рисунке 14.

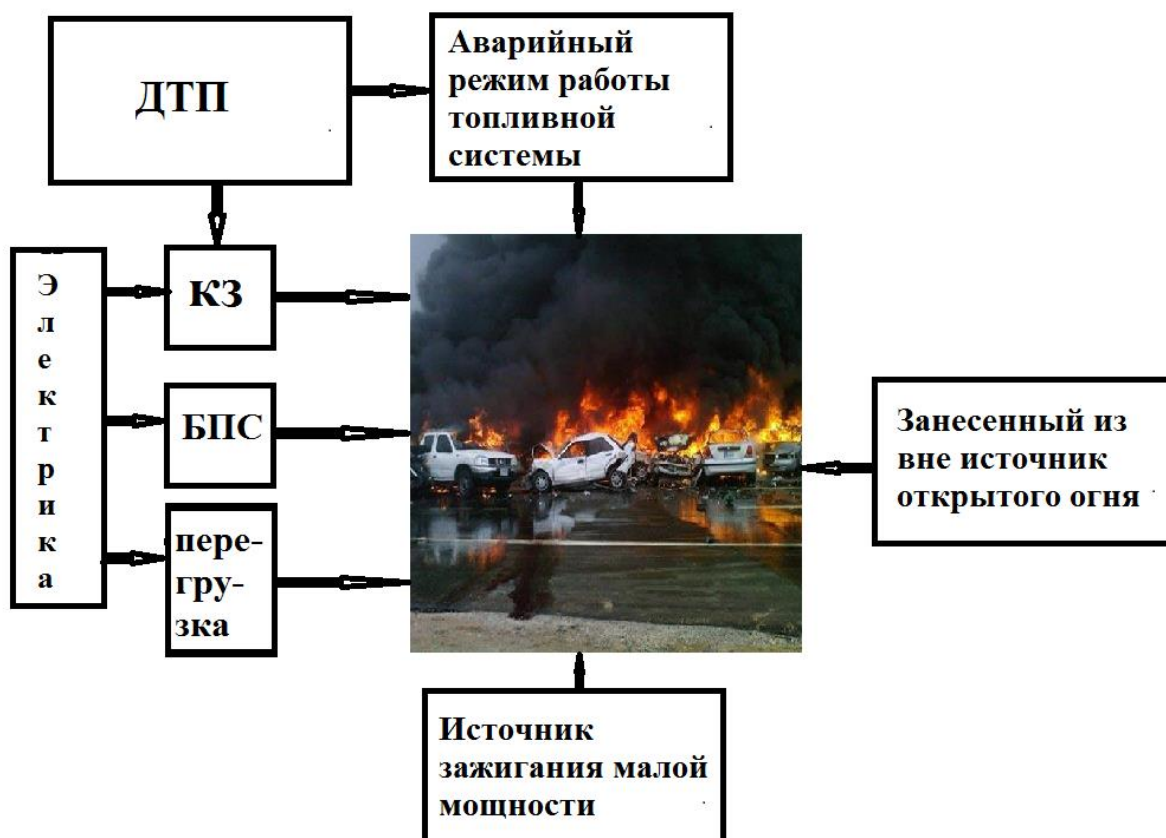


Рисунок 14 - Анализ источников зажигания на открытых автостоянках

В начальный период распространение пожара происходит в основном за счёт передачи тепла вследствие конвективных потоков. При этом максимальная температура достигается в зоне очага пожара, а в других зонах ее числовые значения могут существенно отличаться. По мере развития пожара на распространение тепла начинает влиять кондукция.

Второй основной период развития пожара характеризуется выгоранием основной части горючего материала (до 80 %) практически с постоянной скоростью. Среднеобъёмная температура повышается до максимального значения. В этот период развития пожара в автомобиле происходит максимальное выделение тепловой мощности. Передача тепла происходит главным образом посредством конвективных потоков и излучения. На этом периоде горения существует опасность возникновения горячих частиц (искр), которые преодолевают значительные расстояния, не теряя своей зажигающей способности. Как показывает практика, второй период развития пожара в салоне легкового автомобиля длится от 10 до 20 минут.

Третий период соответствует периоду затухания пожара. Происходит медленное догорание, температура пожара снижается.

Пожары транспортных средств можно разделить на две группы:

- пожары, связанные с техническими неисправностями и аварийными ситуациями;
- искусственно инициированные пожары (поджоги).

Первые происходят в основном либо в результате аварийных режимов в электросети автомобиля или его сервисных устройств, либо по причине утечки моторного топлива и иных горючих жидкостей (ГЖ) с загоранием их при контакте с нагретыми поверхностями автомобиля.

Вторые (поджоги) считаются основной причиной пожаров легковых автомобилей в промышленно развитых странах [58].

Если горение автомобиля начинается от действия внешнего очага пожара, то важно знать, где располагался такой очаг: под автомобилем или вне его опорной площадки. При этом такой внешний очаг пожара может представлять собой отдельный факел (горящее строение или горящий автомобиль) либо горючую жидкость, налитую под автомобиль или на него (на капот, крышу салона, крышку багажника или иные части кузова). При горении разлитого под автомобилем топлива обгорание кузова будет

сравнительно равномерным по высоте кузова. При выгорании только содержимого автомобиля изнутри низ кузова и дверей снаружи может сохранить остатки лакокрасочного покрытия, поскольку при данном условии эти элементы автомобиля находятся в зоне сравнительно низких температур [58, 59].

При внешнем расположении очага пожара термическое воздействие на автомобиль осуществляется только путём теплового излучения. В этом случае кузов автомобиля будет постепенно прогреваться и, в зависимости от интенсивности нагрева, определяемой размерами зоны горения и расстоянием ее до автомобиля, может произойти обгорание лакокрасочного покрытия, возгорание покрышек колёс и далее самого автомобиля. Например, от одного автомобиля пожар перебрасывается на расположенный рядом автомобиль.

1.5. Классификация факторов, влияющих на возникновение и развитие пожара на автостоянках

По месту возникновения и развития пожара модели условно могут быть разделены на: модели пожаров на закрытых автостоянках и модели пожаров на открытых территориях. Пожары в помещении отличаются небольшим масштабом, трудностью учёта пожарной нагрузки (в том смысле, что не возможно достоверно знать, какая пожарная нагрузка окажется в изучаемом помещении в момент пожара), трудностью прогнозирования потоков воздуха (из-за потоков через разбитые окна и т.п.) и другими особенностями. Пожары на открытых территориях, особенно на открытых автостоянках, отличаются большими масштабами, необходимостью учёта погодных условий, необходимостью учёта рельефа местности, удалённости пожарных частей, наличием и расположением видеоисточников и т.д. [60-62].

В настоящей работе предлагается систематизировать факторы, влияющие на возникновение и развитие пожара на автостоянках, по степени их ожидаемости, то есть установить вероятности их проявления. Таким образом, можно выделить несколько групп факторов, влияющих на развитие пожара (Рисунок 15):

- постоянно действующие факторы;
- периодически повторяющиеся факторы;
- случайные факторы, возникающие редко, и не имеющие на сегодняшний день оснований для полномасштабного мониторинга и для статистического анализа (анализируются экспертными оценками).



Рисунок 15 - Факторы, влияющих на возникновение и развитие пожаров на объектах хранения автотранспорта

Такая места ре систематизация факторов, ре влияющих на только ре развитие пожара, ре позволяет соотнести мероприятий ре выделенные группы с ре имеющимися основными мероприятий ре методологическими подходами ре оценки риска услуг ре возникновения пожароопасных ре ситуаций на ре автостоянках.

При этом риск - количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей и количественно выражается формулой:

$$R = \frac{n}{N}$$

где n - число случаев проявления опасностей; N - возможное число случаев проявления опасностей.

Согласно ч. 1 ст. 94 Федерального закона № 123-ФЗ оценка пожарного риска на объекте должна предусматривать [63, 64]:

- 1) анализ пожарной опасности объекта;
- 2) определение частоты реализации пожароопасных аварийных ситуаций на производственном объекте;
- 3) построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- 4) оценку последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- 5) вычисление пожарного риска.

Методы определения величины (степени риска) включают следующие методы:

- статистические методы оценки, основанные на математической статистике (дисперсии, стандартном отклонении, коэффициенте вариаций). Такие методы требуют большой объем исходных данных, наблюдений;

- методы экспертных оценок, базирующиеся на использовании знаний экспертов в процессе анализа ситуации и учета влияния качественных факторов;
- методы аналогии, основанные на анализе аналогичных ситуаций, условий их развития и ликвидации. Данные методы используются тогда, когда база данных для анализа и другие методы неприемлемы или менее достоверны;
- комбинированные методы, включающие в себя применение сразу нескольких методов.

Выводы по главе 1

В главе проведён анализ особенностей возникновения и развития крупных пожаров на открытых автостоянках. Исследование нормативно-технической литературы, регламентирующей в области возникновения чрезвычайных ситуациях на открытых пространствах, показало что вопрос прогнозирования развития возникновения чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках практически не изучен.

Анализ крупных пожаров на открытых автостоянках показал, что основной ход их развития имеет похожие сценарии и зависит от ряда повторяющихся факторов. Была проведена декомпозиция факторов, влияющих на пожарную опасность открытых объектов хранения автотранспорта. Исследование статистико-эмпирических данных возникновения и развития крупных пожаров на открытых автостоянках демонстрирует, что наиболее опасными являются постоянно действующие пожароопасные факторы. Вторыми по значимости являются случайно повторяющиеся факторы. На третьем месте находятся периодические факторы, способные создавать пожароопасную обстановку на открытых объектах хранения автотранспорта.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ

2.1. Математический подход для оценки обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках

Моделирование в научных исследованиях стало применяться ещё в глубокой древности и с развитием компьютерной техники применяется все шире для различных этапов оценки показателей различных объектов.

При этом модельное описание объекта используется:

- для исследования системы до того, как она спроектирована с целью определения ее основных характеристик и правил взаимодействия элементов между собой и с внешней средой;
- на этапе проектирования для анализа и синтеза различных видов структур и выбора наилучшего варианта реализации с учётом сформулированных критериев оптимальности и ограничений;
- на этапе эксплуатации системы для получения оптимальных режимов функционирования и прогнозных оценок ее развития.

Один и тот же объект можно описать различными типами моделей. Модель - это такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект - оригинал, так, что его непосредственное изучение даёт новые знания об объекте - оригинале. Моделирование оперирует с такими категориями, как абстракция, аналогия, гипотеза и др. Процесс моделирования обязательно включает и построение абстракций, умозаключения по аналогии и конструирование научных гипотез. Модели могут быть физическими, аналоговыми и математическими. Они могут быть представлены в виде графиков, рисунков, математических

соотношений, макетов, различного рода механических, электрических и прочих устройств.

В некоторых случаях пожар представляется чередой случайных событий, в других - это совокупность процессов, в которых причина обуславливает следствие. На самом же деле для возникновения пожара характерна неопределённость, но не всегда и не во всем. При построении детерминированных моделей пожара случайными факторами пренебрегают, учитывая лишь конкретные условия решаемой задачи, свойства и внутренние связи объекта. Поэтому иногда трудно найти чёткие различия между стохастическими и детерминированными моделями [65-67]. Вероятности являются достаточно субъективным показателем.

На этапе возникновения горения, при анализе возможных источников зажигания, актуально использовать стохастические модели. Детерминированные методы на этом этапе можно использовать как вспомогательные. Наиболее часто даже используются эмпирические зависимости.

На этапе развития пожара и при нарастании опасных факторов пожара чаще используются детерминированные модели. Однако на открытых автостоянках большую роль играют случайные (погодные, административные, конструктивные и человеческие факторы) [68-70].

После того, как пожар произошёл, все случайные факторы возникновения и развития пожара становятся известными. Поэтому на первое место переходят детерминированные методы, а не вероятностные.

Особенности использования математических моделей описания пожарной безопасности на открытых автостоянках приведены на Рисунке 16. Подобие процесса, протекающего в моделях, описывающих пожарную безопасность на открытых автостоянках реальному процессу, является не целью, а лишь условием правильного функционирования модели, поэтому в качестве цели должна быть поставлена задача изучения какой-либо стороны

функционирования объекта. Для правильно построенной модели характерно то, что она выявляет только те закономерности, которые нужны исследователю и не рассматривает те свойства системы, которые не существенны для данного исследования.

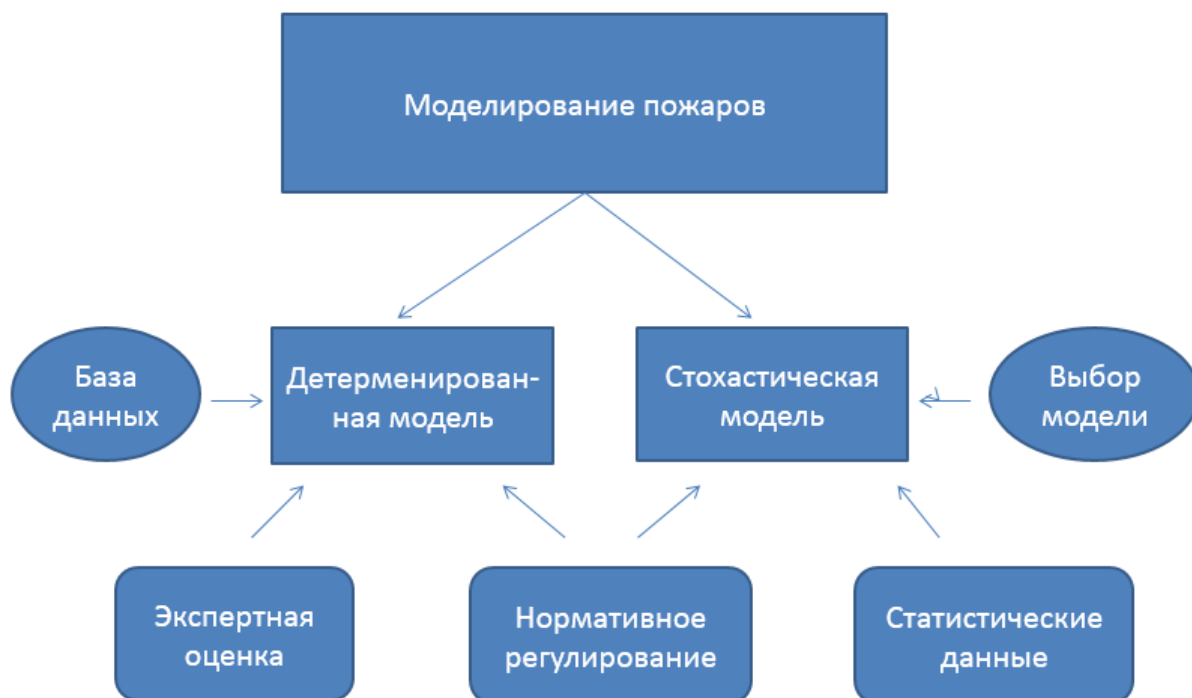


Рисунок 16 - Особенности использования математических моделей описания пожарной безопасности на открытых автостоянках

Существующие программные продукты для расчёта пожарного риска (детерминированные модели) [71-74]:

- FDS-Fire Dynamics Simulator (Pirosym, Fenix) - полевая модель;
- FIM-Fire Integral Model - интегральная модель;
- Sitis ВИМ 4.12 - интегральная модель;
- Sitis Блок 4.12 - двузонная модель.

Существующие лицензированные программы построения сценариев развития пожаров на различных объектах в основном являются интегральными. Они направлены на дальнейший расчёт времени эвакуации людей из зданий и сооружений и расчёт пожарного риска. Такой объект

расчёта как открытая автостоянка в базе данных пожарной нагрузки имеющегося программного обеспечения отсутствует, как и возможность производить моделирование пожара на открытом участке.

Для анализа связей между развитием процессов распространения опасных факторов пожара и физическими особенностями окружающей среды можно использовать стохастические модели. А также можно рассматривать физические закономерности развития чрезвычайных ситуаций с применением конечных цепей Маркова и перколяционных процессов. Однако в настоящее время методика, основанная на стохастических моделях, для анализа пожароопасной ситуации на открытых автостоянках, не разработана.

2.2. Особенности использования детерминированных методов развития пожаров на открытых автостоянках

После того, как пожар произошёл, все случайные факторы возникновения и развития пожара становятся известными. Поэтому на первое место переходят детерминированные методы, а не вероятностные. модели расчёта развития пожара делятся на [74-77]:

- интегральные,
- зонные,
- полевые.

Зонные математические модели на открытых автостоянках применять невозможно, так как на открытом пространстве невозможно выделить и припотолочную зоны.

Рассмотрим использование интегральной математической модели на примере программы FireSim.

Программа FireSim является вспомогательной, так как только ее использование не позволяет рассчитать величины пожарного риска. Согласно

ч. 1 ст. 94 Федерального закона № 123-ФЗ оценка пожарного риска на производственном объекте должна предусматривать:

- 1) анализ пожарной опасности производственного объекта;
- 2) определение частоты реализации пожароопасных аварийных ситуаций на производственном объекте;
- 3) построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- 4) оценку последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- 5) вычисление пожарного риска.

В соответствии с ч. 2 ст. 94 упомянутого выше Федерального закона анализ пожарной опасности производственных объектов должен предусматривать:

- 1) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на производственном объекте;
- 2) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- 3) определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную для каждого технологического процесса;
- 4) построение сценариев возникновения и развития пожаров, повлёкших за собой гибель людей.

Предлагаемая программа реализует лишь следующие функции:

- а) построение полей опасных факторов пожара;
- б) оценку последствий воздействия опасных факторов пожара на людей;
- в) вычисление пожарного риска.

В то же время выполнение остальных функций остаётся за пользователем. Поэтому, в какой мере пользователь выполнит правильно и

полно функции, в такой мере результат оценки пожарного риска будет отражать реальный уровень пожарной опасности производственного объекта.

Программа FireSim обеспечивает выполнение следующих функций:

Ввод данных с широким использованием экранных элементов управления и отображение введённых исходных данных в текстовой и графической форме на загружаемой пользователем подложке;

Ввод мест инициирования сценария пожара (точки привязки сценария к плану-подложке);

Ввод и последующее выборочное редактирование сведений о следующих типах сценариев:

- пожар пролива;
- факельное горение;
- сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
- пожар-вспышка;
- огненный шар;
- разрушение сосуда в очаге пожара.

Ввод, последующее выборочное редактирование и сохранение для дальнейшего использования дополнительных исходных данных:

- розы ветров;
- областей присутствия персонала на территории объекта;
- границ зданий, районов с указанием фоновых значений потенциального риска в здании, районе, а также категории персонала и вероятности его присутствия;
- областей жилой, общественно-деловой зоны и зоны рекреационного назначения вблизи объекта с указанием среднего числа людей в различных частях этих зон и вероятности их присутствия в этих частях.

Сохранение введённых данных в отдельном файле с обеспечением возможности его последующего открытия, редактирования загруженных данных и с последующим проведением всех требуемых расчётов;

Наличие пополняемой базы данных по свойствам веществ и материалов, используемых в расчётах;

Представление результатов расчётов в удобной для восприятия и анализа текстовой и графической форме;

Расчёт значений поражающих факторов пожара производится для всех сценариев и для всех точек области плана-подложки с шагом, задаваемым пользователем;

Вывод результатов расчёта зон поражения тепловым излучением и волной сжатия на загруженный план-подложку, при этом пользователь имеет возможность для любой произвольной точки на плане-подложке определить значения теплового потока или избыточного давления, а также условной вероятности гибели людей;

Вывод результатов расчётов потенциального риска на план-подложку в виде полей различного цвета, соответствующих определённому значению потенциального риска (контуры риска);

Результаты расчёта социального риска представляются в табличном виде с указанием вклада каждого из сценариев, ведущих к гибели 10 и более человек, в суммарное значение социального риска;

Экспорт результатов расчётов в отдельные файлы с сохранением структуры таблиц, графиков, указанием индивидуального номера сценария, категории персонала и т.д.

Программа FireSim предназначена для расчёта значений потенциального, индивидуального и социального пожарного риска в соответствии с требованиями «Методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах», Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 с изменениями, Приказ МЧС России от 14 декабря 2010 г. № 649.

В качестве примера рассмотрим расследование пожара на открытой автостоянке расположенной в N районе с использованием математического моделирования возникновения и развития пожара.

Из протокола осмотра места происшествия от ХХ.ХХ.201Х следует, что наибольшие термические повреждения наблюдаются в передней части капота автомобиля Фольксваген Туарег.

Для уточнения расположения места происшествия, ориентирования сгоревших автомобилей по частям света были получены общедоступные данные из интернета, приведённые на Рисунке 17. На развитие пожара на открытых территориях и, следовательно, на формирование очаговых признаков влияет направление и сила ветра, температура воздуха и погодные условия. Из архива прогноза метеоцентра в Х районе была облачная погода, ветер юго-западный 2 м/с, температура воздуха +16...+18 градусов.

Осмотр места происшествия показал, что наибольшие термические повреждения получил автомобиль Фольксваген Туарег. Из ориентирующих фотографий (Рисунок 18) видно, что наибольшие термические повреждения автомобиля Фольксваген Туарег наблюдаются с передней части со стороны водителя. Со стороны пассажира термических повреждений на лакокрасочном покрытии дверей и багажника практически нет. В салоне автомобиля термические повреждения по мере удаления от капота к багажному отделению уменьшаются. На крыше автомобиля термические повреждения лакокрасочного покрытия от лобового стекла к багажнику уменьшаются.

По фототаблице из протокола осмотра места происшествия была составлена план-схема места происшествия. Наиболее сильные термические повреждения Фольксвагена Туарег наблюдаются в районе переднего колеса со стороны водителя.

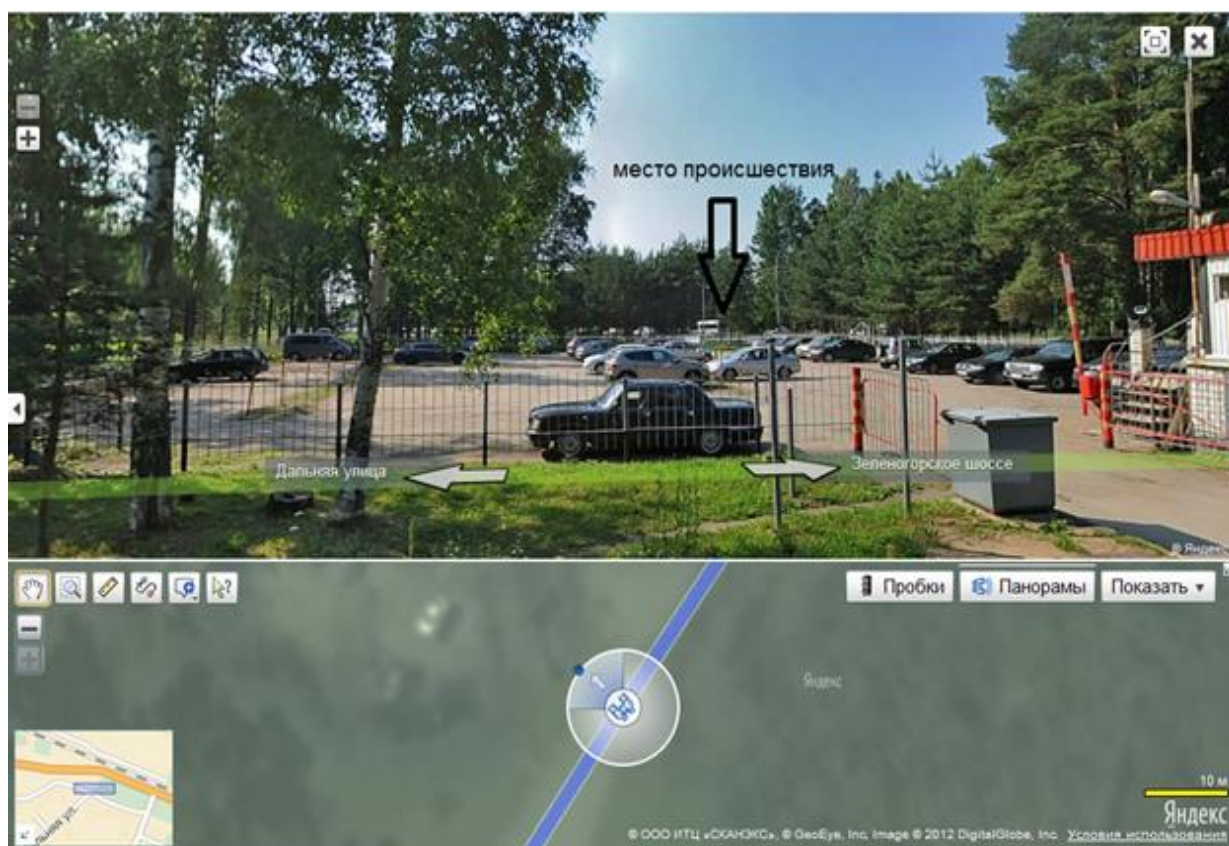


Рисунок 17 - Фотография повреждений автомобилей на открытой автостоянке



Рисунок 18 - Вид на автомобиль «Фольксваген Туарег» со стороны капота

На основании протокола осмотра места происшествия, схемы места пожара и фототаблицы к протоколу осмотра места пожара и осмотра места происшествия эксперт составил план-схему места происшествия с учётом направления ветра в день возникновения пожара. На автомобилях, приведённых на Рисунке 19, показаны зоны термических поражений. После анализа показаний очевидцев, погодных условий на день пожара и степени термических повреждений автомобилей можно предположить, что очаг пожара находился под капотом автомобиля Фольксваген Туарег в районе переднего колеса со стороны водителя.

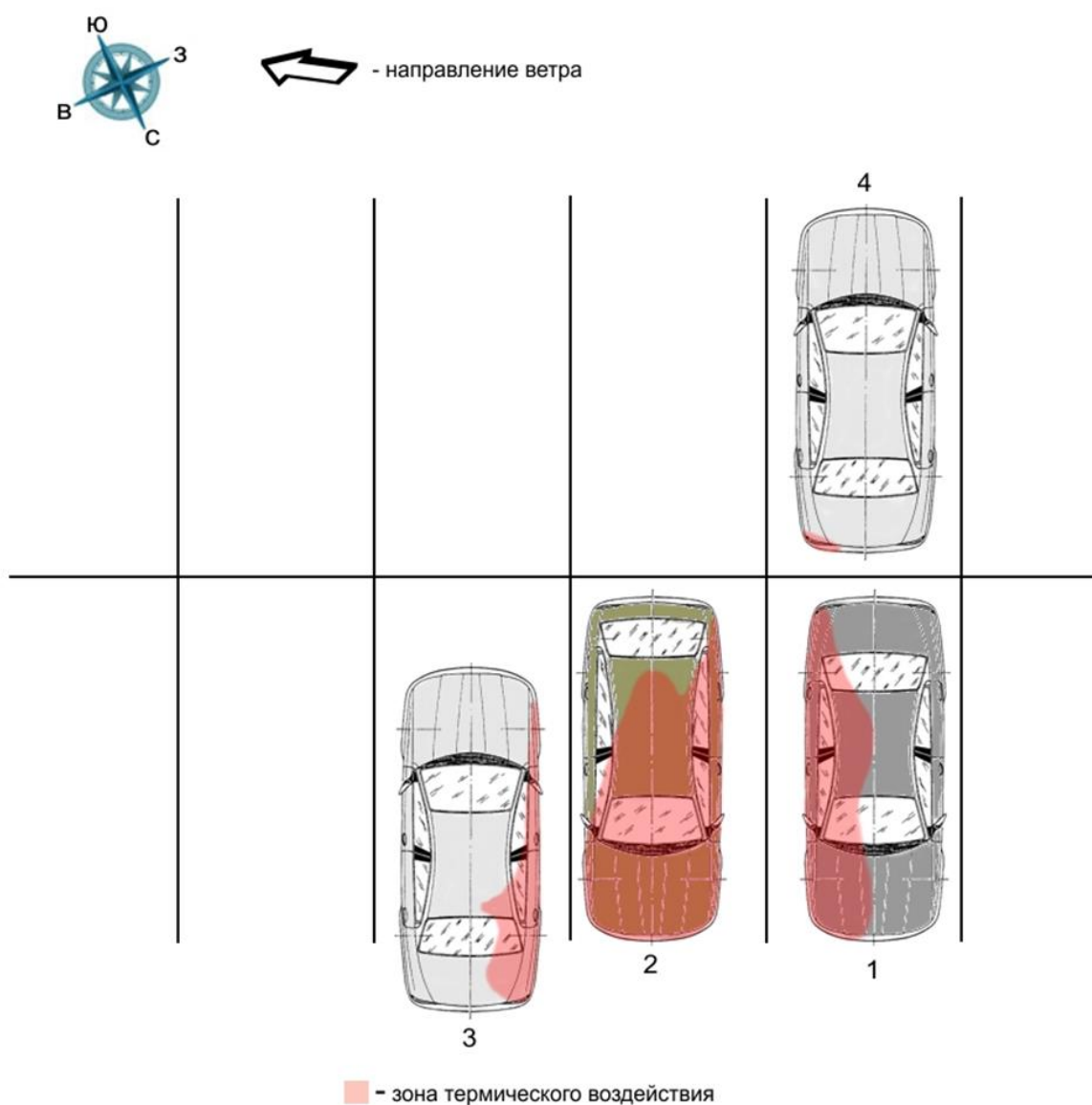


Рисунок 19 - Термические повреждения автомобилей на открытой автостоянке

Известно, что для возникновения горения необходимо наличие и взаимодействие трёх материальных объектов:

- источника зажигания;
- горючего вещества;
- окислителя.

Решение вопроса о причине пожара должно заключаться в установлении природы этих трёх объектов и, что не менее важно, порядка их взаимодействия. В первую очередь устанавливается источник зажигания или пожароопасный процесс, приведший к возникновению горения, так как в виде окислителя выступает кислород воздуха (которого в данном случае достаточно для нормального горения) и горючих веществ, находящихся в очаговой зоне.

Было проведено моделирование возникновения и развития пожара с помощью программы FireSim.

Результаты моделирования места происшествия на открытой автомобильной стоянке показали, что при предполагаемом нахождении очага пожара, который по мнению эксперта находился под капотом автомобиля Фольксваген Туарег в районе переднего колеса со стороны водителя, происходит совпадение с реальными термическими повреждениями автомобилей.

На Рисунке 20 представлены результаты моделирования, проведённого в ходе экспертизы по пожару на автостоянке, с использованием программы FireSim [74].

Моделирование ряда пожаров на открытых автостоянках показывает, что безопасная зона вокруг горящего автомобиля должна быть не менее 4-5 м.

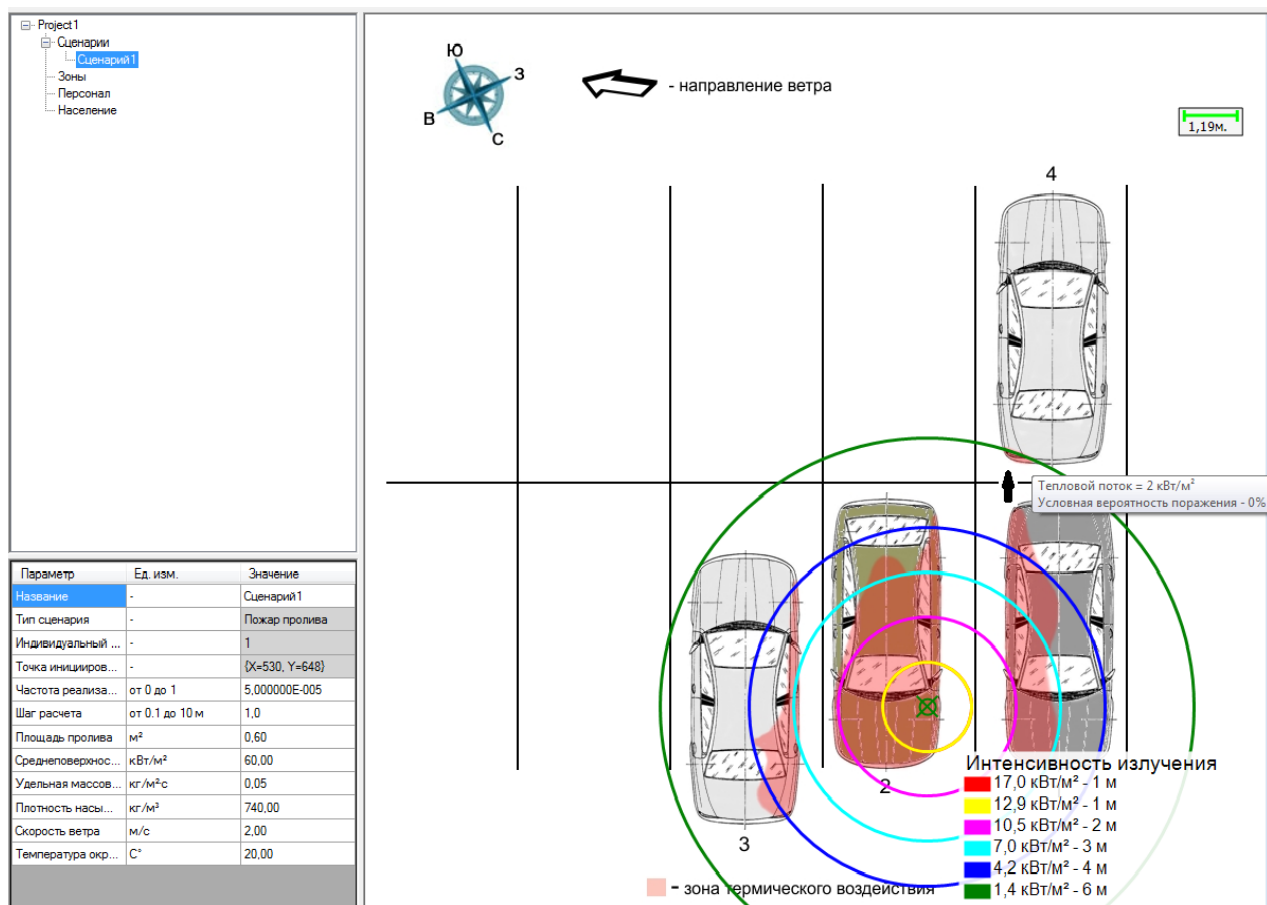


Рисунок 20 - Результаты моделирования места происшествия на автомобильной стоянке

Из результатов моделирования следует, что обеспечение пожарной безопасности на открытой автостоянке требует принятия решений, основанных в первую очередь на анализе связи развития процесса горения с характером структурирования пожарной нагрузки, так как ее расположение (заполнение автомобилями автостоянки) особенно сильно влияет на ход развития пожара. В настоящее время на автомобильных стоянках противопожарные расстояния между автомобилями не регламентируются. Однако анализ пожаров, экспериментальные исследования и математическое моделирование показывают, что оно должно находиться в пределах от 4 до 7 м. Понятно, что в случае принятия таких нормативов размеры автомобильных стоянок увеличатся на порядок, что приведёт к их нерентабельности.

2.3. Математическое моделирование источников зажигания автомобиля

Пожар относится к техническим процессам, в которых участвует источник зажигания, окислитель и пожарная нагрузка. Причём возникновение горения чаще всего зависит от случайных соотношений (во времени и пространстве) трёх вышеназванных факторов. Детерминированными моделями можно провести лишь проверочные расчёты, подтвердив возможность возникновения горения. Поэтому для анализа вероятности возникновения пожара перспективно применять стохастические математические модели. Конечно надо учитывать и эмпирические модели. Так возникновение горения при экспериментальном исследовании распределения пламени по пожарной нагрузке можно разделить на следующие этапы [78, 79]:

1. Зажигание (горение иницирующего состава (устройства));
2. Беспламенная термическая деструкция пожарной нагрузки;
3. Устойчивое пламенное горение (резкий переход от тления к активному горению в зоне возгорания);
4. Фаза перехода к полномасштабному пожару.

Как уже говорилось, для возникновения горения необходимо наличие и взаимодействие трёх материальных объектов (классического треугольника пожара) [20]:

- 1) источника зажигания;
- 2) горючего вещества;
- 3) окислителя.

Инициирование обычно осуществляется при помощи источника зажигания, формирующего тепловой импульс, который сообщается ограниченному участку поверхности состава. Пожар может возникнуть как вне автомобиля, так и внутри него, и стремительно распространяться в соответствии с факторами, рассмотренными в предыдущей главе.

Основные источники зажигания можно разделить на следующие группы:

Маломощные источники зажигания (тлеющие табачные изделия, раскалённые частицы, образующиеся при электрической и газовой сварке, резке, фрикционные искры, мелкие частицы горящего вещества);

Аварийные режимы в электроустановках (короткое замыкание, токовая перегрузка и т.п.);

Самовозгорание тепловое, микробиологическое, химическое;

Огневые работы (факелы пламени газовой горелки, паяльной лампы, пожароопасные факторы электросварочных работ);

Природные явления (разряды атмосферного электричества);

Нарушение технологических процессов;

Нагревательные и отопительные приборы;

Источники открытого огня (пламя спички, зажигалки, факела пламени и т.п. источников).

Воспламенением принято называть распространение горения по всей поверхности состава.

Для одного и того же состава горючего вещества скорость воспламенения зависит [78, 80]:

1) от степени измельчения компонентов: чем тоньше измельчение, тем больше общая поверхность состава и тем быстрее идет воспламенение;

2) от плотности состава: чем больше плотность, тем меньше становится общая поверхность состава (уменьшается количество пор) и тем труднее и медленнее происходит воспламенение;

3) от начальной температуры: чем она выше, тем легче и быстрее протекает воспламенение;

4) от внешнего давления: при его повышении скорость воспламенения сильно увеличивается; сжатые газы передают в этом случае больше тепла в единицу времени воспламеняемой ими поверхности;

5) от состава газовой фазы и, в частности, от содержания в ней кислорода, который активно участвует в процессах воспламенения многих пиротехнических составов.

Собственно, горением называют движение процесса в глубину.

Процесс горения характеризуется [81-83]:

1) наличием подвижной зоны реакции, имеющей высокую температуру (сотни и тысячи градусов) и отделяющей ещё не прореагировавшие (холодные) вещества от продуктов реакции;

2) отсутствием скачка давления в зоне реакции (в пламени), этим процессы горения существенно отличаются от процессов взрыва.

В процессах возникновения горения, независимо от их химической природы, основную роль играют критические явления и явления распространения зоны реакции. Критические явления характеризуются резким изменением режима протекания процесса при малом изменении внешних условий. Наиболее резко проявляется влияние температуры и свойства пожарной нагрузки.

Наиболее сложные процессы происходят при возникновении горения. При успешном зажигании возникает узкий очаг пламени, возникающий почти мгновенно и развивающийся при некоторых условиях в самораспространяющееся пламя. Однако при зажигании может наблюдаться и кратковременное локальное распространение пламени, которое затем охлаждается и гаснет. Условия, определяющие характер зажигания, зависят от характеристики источника зажигания, от пожарной нагрузки и от окислителя. Процесс зажигания длится с момента соприкосновения источника зажигания с пожарной нагрузкой и формирования очага пламени до установления режима устойчивого распространения пламени или прекращения горения. На Рисунке 21 приведены примеры успешного зажигания, а на Рисунке 22 - примеры неудачного зажигания.

Важность процесса возникновения горения в технических устройствах способствовала созданию различных моделей, позволяющих с необходимой точностью его описывать. Так называемое нулевое приближение включает описание химических реакций, изменение температуры, давления и состава реагентов во времени без изменения их массы. Оно соответствует процессам, происходящим в закрытом объёме, в который была помещена горючая смесь и нагрета выше температуры воспламенения. Одно-, двух- и трёхмерные модели уже включает в себя перемещение реагентов в пространстве. Количество измерений соответствует количеству пространственных координат в модели.

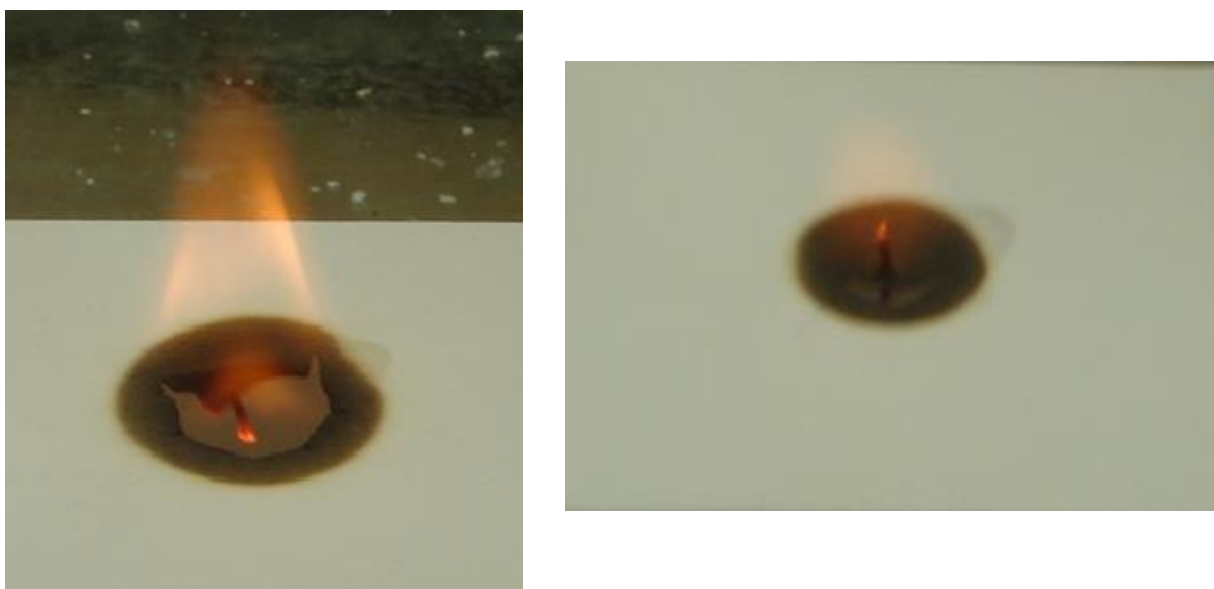


Рисунок 21 - Примеры успешного зажигания

Классические модели [78] пожара (интегральная, зонная и полевая) не позволяют исследовать сам момент поджигания (возникновения горения). Наибольшее применение находят методы стандартных испытаний. Получить полную картину пожарной опасности таким способом довольно сложно. Полномасштабные испытания являются дорогостоящими и трудоёмкими.



Рисунок 22 - Примеры неудачного зажигания

Количество проведенных на сегодняшний день натурных испытаний единично. Провести натурные испытания даже основных пожароопасных ситуаций с применением различных видов пожарной нагрузки также весьма сложно.

Для оценки возникновения горения рассмотрим математическую модель стохастического или вероятностного метода описания процессов на основе теории конечных цепей Маркова.

Цепь Маркова - последовательность случайных событий с конечным или бесконечным числом исходов, характеризующаяся тем свойством, что при фиксированном настоящем будущее независимо от прошлого, которое сформировало данное настоящее.

Конечной цепью Маркова называется процесс, который переходит из состояния в состояние с определённой вероятностью, так называемой вероятностью перехода. Число состояний конечно, а значение переходной вероятности полностью определяется тем, в каком состоянии находится процесс, то есть она является условной. Вероятности перехода образуют стохастическую матрицу P , номер строки которой указывает из какого состояния происходит переход, а номер столбца в какое состояние попадает

процесс в результате перехода. Все возможные пути процесса описываются степенями матрицы переходных вероятностей - P_n . Для переходной матрицы P существует собственный вектор α , такой что:

$$\alpha P = \alpha, \text{ где } \alpha = (\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_n).$$

Здесь n - число состояний моделируемого процесса. Собственный вектор - строка содержит такое же количество компонент, как и строка переходных вероятностей в матрице P , а их физический смысл - среднее время нахождения процесса в состоянии n . Рассмотрим Марковскую цепь событий, состоящую из трех состояний - S_1 , S_2 и S_3 . Поскольку других исходов процесса нет, то $S_1 + S_2 + S_3 = 1$.

Тогда процесс перехода из состояния в состояние имеет шесть событий, каждому из событий соответствует вероятность перехода. Обозначим их p_{11} , p_{12} , p_{13} , p_{21} , p_{22} , p_{23} , p_{31} , p_{32} и p_{33} .

Поскольку состояние либо переходит само в себя, либо в другое, то:

$$p_{11} + p_{12} + p_{13} = 1,$$

$$p_{21} + p_{22} + p_{23} = 1,$$

$$p_{31} + p_{32} + p_{33} = 1.$$

Соответствующая матрица переходных вероятностей процесса имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}.$$

Так как число этих состояний конечно, а значение вероятности перехода полностью определено состоянием, в котором процесс находится в данный момент времени, вероятность перехода является условной. Параметры Марковской модели могут быть определены экспериментально или с помощью каких-либо методов оценки переходных вероятностей. Для этого

могут применяться экспертные методы или расчёты с помощью традиционных детерминированных моделей расчёта опасных факторов пожара.

В процессе зажигания участвуют две составляющие: источник зажигания и пожарная нагрузка. Источник зажигания и пожарная нагрузка могут находиться в двух устойчивых состояниях. Первое устойчивое состояние, когда горение отсутствует, второе устойчивое состояние - состояние успешного горения. Известно [61], что между двумя устойчивыми состояниями существует промежуточный - режим тления. Процессы горения и затухания проходят через этот режим.

При анализе марковских процессов удобно использовать графы состояния. Каждому состоянию цепи Маркова на схеме (Рисунке 23) соответствует круг с номером состояния внутри него (вершина графа). Если из состояния в состояние возможен одношаговый переход, то вершины графа соединяются дугой со стрелкой.

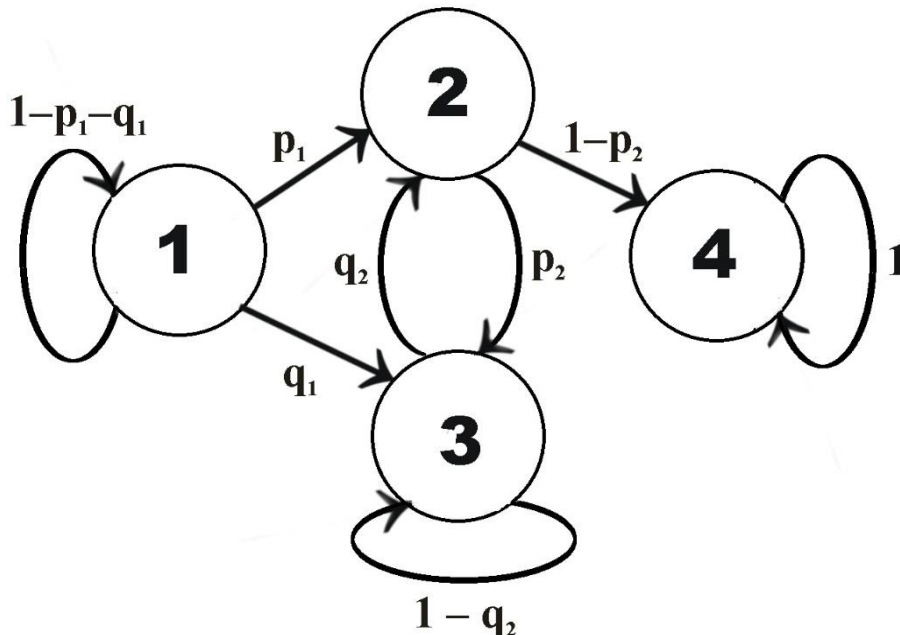


Рисунок 23 - Графы состояния Марковской модели зажигания

В предложенной модели зажигания вершине 1 соответствует источник зажигания. Источник зажигания может с вероятностью p_1 создать режим

тления, что соответствует вершине 2, с вероятностью q_1 привести к пламенному горению (вершина 3) или продолжать нагревать пожарную нагрузку с вероятностью $1-p_1-q_1$. Режим тления (вершина 2) может перейти в пламенное горение с вероятностью p_2 или полностью затухнуть (вершина 4) с вероятностью $1-p_2$. Пламенное горение (вершина 3) может перейти в режим тления с вероятностью q_2 или с вероятностью $1-q_2$ перейти в устойчивое пламенное горение. Режим прекращения горения (вершина 4) является поглощающим.

Тогда матрица переходных вероятностей будет выглядеть следующим образом:

$$P = \begin{vmatrix} 1-p_1-q_1 & p_1 & q_1 & 0 \\ 0 & 0 & p_2 & 1-p_2 \\ 0 & q_2 & 1-q_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где номер строки обозначает состояние, из которого происходит переход, а номер столбца - состояние, в которое процесс переходит

Удобно придать матрице P несколько иной, канонический вид, объединив все эргодические состояния в одну группу и все невозвратные состояния - в другую группу. Тогда каноническая форма [84] матрицы переходных состояний будет иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} S & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ R & \vdots & Q \end{pmatrix}.$$

Из теории Марковских цепей следует, что среднее время, которое проводит процесс в каждом состоянии, всегда конечно, и что эти средние времена определяются матрицей N , где

$$N = (I - Q)^{-1}$$

Вероятность прекращения пожара или перехода его в следующий режим определяется матрицей:

$$B = N * R.$$

Среднее время нахождения в каждом состоянии можно найти из матрицы:

$$\tau = N * E.$$

Предложенная модель возникновения горения позволяет, используя математический аппарат теории вероятности [84, 85], проанализировать условия, определяющие характер зажигания в зависимости от характеристики источника зажигания, пожарной нагрузки и окислителя. Процесс зажигания длится с момента соприкосновения источника зажигания с пожарной нагрузкой и формирования очага пламени до установления режима устойчивого распространения пламени или прекращения горения.

Таким образом, стохастическое моделирование процессов возникновения горения позволяет получить следующие важные результаты:

1. Определить относительное время возникновения устойчивого пламенного горения или прекращения горения в зависимости от пожарной нагрузки и условия воздухообмена.

2. Рассчитать вероятность возникновения тлеющего режима на определенных стадиях возникновения горения.

3. Оценить относительную вероятность склонности пожарной нагрузки к тлению или горению в случае возникновения пожара.

Эксперимент был произведён на базе лаборатории кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санк-Петербургского университета ГПС МЧС России.

2.4. Моделирование чрезвычайных ситуации на открытых автостоянках стохастическими методами

Практика показывает, что время горения транспортного средства среднего класса очень мало и не превышает 30 минут [78, 80, 84]. Поэтому время развития пожара связано со значениями показателей пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку транспортного средства. Для оценки места возникновения пожара и скорости развития горения предложена математическая модель на основе стохастического или вероятностного метода описания процессов. Такие методы успешно применяются в самых разнообразных областях науки и технической деятельности. Среди них, простотой и ясностью физического смысла выделяются модели, основанные на теории конечных цепей Маркова.

Для марковского процесса время пребывания системы подряд в каком-либо состоянии распределено по показательному закону; на самом деле это далеко не всегда бывает так. В параграфе 1.3.2. (Структурирование пожарной нагрузки) для описания распределения автомобилей на открытой автостоянке использовалось распределение Эрланга k – порядка E_k . То есть поток событий, переводящий систему из состояния в состояние является потоком отказов какого-то узла (возникновения горения автомобиля). При этом время пребывания автомобиля на открытой автостоянке представляет собой случайную величину, распределённую не по показательному, а по какому-то иному закону. Рассмотрим вопрос о том, можно ли приближённо заменять непуассоновские потоки пуассоновскими, и к каким ошибкам в

предельных вероятностях состояний может привести подобная замена при моделирования процесса развития пожара на открытой автостоянке [85-90].

Действительно, для марковской системы считается, что автомобиль в момент $t+\Delta t$ будет находиться в состоянии S_i , учитывая только то, в каком состоянии система была в момент t , и не учитывая, сколько времени она была в этом состоянии. Для немарковской системы этот приём уже непригоден: вычисляя вероятность перехода из одного состояния в другое за время Δt , нужно будет учитывать, сколько времени система уже провела в данном состоянии. Это приводит вместо обыкновенных дифференциальных уравнений, к уравнениям с частными производными, то есть к гораздо более сложному математическому аппарату, с помощью которого только в редких случаях можно получить нужные результаты.

В некоторых случаях можно немарковский процесс свести искусственно (хотя бы приближенно) к марковскому - если число состояний системы не очень велико, а отличающиеся от простейших потоки событий, участвующие в задаче, представляют собой (точно или приближенно) потоки Эрланга. Тогда, вводя в схему возможных состояний системы некоторые фиктивные «псевдо состояния» (этапы), удаётся свести немарковский процесс к марковскому и описать его с помощью алгебраических уравнений для предельных вероятностей состояний.

Таким образом, видно, что при $k \rightarrow \infty$ и дисперсия и среднее квадратическое отклонение стремятся к 0. Следовательно, при этом поток Эрланга неограниченно приближается к регулярному потоку с постоянным интервалом между событиями.

Это свойство потоков Эрланга удобно в практических целях: оно даёт возможность, задаваясь различными k , получать потоки, обладающие различным последствием – от полного отсутствия последствия (при $k=1$ поток Эрланга превращается в простейший поток) до жёсткой функциональной связи между моментами появления событий $k=\infty$.

Используя это обстоятельство, можно аппроксимировать полученные эмпирическим путём распределения распределениями Эрланга. Это делают, согласовывая характеристики реального потока (математическое ожидание и дисперсию интервала времени между событиями) с теми же характеристиками заменяющего потока Эрланга [89-91].

Например, если проведены измерения интервалов между событиями в потоке обслуживания или поступления заявок, и полученные данные достаточны только для оценок среднего значения и дисперсии, то можно подобрать одно распределение Эрланга с такими же значениями математического ожидания и дисперсии. Для этого определяют значения k и Λ :

Для примера рассмотрим расследование пожара на открытой автостоянке, приведённого в параграфе 2.2. Во время пожара пострадало четыре автомобиля, показанных на рис. 18 и 19. То есть исследуем пожарную опасность объекта, условно разделённого на четыре зоны (четыре автомобиля). Предположим, что в одном из автомобилей начинается пожар. Тогда возможны следующие ситуации или исходы процесса [92]:

1. пожар, начавшийся в одном из автомобилей, перейдёт в режим тления или потухнет из-за выгорания пожарной нагрузки или своевременного тушения;
2. пожар будет продолжаться в первом автомобиле;
3. горение перейдёт к следующему автомобилю.

Вероятность первого события обозначим p , вероятность того, что пожар будет продолжаться в i зоне - q и вероятность третьей ситуации обозначим как r . Поскольку других исходов процесса нет, то $p+q+r=1$. Такая конечная цепь Маркова, имеет следующие состояния:

- S_1 - пожар прекратился, в одной из зон,
- S_2 - выгорел весь объект,

S_3 - горит 4 зона,

S_4 - горит 3 зона,

S_5 - горит 2 зона,

S_6 - горит 1 зона.

Соответствующая матрица переходных вероятностей процесса имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p & r & q & 0 & 0 & 0 \\ p & 0 & r & q & 0 & 0 \\ p & 0 & 0 & r & q & 0 \\ p & 0 & 0 & 0 & r & q \end{pmatrix},$$

где номер строки обозначает состояние, из которого происходит переход, а номер столбца - состояние, в которое процесс переходит.

Будем считать, что пожар, перейдя из i зоны в j зону, назад не возвращается. То есть, состояния S_1 - S_6 принадлежат эргодическому множеству, в котором можно из любого состояния попасть в любое, и из которого, попав в него, нельзя уйти [7]. Рассмотрим поглощающие цепи Маркова - цепи, все эргодические состояния которых являются поглощающими, то есть состояния, попав в которые, нельзя из них выйти.

В любой поглощающей конечной цепи Маркова, независимо от того, где начался процесс, вероятность после n шагов оказаться в невозвратном эргодическом состоянии стремится к 1 при $n \rightarrow \infty$. Под невозвратными состояниями в теории цепей Маркова следует понимать такое множество

состояний, в которых можно из любого состояния попасть в любое и из которого можно выйти.

Удобно придать матрице P несколько иной - канонический вид, объединив все эргодические состояния в одну группу и все невозвратные состояния - в другую группу. Тогда каноническая форма будет:

$$P = \begin{pmatrix} S & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ R & \vdots & Q \end{pmatrix}.$$

Подматрица S размерности 2×2

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

относится к процессу после достижения пожаром поглощающего состояния, подматрица 0 размерностью 4×2 составлена целиком из нулей, подматрица R размерности 2×4

$$R = \begin{pmatrix} p & r \\ p & 0 \\ p & 0 \\ p & 0 \end{pmatrix}$$

отвечает переходам из невозвратных в эргодические состояния, подматрица Q размерности 4×4

$$Q = \begin{pmatrix} q & 0 & 0 & 0 \\ r & q & 0 & 0 \\ 0 & r & q & 0 \\ 0 & 0 & r & q \end{pmatrix}$$

описывает поведение процесса до выхода из множества невозвратных состояний.

Поведение процесса описывается возведением переходной матрицы в следующую степень. При возведении матрицы P во все более высокие степени все элементы подматриц Q стремятся к 0. Подматрица $S=I$, то есть представляет собой единичную матрицу. Из определения произведения матриц следует, что при возведении матрицы P в степень, подматрица I не меняется.

Из теории Марковских цепей следует, что среднее время, которое проводит процесс в каждом состоянии, всегда конечно, и что эти средние времена определяются матрицей N , где

$$N = (I - Q)^{-1}.$$

Учитывая, что $p+q+r=1$ и полагая $t=r/(p+r)$, получаем:

$$N = \frac{1}{(p+r)} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ t & 1 & 0 & 0 \\ t^2 & t & 1 & 0 \\ t^3 & t^2 & t & 1 \end{pmatrix}.$$

Дисперсия, тех же случайных величин, определяется матрицей:

$$N_2 = \frac{1}{(p+r)^2} \begin{pmatrix} q & 0 & 0 & 0 \\ qt+t-t^2 & q & 0 & 0 \\ qt^2+t^2-t^4 & qt+t-t^2 & 1 & 0 \\ qt^3+t^3-t^6 & qt^2+t^2-t^4 & qt+t-t^2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Среднее время горения каждой зоны можно найти из матрицы:

$$\tau = \frac{1}{p} \begin{pmatrix} 1-t \\ 1-t^2 \\ 1-t^3 \\ 1-t^4 \end{pmatrix},$$

а дисперсию

$$\tau = \frac{1}{p(p+r)} \begin{pmatrix} q(1-t) \\ q(1-t^2)+t-2t^2+t^3 \\ q(1-t^3)+t+t^2-4t^3+t^4+t^5 \\ q(1-t^4)+t+t^2+t^3-6t^4+t^5+t^6+t^7 \end{pmatrix}.$$

Вероятность прекращения пожара или перехода в следующую зону определяется:

$$B = \begin{pmatrix} 1-t & t \\ 1-t^2 & t^2 \\ 1-t^3 & t^3 \\ 1-t^4 & t^4 \end{pmatrix}.$$

Для примера рассмотрим вариант, когда вероятность того, что пожар в одной из зон прекратиться $p=0,3$, вероятность продолжения пожара в данной зоне $q=0,1$ и вероятность перехода горения в следующую зону $r=0,6$.

Тогда:

$$N = \begin{pmatrix} 1,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0,937 & 1,25 & 0 & 0 \\ 0,703 & 0,937 & 1,25 & 0 \\ 0,527 & 0,703 & 0,937 & 1,25 \end{pmatrix}.$$

Вероятность того, что объект выгорит полностью, то есть выгорят все четыре зоны, зависит только от отношения $r/(p+r)$. Это отношение представляет собой вероятность того, что пожар перейдет в следующую зону (а не прекратит горение в данной зоне) при условии, что пожарная нагрузка в этой зоне выгорит полностью (горение в данной зоне не возобновиться). При этом не накладывается никаких ограничений на время горения в каждой зоне. Нули матрицы N показывают, что в выгоревших зонах пожар не возобновится. В соответствии с нижней строкой фундаментальной матрицы N следует, что если пожар начался в первой зоне и в этой же зоне прекратился, то среднее время пожара будет составлять 1,25 единиц времени. Если пожар перешел во вторую зону и в этой зоне потух, то получаем среднее время пожара во второй зоне, которое составит 1,25 единиц времени (вторая строка снизу матрицы N). При переходе горения в третью зону (нижняя строка матрицы N) среднее время горения во второй зоне будет 0,937 единиц времени. То есть при полном выгорании объекта, начавшего гореть из первой зоны, первая зона будет гореть 1,25, вторая - 0,937, третья - 0,703 и четвертая - 0,527 единицы времени.

$$N_2 = \begin{pmatrix} 0,313 & 0 & 0 & 0 \\ 0,527 & 0,313 & 0 & 0 \\ 0,56 & 0,527 & 0,313 & 0 \\ 0,513 & 0,56 & 0,527 & 0,313 \end{pmatrix},$$

наибольшая дисперсия при любом начальном состоянии возрастает при переходе пожара из зоны в зону.

$$\tau = \begin{pmatrix} 1,25 \\ 2,188 \\ 2,891 \\ 3,418 \end{pmatrix}, \quad \tau_2 = \begin{pmatrix} 0,313 \\ 0,84 \\ 1,84 \\ 3,259 \end{pmatrix},$$

среднее время горения тем больше, чем больше число переходов пожара из зоны в зону, причём дисперсия среднего времени горения первой зоны гораздо больше, чем второй.

$$B = \begin{pmatrix} 0,25 & 0,75 \\ 0,438 & 0,562 \\ 0,578 & 0,422 \\ 0,684 & 0,316 \end{pmatrix},$$

то есть при переходе пожара в третью зону вероятность выгорания всего объекта становится больше 50 %.

Таким образом, стохастическое моделирование процессов горения позволяет получить следующие важные результаты:

1. Определить относительное время достижения полного выгорания объекта или его зон в зависимости от пожарной нагрузки и условия воздухообмена.
2. Рассчитать вероятность прекращения горения на определённых стадиях в каждой зоне горения.

3. Оценить относительную вероятность повреждения или утраты материальных ценностей в рассматриваемых зонах в случае возникновения пожара.

Стохастическая модель с использованием цепей Маркова позволяет исследовать пожарную безопасность на открытых автостоянках варьируя вероятностями развития переходов из заданных состояний. Для того, чтобы уменьшить числовой диапазон вероятностей перехода из одного состояния в другое, следует ограничить параметры Марковской модели.

Параметры Марковской модели могут быть определены экспериментально или с помощью каких-либо экспертных методов оценки переходных вероятностей. Для этого могут применяться экспертные методы или расчёты с помощью традиционных моделей, например метода Делфи [93-95].

В данной работе предлагается одна из возможных экспериментальных методик оценки параметров процесса горения.

Поскольку Марковская цепь событий представляет собой процесс перехода из состояния в состояние, то при ее разработке первой задачей является отождествление модельного состояния с состоянием процесса горения пожарной нагрузки. Так как горение в большой степени зависит от способа распределения горючего материала в пространстве, что по умолчанию предполагается во всех способах оценки пожарной опасности, то в качестве модельного объекта был выбран пустотелый куб. Используя кубы одинакового размера можно имитировать простейшее структурированное распределение горючего в пространстве. С технической точки зрения достоинством кубического модуля является постоянство удельной пожарной нагрузки для любого размера стороны куба. Это позволяет сохранять постоянным значение важного параметра при моделировании процессов горения. Выбор оптимального модуля моделирующего пожарную нагрузку различных объектов рассмотрен в работах [86, 92, 94,96].

При исследовании простейшего случая - горения четырёх соприкасающихся модулей, следует различать время горения первого модуля τ_1 , модуля, который поджигается извне, время горения первого и второго модуля одновременно τ_2 и время горения только второго модуля τ_3 и т.д.

В эксперименте четыре модуля с длиной грани 7,5 см и массами равными 7,86, 8,13, 8,05 и 8,13 грамма устанавливаются вплотную друг к другу на теплоизоляционную платформу в металлическом вытяжном шкафу. Инициатор горения поджигается при помощи открытого пламени. Стадии горения модулей представлена на Рисунке 24. Усреднённые времена горения соприкасающихся модулей показано в Таблице 7.

Таблица 7 - Усреднённые времена горения соприкасающихся модулей

Кол-во модулей	$\tau_1 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_2 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_3 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_4 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_5 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_6 \pm \Delta$, (сек.)	$\tau_7 \pm \Delta$, (сек.)
4	$39,8 \pm 12,2$	$44,2 \pm 7,8$	$4,8 \pm 4,2$	$34,6 \pm 10,4$	$5,2 \pm 2,8$	$35,2 \pm 11,8$	$31,2 \pm 13,2$

Рассмотрим Марковскую модель развития горения для четырёх соприкасающихся модулей.

Для такого процесса существует матрица переходных вероятностей P:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & 0 \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix}.$$



Рисунок 24 - Пример горения четырёх соприкасающихся модулей

$$\alpha=(\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4).$$

По полученным временам $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ были рассчитаны значения переходных вероятностей:

$$\alpha_1 = \frac{\tau_1 + \frac{1}{2}\tau_2}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7} =$$

$$= \frac{39,8 + 22,1}{39,8 + 44,1 + 4,8 + 34,6 + 5,2 + 35,2 + 31,2} = \frac{61,9}{194,9} = 0,31 ;$$

$$\alpha_2 = \frac{\frac{1}{2}\tau_2 + \tau_3 + \frac{1}{2}\tau_4}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7} = \frac{22,1 + 4,8 + 17,3}{194,9} = \frac{83,6}{194,9} = 0,23 ;$$

$$\alpha_3 = \frac{\frac{1}{2}\tau_4 + \tau_5 + \frac{1}{2}\tau_6}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7} = \frac{17,3 + 5,2 + 17,6}{194,9} = 0,21 ;$$

$$\alpha_4 = \frac{\frac{1}{2}\tau_6 + \tau_7}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7} = \frac{17,6 + 31,2}{194,9} = 0,25 ;$$

$$P_{11} = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \frac{1}{2}\tau_2} = \frac{39,8}{39,8 + 22,1} = \frac{39,8}{61,9} = 0,64 ;$$

$$P_{12} = \frac{\frac{1}{2}\tau_2}{\tau_1 + \frac{1}{2}\tau_2} = \frac{22,1}{61,9} = 0,36 ;$$

$$P_{21} = \frac{\frac{1}{2}\tau_2}{\frac{1}{2}\tau_2 + \tau_3 + \frac{1}{2}\tau_4} = \frac{22,1}{22,1 + 4,8 + 18,2} = \frac{22,1}{45,1} = 0,49 ;$$

$$P_{22} = \frac{\tau_3}{\frac{1}{2}\tau_2 + \tau_3 + \frac{1}{2}\tau_4} = \frac{4,8}{45,1} = 0,11 ;$$

$$P_{23} = \frac{\frac{1}{2}\tau_4}{\frac{1}{2}\tau_2 + \tau_3 + \frac{1}{2}\tau_4} = \frac{18,2}{45,1} = 0,40;$$

$$P_{32} = \frac{\frac{1}{2}\tau_4}{\frac{1}{2}\tau_4 + \tau_5 + \frac{1}{2}\tau_6} = \frac{18,2}{18,2 + 5,2 + 17,6} = \frac{18,2}{41} = 0,44;$$

$$P_{33} = \frac{\tau_5}{\frac{1}{2}\tau_4 + \tau_5 + \frac{1}{2}\tau_6} = \frac{5,2}{41} = 0,13;$$

$$P_{34} = \frac{\frac{1}{2}\tau_6}{\frac{1}{2}\tau_4 + \tau_5 + \frac{1}{2}\tau_6} = \frac{17,6}{41} = 0,43;$$

$$P_{43} = \frac{\frac{1}{2}\tau_6}{\frac{1}{2}\tau_6 + \tau_7} = \frac{17,6}{17,6 + 31,2} = \frac{17,6}{48,8} = 0,36;$$

$$P_{44} = \frac{\tau_7}{\frac{1}{2}\tau_6 + \tau_7} = \frac{31,2}{48,8} = 0,64;$$

$$P = \begin{pmatrix} 0,64 & 0,36 & 0 & 0 \\ 0,49 & 0,11 & 0,40 & 0 \\ 0 & 0,44 & 0,13 & 0,43 \\ 0 & 0 & 0,36 & 0,64 \end{pmatrix};$$

$$\alpha = (0,31 \ 0,23 \ 0,21 \ 0,25).$$

Видно, что вероятности перехода сближаются для модулей, находящихся в одинаковом окружении. Это экспериментально подтверждает применимость конечной цепи Маркова для описания процесса распространения пожара по структурированной пожарной нагрузке.

Для экспериментальной оценки параметров Марковской модели можно использовать структурные модули в виде куба.

2.5. Использование теории перколяции для исследования развития чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках

Существует множество объектов, в которых расположение компонентов весьма важно поскольку влияет на развитие процессов на отдельных кластерах и в конечном итоге во всей системе. Такой системой можно представить открытый объект хранения автотранспорта (Рисунок 25).

При анализе сложных объектов, как и в теории графов, исследуются параметры отдельных узлов, параметры сети в целом, сетевые подструктуры.

Для расчёта индексов системы в целом используют такие параметры, как число узлов, число рёбер, расстояние между узлами, среднее расстояние от одного узла к другим, плотность - отношение количества рёбер в кластере к возможному максимальному количеству рёбер при данном количестве узлов, количество симметричных, транзитивных и циклических триад, диаметр сети, наибольшее геодезическое расстояние в сети и т.д. [96-100].

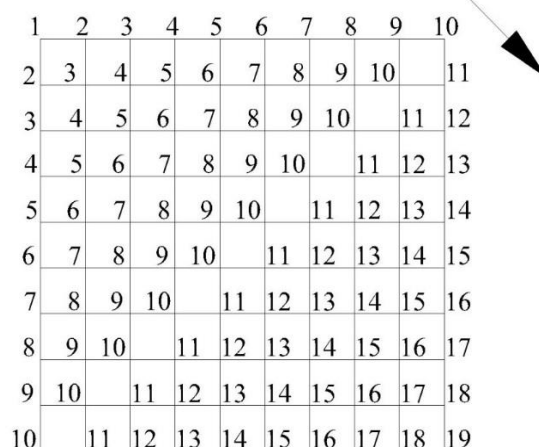


Рисунок 25 - Пример полной загрузки автомобилями на открытой автостоянке

Коэффициент кластерности для отдельного узла сети определяется следующим образом. Пусть из узла выходит k рёбер, которые соединяют его с k другими узлами, ближайшими соседями. Если предположить, что все ближайшие соседи соединены непосредственно друг с другом, то количество рёбер между ними составляло бы $1/2 k(k-1)$, то есть это число, которое соответствует максимально возможному количеству рёбер, которыми могли бы соединяться ближайшие соседи выбранного узла. Отношение реального количества рёбер, которые соединяют ближайших соседей данного узла, к максимально возможному (такому, при котором все ближайшие соседи данного узла были бы соединены непосредственно друг с другом) называется коэффициентом кластерности узла. Естественно, эта величина не превышает единицы.

Коэффициент кластерности может определяться как для каждого узла, так и для всего объекта. Уровень кластерности всей системы определяется как нормированная по количеству узлов сумма соответствующих коэффициентов отдельных узлов.

Для примера рассмотрим распространение пожара на открытой автостоянке на симметричной диагональной решётке. На Рисунке 26 показана диагональная решётка, имеющая единственную точку начала процесса распространения пожара и точку достижения окончания горения при условии отсутствия тушения. Графически это можно изобразить следующим образом.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Рисунок 26 - Графическое представление диагональной решётки с направленным распространением

Здесь 1 обозначает точку старта процесса, 19 его финиш, а стрелка указывает направление его движения.

Такое распространение пожара по открытой автостоянке может быть представлено в виде дерева и соответственно соотнесено при определённых приближениях с марковской цепью.

Рассмотрим следующую решетку с направленным распространением и идентифицируем все узлы на Рисунке 27.

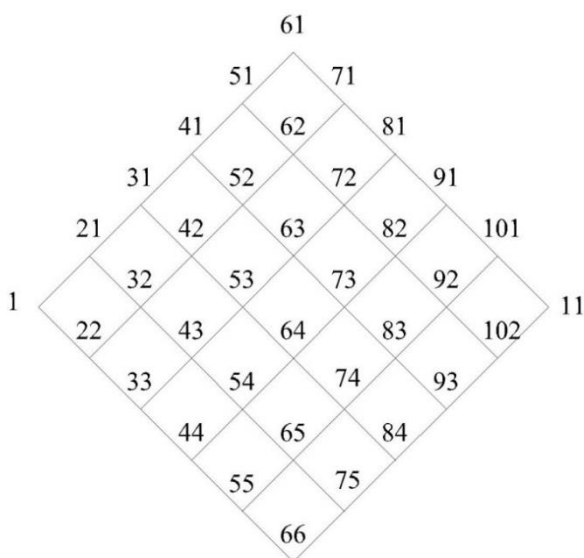


Рисунок 27. Диагональная решётка со всеми идентифицированными узлами

Для данной решётки можно выделить эквивалентные узлы, например:

21, 31, 41, 51, 22, 33, 44, 55;

следующий тип узлов:

32, 42, 52, 43, 54;

еще один тип эквивалентных узлов:

53, 63, 64.

Во второй половине решётке эквивалентные узлы соответственно:

71, 81, 91, 75, 84, 93 и т.д.

При предположении, что связи эквивалентны, можно рассчитать время достижения процессом любого узла.

В Таблице 8 приведены значения финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток. Из таблицы следует, что монотонно убывает, а значения и колеблются в противоположных направлениях. Зависимости финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток показаны на Рисунке 28.

Таблица 8 - Значения финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток

Тип решётки Финаль ные вероятности	9 узлов	16 узлов	25 узлов	36 узлов	49 узлов	64 узла	100 узлов	144 узла	324 узла
α_1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{21}$	$\frac{1}{28}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{91}$	$\frac{1}{153}$
α_2	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{4,5}{10}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{7,5}{21}$	$\frac{9}{28}$	$\frac{12}{45}$	$\frac{18}{91}$	$\frac{24}{153}$
α_3	$\frac{1}{6}$	$\frac{2}{6}$	$\frac{4,5}{10}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{12,5}{21}$	$\frac{18}{28}$	$\frac{32}{45}$	$\frac{72}{91}$	$\frac{128}{153}$



Рисунок 28 - Зависимости финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток

Таким образом, распространение марковского процесса на конечных перколяционных решётках показывает, что с ростом количества узлов симметричной решетки вероятность финального нахождения процесса в вершинах решётки стремиться к нулю, установление в центральных узлах возрастает. Это объясняется тем, что узловое узлы имеют постоянное значение (для решетки 4), а количество внутренних узлов возрастает в квадратичной зависимости.

Проведем нормирование коэффициентов вероятности финального нахождения процесса в одном из трех рассматриваемых узлов. Пусть $\bar{\alpha}_1 = \frac{1}{n} \alpha_1$, $\bar{\alpha}_2 = \frac{1}{m} \alpha_2$, $\bar{\alpha}_3 = \frac{1}{k} \alpha_3$ где n – количество узлов первого типа (4), m – количество узлов второго, а k – количество узлов третьего типа. Тогда условие нормировки финальных вероятностей, отнесённых к одному узлу, принимает вид:

$$1 = n\bar{\alpha}_1 + m\bar{\alpha}_2 + k\bar{\alpha}_3.$$

В Таблице 9 представлены значения таких отнесённых к одному узлу вероятностей.

Таблица 9 - Значения нормированных финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток

Тип решётке Финальные вероятности	9 узлов	16 узлов	25 узлов	36 узлов	49 узлов	64 узлов	100 узлов	144 узлов	324 узлов
$\bar{\alpha}_1$	0,083	0,041	0,025	0,016	0,012	0,009	0,005	0,003	0,0018
$\bar{\alpha}_2$	0,125	0,125	0,037	0,025	0,018	0,013	0,008	0,005	0,0025
$\bar{\alpha}_3$	0,167	0,083	0,05	0,033	0,024	0,017	0,011	0,008	0,0033

Зависимости нормированных финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток показаны на Рисунках 29, 30.

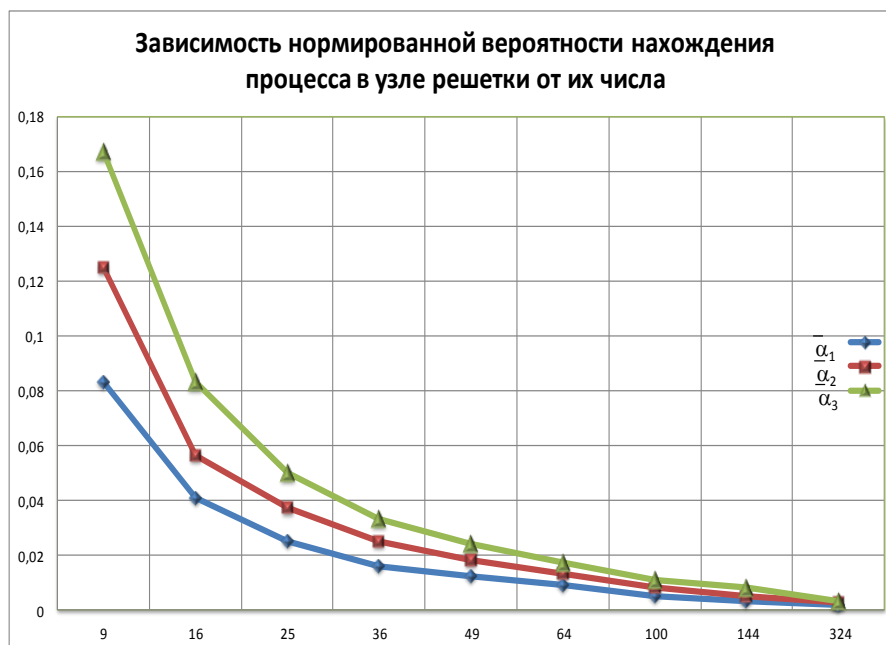


Рисунок 29 - Зависимости нормированных финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток

Графические зависимости финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток можно интерпретировать как структуру пожарной нагрузки в каждом типе узла. Так, поскольку для решёток существует предположение об эквивалентности связей, то их одинаковую огнепроводимость обеспечивает разное количество пожарной нагрузки. Для узлов с двумя связями пожарная нагрузка меньше, чем для узлов с тремя, которая, в свою очередь, меньше, чем для узлов с четырьмя связями. Следовательно, для решёточных моделей пожарную нагрузку в пространстве можно моделировать количеством связей, выходящих из узла, который характеризует её положение в пространстве.

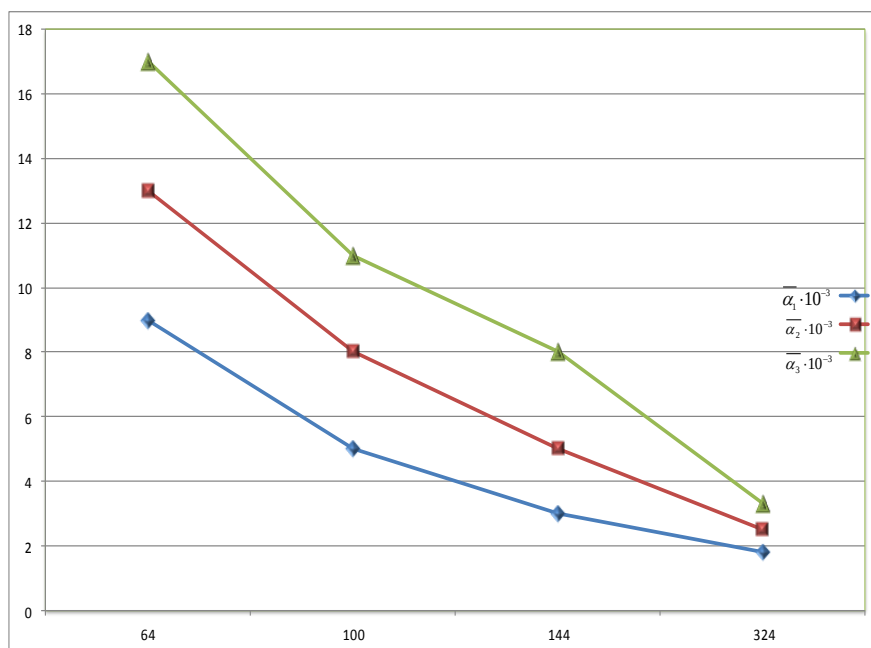


Рисунок 30 - Зависимости нормированных финальных вероятностей марковских процессов для различных симметричных квадратных решёток

Если в системе слишком мало рёбер, то есть средняя степень ее вершин достаточно мала, то в ней присутствует много изолированных узлов и кластеров из немногочисленных узлов. При добавлении рёбер в такую сеть (например, установление новых связей, добавление пожарной нагрузки и т.п.) небольшие кластеры объединяются в большие.

По достижении некоторого критического уровня, характеризующего порог протекания системы, большая часть вершин будет объединена в кластер, размер которого сопоставим с количеством узлов системы, то есть вся сеть станет проводящей.

Этот эффект - фазовый переход описывается как «появление гигантского кластера» [58].

Существующие математические модели такого поведения сетевых структур позволяют оценить пожарную опасность на открытых автостоянках, сведя ее к перколяционной задаче [101-107]. Как правило, в рамках этой задачи рассматривается решётка из N проводящих элементов, после чего рассчитывается проводимость всей решётки при удалении отдельных ее элементов. Каждый пожар представляет собой единственную в своём роде ситуацию, определяемую различными событиями и явлениями, носящими случайный характер. Поэтому точно предсказать развитие пожара во всех деталях не представляется возможным.

Детерминированные модели пожаров вводят большое количество допущений, усреднений и приближений, чтобы с помощью дифференциальных уравнений приближённо описать процесс распространения пожара [103, 108]. Также, процесс развития пожара можно изучить на решётках, покрывающих исследуемую область с использованием марковских моделей. Однако в практике часто требуется проанализировать связь развития горения с расположением пожарной нагрузки. Для этого рассмотрим физические закономерности развития пожара с помощью решётки, рассматривая процесс распространения (протекания) пламени сквозь определенную среду [103]. Такой процесс протекания называется перколяцией (от англ. percolation - просачивание).

Обычно [107-143] перколяционную модель рассматривают для решеточной системы, хотя она может быть применена к произвольным сетям, конечным и бесконечным графам и т.д. Существует целый ряд различных

типов плоских решёток, основными из которых являются квадратная, треугольная и шестиугольная [144-147].

Теория перколяции (протекания) имеет дело с образованием связанных объектов в неупорядоченных средах (случайных средах). Большинство результатов теории перколяции получено в результате компьютерного моделирования.

При классическом подходе перколяционный процесс обычно рассматривают на различных типах решеток в различных пространствах, узлы которой «заняты» независимо друг от друга некоторыми объектами. В роли таких объектов может выступать структурированная пожарная нагрузка - автомобили на стоянках, объекты промышленности, частные дома, лесные массивы и т.д. Доля незанятых («пустых») узлов решетки равна $1-p$. При этом требуется определить образуют ли занятые узлы непрерывный путь от нижнего края решетки до верхнего. Под непрерывным понимается путь, соединяющий один занятый узел решетки с соседним занятым узлом решетки. Соседними считаются узлы, расположенные в непосредственном соседстве с четырёх сторон. Если такой путь существует, то говорят, что решетка перколирует. Наименьшая плотность x занятых узлов, при которой бесконечная решетка перколирует, является критической плотностью или порогом перколяции x_c . Перколяционный процесс, обычно рассматривают на различных типах решеток в различных пространствах.

При исследовании перколяции вводится понятие кластера, под которым понимается совокупность связанных узлов. Ими могут быть как удаленные (блокированные) узлы, так и узлы, участвующие в передаче огня. Если $x < x_c$, то в системе есть только кластеры из конечного числа узлов, и поэтому развитие пожара будет локализовано и горение прервётся. При $x > x_c$, обязательно появятся узлы, принадлежащие бесконечному кластеру. Этот бесконечный кластер обеспечит отличную от нуля и не зависящую от

размеров системы удельную величину распространения опасных факторов чрезвычайных ситуаций $\sigma(x)$.

Распределение кластеров по размерам подчиняется степенному закону [147-156]. Причем отношение числа кластеров одного размера к числу кластеров другого размера не зависит от размеров кластера. Таким образом, перколяционные кластеры самоподобны (не зависят от масштаба) на интервале от шага решетки до размера всей решетки.

Рассмотрим функцию $P(x)$ и отношение $\sigma(x)/\sigma(1)$, где $\sigma(1)$ – распространение горения по пожарной нагрузке при $x=1$, то есть без блокированных узлов. Для конечной сетки любого размера обе функции обращаются в 0 в одной и той же точке, которая была названа (для конечного кластера) порогом протекания, а при бесконечном увеличении сетки обозначает точку, где возникает бесконечный кластер. Это можно проиллюстрировать графиком на Рисунке 31.

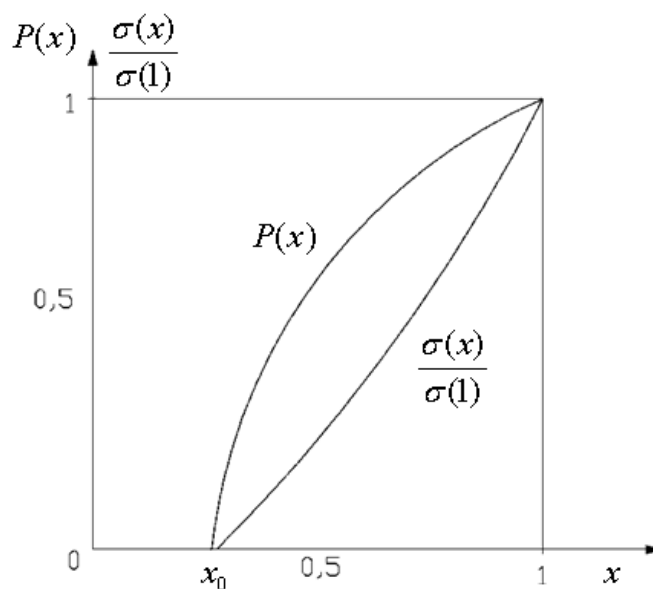


Рисунок 31 - Графики функций, где обе функции обращаются в нуль
в одной точке $P(x) \frac{\sigma(x)}{\sigma(1)}$

Приведённый график иллюстрирует перколяцию неплоской сетки, а объёмной (трёхмерной) решётки. Для плоской решётки значение x_c было бы равно 0,59. Для простой кубической решётки $x_c=0,31$.

В результате исследования перколяционных процессов [155-157] были установлены эмпирические зависимости вида:

$$P_{СК}(x) = k(x - x_c)^{2\nu},$$

где $P_{СК}(x)$ - функция, представляющая долю узлов, принадлежащих скелету бесконечного кластера; ν - эмпирический коэффициент; k - коэффициент пропорциональности.

Приведённую зависимость можно представить в виде отношения:

$$\frac{P_{СК}(x)}{P(x)} = k(x - x_c)^{\nu-\beta},$$

в двумерном случае, а в трёхмерном случае:

$$\frac{P_{СК}(x)}{P(x)} = k(x - x_c)^{2\nu-\beta}.$$

где β - эмпирический коэффициент для зависимости $P(x)$.

При исследовании проводимости двумерных и трёхмерных сеток с заблокированными узлами экспериментально найдено [150], что удельная величина распространения огня подчиняется закону:

$$\sigma(x) = \sigma_0(x - x_0)^t,$$

где множитель σ_0 равен удельной величине распространения огня без заблокированных узлов. Величина t является критическим индексом величины распространения огня. Установлено, что для двумерных сеток $t=1,3$, а для трёхмерных $t=1,6 \div 1,7$.

Рассмотренные в уравнениях индексы P , ν , β , t описывают критическое поведение различных величин в окрестности порога протекания. Для каждого из индексов существует по крайней мере два значения: для двумерной и трёхмерной задач. Согласно современным представлениям критические индексы для всех задач в пространстве с одной размерностью одинаковы.

Приведённое обстоятельство постоянства критических индексов связано с тем, что они определяются структурой кластеров в окрестности порога протекания. Основную роль в этом случае играют геометрические свойства кластеров, проявляющиеся на значительных расстояниях по сравнению с размерами элементарной ячейки. Поэтому геометрия кластеров не зависит от того на какой решётки задана задача. Задача может быть задана на узлах, расположенных случайным образом в пространстве, и это не повлияет на значение критических индексов. Однако размерность пространства сильно сказывается на геометрии кластеров. По этим причинам критические индексы не зависят от типа задачи, но зависят от размерности пространства.

Пороги протекания существенно зависят от типа задач, а критические индексы обладают определенной универсальностью. Следовательно, если результаты физического эксперимента трактуются с помощью теории перколяции, а микроскопическая структура исследуемой системы не вполне адекватна, то следует сравнивать критические индексы, так как для пространства одной размерности они фактически не от чего не зависят.

Таким образом, теория перколяции позволяет связать очень большое количество объектов, при условии, что связь каждого объекта со своими соседями носит случайный хаарактер. Таким образом, данный метод расчёта вероятности развития чрезвычайной ситуации подходит для моделирования распространения пожаров на открытых объектах хранения автотранспорта.

Пусть $P_{CB}(x)$ – вероятность того, что выбранный наугад узел принадлежит бесконечному кластеру. Если $x < x_c$, то бесконечный кластер прекращает свое существование, то есть $P_{CB}(x)=0$. Если же $x > x_c$, то

выбранный узел может принадлежать и конечному и бесконечному кластеру, то есть $0 < P_{CB}(x) < 1$.

Задача узлов является более общей, чем задача связей. Задача связей сводится к задаче узлов, но на другой решетке, которая называется покрывающей. Покрывающая решетка строиться из исходной по следующим правилам:

- посередине каждой связи исходной решетки нужно поставить узел покрывающей;
- два узла покрывающей решетки нужно связать друг с другом в том и только в том случае, если связи исходной решетки, на которых поставлены эти два узла, сходятся в узле исходной решетки.

Рассмотрим все пути длиной n случайного блуждания без самопересечений от данного узла. Каждый путь может быть продолжен на один шаг $z-1$ способами. Таким образом, путей из $n+1$ шагов в $z-1$ раза больше чем путей из n шагов. Следовательно, $\mu \leq z-1$.

Для решения данной задачи используется решёточная модель. Рассматривается решётка, состоящая из узлов и связей между ними. Каждому узлу задаётся число $p_{i,j}$ в интервале $[0; 1]$, которое характеризует вероятность того, что в данную ячейку может просочиться огонь. Задаётся пороговое значение вероятности p_{II} (при $x_c = 0,5927$), которое определяет нижнее значение вероятности, при котором огонь все ещё может протечь в ячейку (Рисунок 32).

Ячейки, с вероятностями меньшими пороговой, способны гореть и пропускать сквозь себя огонь. Условием успешного распространения огня является возникновение кластера, который простирался бы вдоль всей решётки и соединял бы ее противоположные стороны.



Рисунок 32 - Решётка размерами 20x20 с порогом перколяции $s=0,5927$

Если плотность занятых узлов меньше порога перколяции, то пожар на открытой автостоянке затухнет прежде, чем огонь достигнет противоположного края объекта (Рисунок 33 а). И наоборот, при плотности занятых узлов больше порога перколяции (Рисунок 33 б) огонь достигнет противоположного края объекта уничтожив практически всю находящуюся на нём пожарную нагрузку.

Кроме определения порога перколяции в настоящее время [148-151] разработан математический аппарат для вычисления параметров, приведенных в Таблице 10.

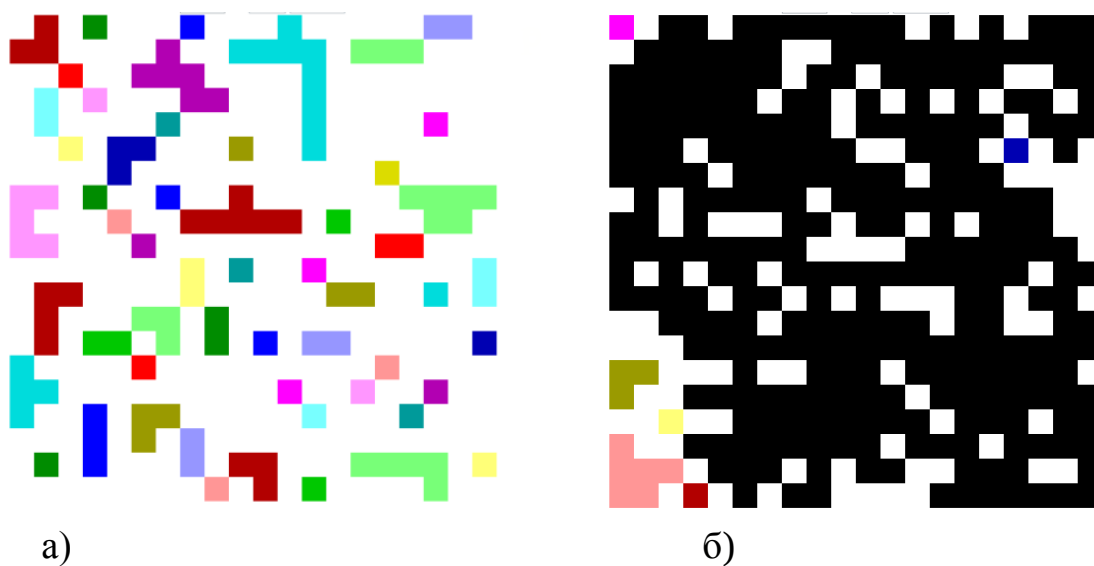


Рисунок 33 - Решетки размерами 20х20 с плотностью занятых узлов
а) $x=0,3$, б) $x=0,7$

Таблица 10 - Основные параметры среды при пороге перколяции

Среднее число кластеров размера s , где N - полное число ячеек	$\langle N_s \rangle$
Распределение кластеров по размерам	$n_s(p) = / N \langle N_s \rangle$
Количество занятых ячеек, принадлежащих кластерам размера s	$s n_s(p)$
Полное число занятых ячеек	$\sum_s s n_s(p)$
Вероятность того, что случайно выбранный занятый узел принадлежит кластеру размером s	$w_s = \frac{s n_s(p)}{\sum_s s n_s(p)}$
Средний размер кластера	$S = \sum_s s w_s = \frac{\sum_s s^2 n_s(p)}{\sum_s s n_s(p)}$
Вероятность того, что случайным образом выбранный занятый узел принадлежит стягивающему кластеру	$P_\infty(p) = \frac{N_\infty}{N_{\text{занятых}}}$
Радиус-вектор центра масс кластера	$\langle r \rangle = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s r_i$
Радиус циркуляции	$R_s^2 = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (r_i - \langle r \rangle)^2$
Длина корреляции	$\xi(p)^2 = \frac{2 \sum_s \langle R_s^2 \rangle s^2 n_s}{\sum_s s^2 n_s}$

2.6. Классификация математических методов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках

В решении практических задач математическими методами последовательно осуществляется формулировка задачи, выбор метода исследования полученной математической модели, а также выбор анализа полученного математического результата. Описание объекта (процесса, явления) может быть представлено с помощью детерминированной или стохастической модели математическими формами.

В целом теория математического моделирования обеспечивает выявление закономерностей протекания различных явлений окружающего мира или работы систем и устройств путём их математического описания и моделирования без проведения натурных испытаний и опытов, при этом используются положения и законы математики, описывающие моделируемые явления, системы или процессы.

Математическая модель представляет собой формализованное описание системы на некотором абстрактном языке, например, в виде совокупности математических соотношений или схемы алгоритма, то есть такое математическое описание, которое обеспечивает имитацию работы систем на уровне, достаточно близком к их реальному поведению, получаемому при натурных испытаниях систем [101, 103].

К настоящему времени известно три вида математических моделей свободного развития пожара в помещении - интегральная, зонная и полевая. Согласно Приказу МЧС России от 30 июня 2006 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» выбор конкретной модели следует осуществлять исходя из следующих предпосылок:

- 1) интегральный метод:

- для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

- для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в пять раз);

- для предварительных расчётов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара;

2) зонный (зональный) метод:

- для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в пять раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;

- для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения;

3) полевой метод:

- для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т.д.);

- для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.);

- для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение (уникальные сооружения, когда распространение пожара происходит по фасаду здания, возникает необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т.д.).

Важно отметить, что при использовании интегральной и зонной моделей для помещения, один из линейных размеров которого более чем в пять раз превышает хотя бы один из двух других линейных размеров, необходимо это помещение делить на участки, размеры которых соизмеримы между собой, и рассматривать участки как отдельные помещения, сообщающиеся проёмами, площадь которых равна площади сечения на границе участков данного помещения. Применение аналогичной процедуры в случае, когда два линейных размера превышают третий более чем в пять раз, не допустимо.

На Рисунке 34 приведена классификация математических моделей описания пожарной безопасности на открытых автостоянках. Проведённое математическое обоснование обеспечения пожарной безопасности позволяет определить области использования математических моделей для принятия оптимальных решений для ликвидаций чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках.

Помимо указанных выше моделей, можно также отдельно выделить пожарно-тактическую модель, используемую для планирования действий по тушению пожара. Эта модель позволяет построить совмещённый график - определить динамику площади пожара $S_{\text{п}}$ и площади $S_{\text{т}}$ тушения от момента начала до ликвидации открытого горения с учётом действий пожарных, найти требуемый $Q_{\text{тр}}$ и фактический $Q_{\text{ф}}$ расходы огнетушащего вещества, оценить достаточность водоснабжения.



Рисунок 34 - Классификация математических моделей описания пожарной безопасности на открытых автостоянках

Выводы по главе 2

Во второй главе проведена классификация математических методов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках. Показаны особенности использования детерминированных и стохастических математических методов возникновения и развития пожаров на открытых объектах. Получена модель возникновения горения в автотранспорте от маломощных источников зажигания.

Известные детерминированные модели не позволяют рассчитать развитие опасных факторов чрезвычайных ситуаций на открытых площадках.

Наиболее перспективным направлением является создание недетерминированных математических моделей для расчёта развития и возникновения чрезвычайных ситуаций на открытых автостоянках. Для моделирования развития пожара на открытых территориях может быть использована теория перколяции.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ

3.1. Определение пожарной опасности открытых автостоянок

Система представлений и понятий в области безопасности опирается на следующие основные принципы:

- базовым понятием, рассматриваемым как смысловой фундамент всей проблемы, является понятие опасности;
- представление об опасности является универсальным;
- нет ни одного объекта, к которому в том или ином смысле нельзя было бы приложить представление об опасности.

При этом под опасностью возникновения пожара на открытых автостоянках понимается вероятность ущерба, угрозы возникновения чрезвычайной ситуации, катастрофы. Опасность отражает представление о потенциальной реализуемости ущерба в определённых условиях и ситуациях.

Понятие опасности обладает двумя важнейшими свойствами:

- опасность можно характеризовать упорядоченным множеством определений, то есть говорить о большей или меньшей опасности, что в соответствии с общей теорией измерений свидетельствует об измеримости этого понятия в количественных характеристиках, которые могут быть как вещественными числами (или группами чисел), так и натуральными числами (ранговые характеристики или классы опасности);
- понятие опасности имеет вероятностную природу, то есть среди характеристик опасности обязательно должны содержаться параметры, определяющие вероятность или частоту реализации ущерба.

Смысловая структура понятия опасности включает в себя три составляющие:

– представление об источнике (носителе, субъекте) опасности; по отношению к субъекту опасность выступает как его свойство, проявляющееся в определенных состояниях и состоящее в способности нанесения ущерба в этих состояниях;

– представление об объекте опасности, на который направлено вредоносное воздействие субъекта опасности. Объект в результате такого воздействия может претерпевать ущерб, реализация которого зависит от неблагоприятных обстоятельств, условий или ситуаций;

– по отношению к объекту опасность выступает как угроза (ожидание, возможность, вероятность) ущерба;

– понятие опасности всегда используется в таком контексте, из которого можно выделить целостную группу явлений, воздействий, процессов, ситуаций, благоприятствующих реализации ожидаемого ущерба объекту опасности со стороны субъекта опасности. Эта группа формирует представление о взаимосвязи, взаимодействии, особом отношении, в котором находятся между собой субъект и объект опасности; это отношение уместно назвать отношением опасности.

Понятие безопасности является производным от понятия опасности и требует для своего определения представления о допустимом уровне опасности, который признается приемлемым. Субъекты опасности, уровень опасности которых ниже допустимого, признаются безопасными (по отношению к тем объектам опасности, которые подлежат защите в рамках поставленной задачи обеспечения безопасности). Таким образом, безопасность определяется как допустимая (приемлемая, незначительная) опасность.

Сам допустимый уровень опасности выступает в качестве составной части критерия безопасности, использование которого позволяет производить оценки безопасности и выносить суждения о безопасности субъекта

(носителя) опасности для объектов опасности, подлежащих защите от вредных воздействий со стороны этого субъекта.

Основные производные понятия в области безопасности:

- показатель безопасности - количественная (ранговая) величина, характеризующая уровень безопасности, в частности, показателем безопасности могут быть: масштаб ущерба объектам опасности, вероятность реализации ущерба, риск как произведение ущерба на вероятность, отнесенный к определенному промежутку времени;

- параметр безопасности - вспомогательная численная величина, расчет или оценка которой необходимы для определения показателей безопасности;

- критерий безопасности - правило, алгоритм, способ ответа на вопрос, обеспечена или нет безопасность (в частности, критерием безопасности является совокупность следующих операций: оценка показателей безопасности, назначение нормативных значений этих показателей, указывающих на предельно допустимый уровень опасности, сравнение оцененных показателей с этими нормативами);

- обеспечение безопасности - деятельность по снижению опасности до приемлемого уровня.

В технике показатели безопасности разделены на два класса: показатели высшего уровня (интегральные показатели для всех видов опасности системы) и частные показатели для каждого вида опасности. Однако более адекватными представляются такие показатели, которые являются сочетаниями определенных технических параметров и характеристик системы. Однако установление таких показателей безопасности предусматривает хорошо разработанную научно-теоретическую базу анализа «отношения опасности» между субъектами и объектами опасности, то есть наличие методик:

- прогнозирования путей развития чрезвычайных ситуаций на объекте;
- оценки вероятности реализации каждого из прогнозируемых путей;
- расчета аварийных и поражающих воздействий на объекты опасности;

- оценки последствий этих воздействий и аварий.

Существует два подхода к анализу безопасности. Фундаментальным понятием в теории безопасности является понятие аварийной ситуации (опасного состояния) системы и соответствующей логической функции опасности системы. По аналогии с теорией надёжности, где основным понятием является отказ и все начинается с уяснения понятия работоспособности системы, в теории безопасности требуется в каждом конкретном случае дать аналитическое описание того опасного состояния системы, которое может привести к гибели людей или иному ущербу в больших масштабах. Такое опасное состояние в физических и математических моделях называется негативным событием, заранее оговариваемым как неприемлемое в данном случае. Под таким событием может быть рассмотрено возникновение и развитие пожара на открытой автостоянке.

Первый подход представляет собой анализ аварии «с конца в начало».

После определения опасного состояния системы (ущерба большого масштаба, негативного события) анализируются первопричины (события, сочетание нескольких событий), которые приводят объект в данное опасное состояние [123]. В процессе анализа строится логическая схема, содержащая все возможные сочетания событий (сценарии), приводящие к ущербу большого масштаба.

По логической схеме строится логическая функция, аргументами которой являются события, являющиеся исходными, то есть присутствующие в сценарии. Функцию алгебры логики удобно представить в дизъюнктивно-нормальной форме.

Каждая конъюнкция дизъюнктивно-нормальной формы представляет путь аварии, приводящей к опасному состоянию системы.

С помощью второго подхода решается задача поиска путей прихода системы в опасное состояние при условии возникновения какого-либо

инициирующего события (источника зажигания), то есть он представляет собой анализ аварии «с начала в конец».

Анализ безопасности с помощью второго подхода заключается в выявлении сценариев опасного функционирования системы, возникновения негативного события, которое может привести к ущербу большого масштаба. В связи с таким методом решения задачи, данный процесс правильнее было бы назвать процессом анализа опасности.

В первой главе был проведён анализ возможных источников зажигания автомобилей, которые могут инициировать развитие горения на открытых автостоянках. Таким образом, составляется сценарий развития чрезвычайной ситуации на объекте открытого хранения автотранспорта, который может иметь вид «дерева событий», цикла, сетевой вид.

Сценарий представляет собой логическую схему, на которой наглядно видно, как протекает развитие горения и какие масштабы оно принимает. Такая схема строится, начиная с возникновения пожара, и прослеживается как разрушение объекта. Задача пожарно-технического эксперта состоит в построении сценария в хронологической последовательности. Хронология должна быть соблюдена даже в тех случаях, когда события происходят почти одновременно.

Однако определение спектра инициирующих событий недостаточно для конечной оценки ее безопасности. Этот спектр нужно совместить с факторами, влияющими на возникновение и развитие пожаров на автостоянках. В связи с этим процедура построения сценария опасного состояния объекта является итерационным процессом, в ходе которого проводится тщательный анализ системы и определяются меры, способные эффективно повысить уровень безопасности.

В первой главе был проведён анализ факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров на объектах хранения автотранспорта. Из этих факторов были выявлены:

Постоянные:

- конструктивные особенности;
- расположение объекта;
- оборудование системами ПБ.

Случайные:

- источник зажигания;
- действия подразделений пожарной охраны;
- экономические.

Периодические:

- свойства пожарной нагрузки;
- погодные условия;
- время суток.

На основании полученных выше результатов, так же, как и в первом подходе, строится логическая схема, содержащая все возможные сценарии, приводящие к ущербу большого масштаба. По логической схеме строится логическая функция, аргументами которой являются события, являющиеся исходными, то есть присутствующие в сценарии. Таким образом, проведение расчётно-аналитических исследований развития пожара по второму подходу можно разбить на последовательные этапы:

1. Этап анализа путей развития чрезвычайной ситуации.
2. Этап формирования сценария аварии, являющейся её следствием.
3. Этап разработки логических схем развития этой аварии (в качестве элементов схемы выступают факторы случайные из сценария, то есть происходящие с системой при развитии аварии).
4. Этап построения логической функции на основании построенных логических схем. Элементами (аргументами, переменными) логической функции являются элементы логических схем, то есть события, происходящие с системой при развитии аварии.

Таким образом, логико-вероятностный аппарат может быть использован для реализации методики определения пожарной опасности открытых автостоянок.

3.2. Методика оценки пожарной опасности открытых автостоянок при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций

На первых двух этапах построения методики пожарно-техническим экспертом составляется сценарий возникновения и развития пожара на открытом объекте хранения автотранспорта. После того, как сценарий составлен, необходимо определить математическую модель этого процесса. Для этого строится логическая схема развития пожара. По логической схеме выписывается логическая функция, аргументами которой являются события, присутствующие в логической схеме.

Этапы методики определения опасности открытых автостоянок при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций:

1. Выявление факторов, влияющих на пожарную безопасность на открытых объектах хранения автотранспорта, путём их декомпозиции.
2. Определение вероятности P_n происхождения того или иного события, инициирующего возникновение пожара на объекте.
3. Построение функции алгебры логики с учетом аргументов, описывающих обстановку на конкретном объекте.
4. Перевод данной функции в вероятностную функцию.
5. Анализ пожарной опасности объекта, предназначенного для стоянки автомобилей.

После выявления всех сценариев возможных аварий (построения логической функции) любым из подходов производится оценка вероятности их реализации.

Далее проводится оценка воздействий факторов опасности на объекты для каждого из возможных сценариев и всей их совокупности путём перевода логической функции в вероятностную функцию (ВФ), аргументами (переменными) которой являются вероятности событий (факторов, влияющих на пожарную опасность объекта), входящих в логические схемы (аргументы логической функции). Это самый сложный с математической точки зрения этап оценки пожарной опасности. Значения входящих в ВФ вероятностей происхождения инициирующего возникновения пожара и учёт факторов, сопровождающих развитие чрезвычайной ситуации на открытом объекте автотранспорта, определяют степень пожарной опасности открытой автостоянки.

На Рисунке 35 представлена логическая схема последовательности действий по реализации методики определения опасности открытых автостоянок при возникновении и развитии пожаров.

Наиболее вероятные причины развития чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением горения на открытых автостоянках:

P_1 - поджог;

P_2 - неисправность системы электрооборудования автомобиля или любой другой системы;

P_3 - дорожно-транспортное происшествие на территории автостоянки;

P_4 - возникновение пожара от маломощного источника зажигания;

P_5 - нарушение правил пожарной безопасности.



Рисунок 35 - Логическая схема последовательности действий по реализации методики определения опасности открытых автостоянок

Логико-вероятностная теория является своеобразным мостиком между алгеброй логики и теорией вероятностей. Она представляет собой основные знания по расчётам риска возникновения аварий и катастроф структурно-сложных систем, базирующихся на логическом представлении развития опасных состояний и математических методах вычисления истинности

логической функции, представляющей сценарии развития чрезвычайной ситуации [97, 103].

Такой вероятностный анализ безопасности обеспечивает решение следующих задач:

- позволяет оценить целесообразность модернизации существующих конструкций с точки зрения уменьшения риска;
- позволяет объективно выявлять наиболее опасные места, причины и иницирующие опасность условия [101];
- обеспечивает обучение персонала действиям в аварийных ситуациях, адекватным складывающейся обстановке;
- позволяет разработать требования к объекту и выполняемым процедурам, обеспечивающих систематическое снижение уровня пожарной опасности;
- позволяет оценивать уровень риска персонала и населения, определять оптимальную стратегию страхования ответственности организации, эксплуатирующей систему, за причинение ущерба, выявлять направления вложения средств, предназначенных для снижения риска.

Единственным практически реальным и доступным путем для проектирования систем является моделирование. Это делается на ЭВМ вместе с соответствующим математическим обеспечением. Поскольку компьютерные технологии непрерывно развиваются, то этот путь оказывается весьма перспективным.

Созданные на основе логико-вероятностной теории методы для практического использования являются наиболее привлекательными, поскольку они исключительно чётки, однозначны и удобны для анализа влияния любого элемента на безопасность всей системы.

Это методы расчёта показателей безопасности системы, при которых сценарий поведения системы (сценарий аварии) описывается средствами математической логики, а оценка ее безопасности производится с помощью

теории вероятности. ЛВМ включают в себя математический аппарат преобразовывающий ФАЛ в ВФ. Из-за невозможности проведения полноценных натурных экспериментов проигрывают все возможные варианты развития аварийной ситуации на математических моделях (см. раздел 1.3). Препятствием на пути решения этой задачи является представление о практической невозможности перебора всех ситуаций, которые могут привести систему в опасное состояние.

Для решения задач безопасности в первую очередь необходимо провести системный анализ исследуемого объекта, в ходе которого:

- максимально конкретизировать и четко представлять суть опасного состояния, что существенно сужает множество возможных состояний системы;
- ограничить объект исследования разумными пределами: пространственные границы, дробление системы на элементы;
- необходима строгая логика перебора возможных ситуаций при составлении сценария развития событий.

3.3. Обоснование принципов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках

Часто от принятия правильного и своевременного управленческого решения в условиях чрезвычайных ситуаций зависит эффективность спасательных работ и мер по локализации и ликвидации аварийных режимов. Для этого необходимо учитывать целый ряд факторов - от компетенции руководителя до уровня риска и технических характеристик объектов. В конечном счёте эффективность принятия управленческого решения будет зависеть от информации, которой обладает руководитель на момент принятия решения.

Оценку эффективности принятия решения можно осуществить с

теоретической точки зрения (основанной на анализе ситуаций путём исследования результатов моделирования), используя математический подход для обоснования выбора альтернативных вариантов, а также с фактической (при этом эффективность решения будет определяться результатами его реализации). Руководителю ещё до момента принятия управленческого решения по ликвидации чрезвычайной ситуации желательно иметь максимально полную информацию о технических характеристиках объекта, в котором произошла аварийная ситуация. Поэтому на оценку эффективности управленческих решений руководителя будут влиять различные показатели адекватности предложенных моделей, принятые законы, нормы и стандарты. При этом математическое моделирование является особым инструментом, с помощью которого руководитель может исследовать различные ситуации, возникающие на интересующем его объекте.

Примем, что сумма вероятностей рассматриваемых чрезвычайных ситуаций равна единице, а ресурсы, потраченные на минимизацию вредного воздействия каждой опасности, ограничены суммой Q .

Это позволит численно объединить экономические оценки с возможностью прогнозирования ситуации и оптимизации принятия решений для повышения безопасности на открытых автостоянках.

Процесс принятия решений можно представить конечным числом состояний. Переходные вероятности между состояниями описывают Марковскую цепь.

На Рисунке 36 приведён алгоритм методики принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках, а на Рисунке 37 физическая реализация методики принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках.

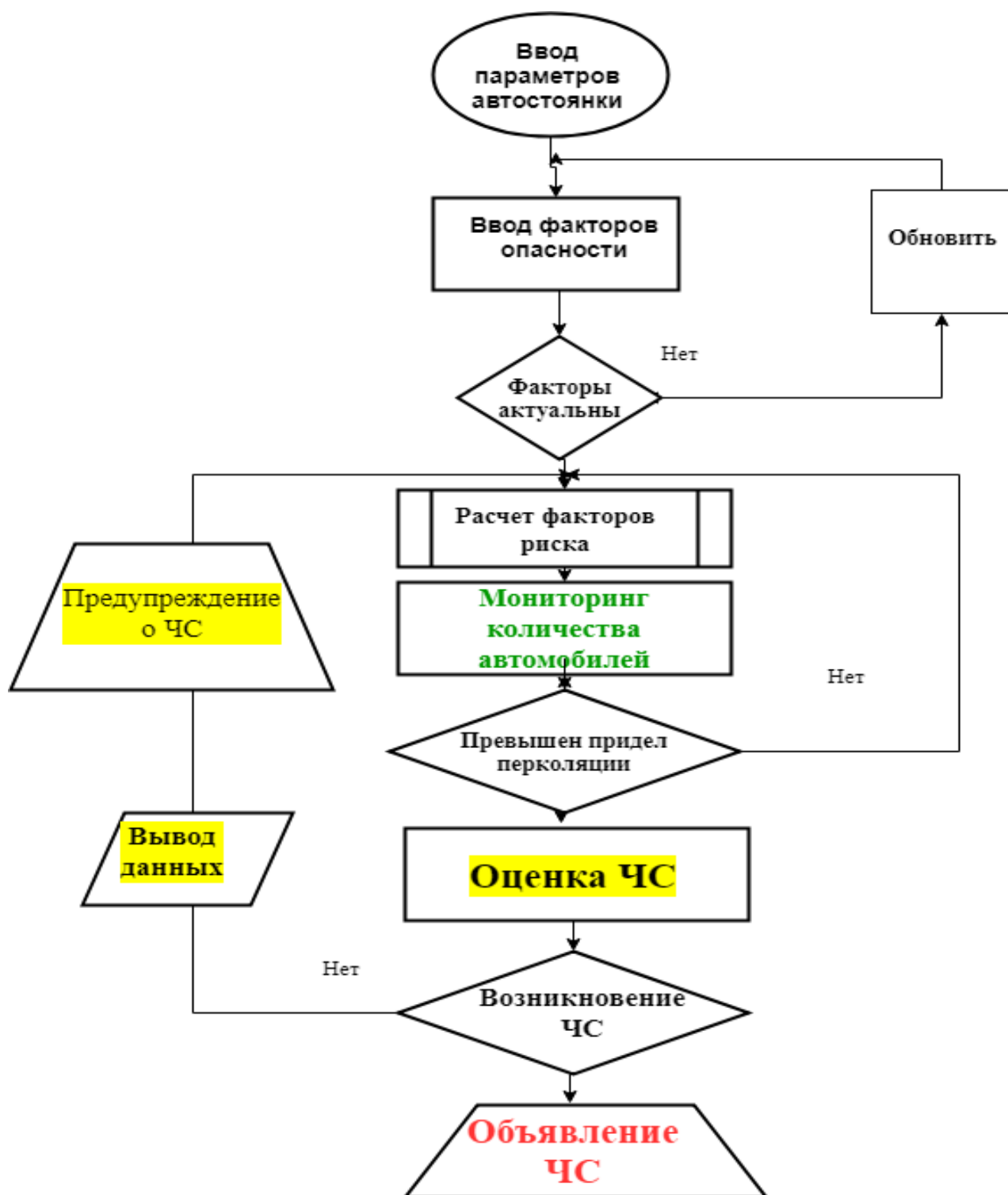


Рисунок 36 - Алгоритм методики принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках

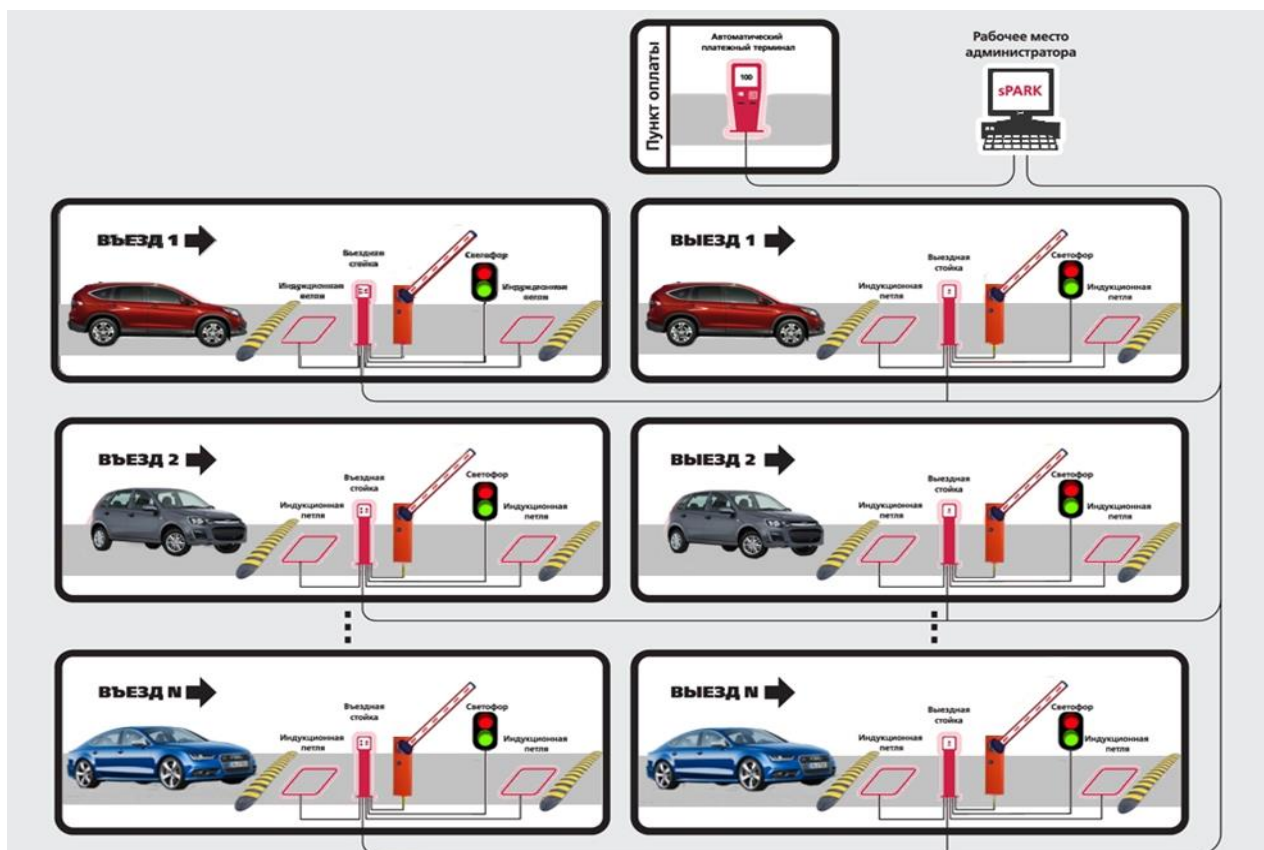


Рисунок 37 - Физическая реализация методики принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках

Методика принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках с использованием стохастических моделей может быть реализована на крупных местах хранения автомобилей. Разработанная модель принятия решений по уменьшению риска возникновения пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках может быть использована при проведении мониторинга за количественными и качественными показателями безопасного состояния открытых автостоянок.

Выводы по главе 3

1. Впервые разработаны перколяционные модели описания развития пожароопасных ситуаций для оценки потенциальной опасности на открытых

автостоянках. Применение перколяционной модели описания развития пожароопасных ситуаций способствует принятию эффективных решений при возникновении, развитии и ликвидации последствий пожароопасных ситуаций на автостоянках.

2. Предложена методика принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках с использованием стохастических моделей. Разработанная модель принятия решений по уменьшению риска возникновения пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках может быть использована при проведении мониторинга за количественными и качественными показателями безопасного состояния открытых автостоянок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведена декомпозиция общей задачи оценки риска возникновения пожара на основе фактора ожидаемости. Показано, что фактор ожидаемости возникновения пожароопасной ситуации на открытых автостоянках может сказаться на последствиях чрезвычайных ситуаций. По этому признаку предложена качественная классификация чрезвычайных ситуаций.

2. Разработана логистическая функция описания стадий развития пожароопасных ситуаций, используемая для моделирования вероятности развития пожара. Управляющими параметрами являются факторы риска. Отрицательные значения факторов риска способствуют снижению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, положительные - увеличивают эту вероятность.

3. Впервые разработаны перколяционные модели описания развития пожароопасных ситуаций для оценки потенциальной опасности на открытых автостоянках. Применение перколяционной модели описания развития пожароопасных ситуаций способствует принятию эффективных решений при возникновении, развитии и ликвидации последствий пожароопасных ситуаций на автостоянках.

4. Предложена методика принятия решений по снижению риска возникновения и развития пожароопасных ситуаций на автостоянках с использованием стохастических моделей. Разработанная модель принятия решений по уменьшению риска возникновения пожароопасных ситуаций на открытых автостоянках может быть использована при проведении мониторинга за количественными и качественными показателями безопасного состояния открытых автостоянок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика производства автомобилей в мире. URL: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2015-statistics> (дата обращения: 15.08.2016).
2. Структура и прогноз парка легковых автомобилей в России: годовой отчёт // АВТОСТАТ аналитическое агентство. URL: https://www.autostat.ru/b2b_autobussines/26648/ (дата обращения: 27.03.2017).
3. Использование категорирования в обеспечении безопасности критических инфраструктур национального масштаба / В.А. Пучков, Д.С. Черешкин, К.В. Черныш, А.А. Кононов // Труды Института системного анализа РАН. 2009. – С. 6-13.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: стат. сборник / под общ. ред. А.В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2016. – 124 с.
5. Оценка времени горения легкового автомобиля с помощью конечных цепей Маркова / Ю.Д. Моторыгин, В.А. Ловчиков, С.В. Шарапов, А.Н. Гизатуллин // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – № 2. – С. 6-13.
6. Расследование пожаров: учеб. / В.С. Артамонов, В.П. Белобратова, Ю.Н. Бельшина, Ю.Д. Моторыгин. под ред. Г.Н. Кирилова, М.А. Галишева, С.А. Кондратьева. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2007. – 544 с.
7. Моторыгин, Ю.Д. Системный анализ моделей описания процессов возникновения и развития пожара: дис. ... д-ра техн. наук 05.13.10 / Моторыгин Юрий Дмитриевич. – СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011. – 218 с.
8. A Practical Guide to the implementation of the EFCO-FICC Charter for the Management of External Risks on Holiday Parks, Caravan & Camping Sites. - Brussels: EFCO&HPA, 2007. – 8 p.
9. Пожар на охраняемой автостоянке. URL: <http://vecherka.mobi/news/41784> (дата обращения: 15.08.2016).

10. Пожар на охраняемой автостоянке в городе Вязьма Смоленской области. URL: http://info.smolcity.ru/communication/forum/messages/forum21/topic6269/message47611/?sphrase_id=7619745 (дата обращения: 05.02.2015).

11. Последствия пожара на автостоянке. URL: <http://autovisio.com.ua/sayta/news/dtp/5731> (дата обращения: 05.02.2015).

12. Fire loss in the United States during 2011. URL: www.nfpa.org/public/careers_certification.cfm (дата обращения: 15.08.2016).

13. Последствия пожара на автостоянке (г. Сидней). URL: <http://newsru.co.il/arch/israel/28aug2013/kingdavid8009.html> (дата обращения: 15.08.2016).

14. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 3 июля 2016 г.): Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 08.11.2016).

15. СП 113.13330.2012. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200092706> (дата обращения: 08.11.2016).

16. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объёмно-планировочным и конструктивным решениям. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 08.11.2016).

17. Шкрабак, В.С., Шкрабак, Р.В. Динамика пожаров, их материальных последствий в стране за 2011-2015 годы и пути снижения и ликвидации // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 34. – С. 52-57.

18. Корольченко, Д.А., Холщевников, В.В. Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 7. – С. 44-51.

19. Шкрабак, В.С., Джабборов, Н.И. Вероятностно-статистический метод определения эргономических допусков машинно-тракторных агрегатов с газотурбинным двигателем // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 1. – С. 68-73.

20. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с..

21. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1989. – 92 с..

22. СНиП 21-02-99. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Стоянки автомобилей. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 08.11.2016).

23. Шкрабак, Р.В., Шкрабак, В.С., Джабборов, Н.И. Проблемы профилактики дорожно-транспортных происшествий, их последствия и пути решения // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и тенденции развития: материалы Науч.-практ. конф. с междунар. участием. Душанбе: Таджикский аграрный ун-т им. Шириншох Шотемур. – 2017. – С. 543-546.

24. Харченко, В.Б. Информационная модель места преступления // Актуальные проблемы противодействия правонарушениям в сфере строительства и транспорта: материалы IV Межкаф. науч.-практ. конф. СПб., – 2017. – С. 59-63.

25. Харченко, В.Б. Научно обоснованное использование при проведении судебно-экспертных исследований научно-технических средств и методических материалов по производству судебной экспертизы как принцип судебно-экспертной деятельности // Актуальные проблемы противодействия правонарушениям в сфере строительства и транспорта: материалы III Межкаф. науч.-практ. конф. СПб., – 2016. – С. 139-142.

26. Харченко, В.Б. Использование bim технологий проектирования и 3d лазерного сканирования в решении задач судебной строительно-технической экспертизы // Мир юридической науки. – 2016. – № 12. – С. 78-81.

27. Оценка эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках / Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко, В.А. Ловчиков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 1. – С. 25-31.

28. Галишев, М.А., Моторыгин, Ю.Д. Стохастические методы принятия решений для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 4 (28). – С. 59-64.

29. Баканов, М.И., Шеремет, А.Д. Теория экономического анализа: учеб. 3-е изд., перераб. М.: Финансы и статистика, 1995. – 120 с.

30. Экономико-математические методы и модели для руководителя / П.В. Авдулов. – М.: Экономика, 1998. – 76 с.

31. Математические методы в планировании отраслей и предприятий / под ред. И.Г. Попова. – М.: Экономика, 1997.

32. Ващекин, Н.П. Маркетинг. Математические методы в планировании / М.: ИФ ФБК-Пресс, 2009. – 312 с.

33. Боевой устав пожарной охраны (утв. Приказом МВД РФ от 5 июля 1995 г. № 257; с изм. Приказом МВД РФ от 6 мая 2000 г. № 477). Доступ из Законодательной базы Рос. Федерации.

34. Пожарная тактика. Правила тушения пожаров в вопросах и ответах. СПб.: Тип. Т-ва М.О. Вольфъ, 2007.

35. Воздвиженский, Ю.М. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях. – СПб.: СПбГУТ, – 2006. – 123 с.

36. Characterizing Flame Retardant Applications and Potential Human Expo-sure in Backpacking Tents / Genna Gomes, Peyton Ward, Amelia Lorenzo,

Kate Hoff-man, and Heather M. Stapleton // American Chemical Society Environ. Sci. Technol. – 2016. – V. 50 (10). – p. 5338-5345.

37. Батуро, А.Н. Управление регламентом противопожарных мероприятий в регионе на основе количества пожаров с учётом климатических факторов: дис. ... канд. техн. наук 05.13.10. / Батуро Андрей Николаевич. – СПб., – 2014. – 121 с.

38. Бирюков, М.С. Диагностика и прогнозирование противопожарного состояния опасных производственных объектов в условиях динамического изменения параметров среды функционирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.26.02 / Бирюков Михаил Сергеевич. – СПб., – 2006. – 124 с.

39. Брушлинский, Н.Н., Соколов, С.В. О статистике пожаров и о пожарных рисках // Пожаровзрывобезопасность – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 40-48.

40. Проектирование предприятий по техническому обслуживанию и текущему ремонту автомобилей: метод. указ. / сост. А.А. Рекман. Томск: Томск. гос. архит.-строит. ун-т, – 2000. – 50 с.

41. Абаимов, Р.В., Малащук, П.А. Проектирование предприятий по техническому обслуживанию и текущему ремонту автомобилей. Сыктывкар: СЛИ. – 2012. – 112 с.

42. Привалов, П.В., Коноводов, В.В. Организация автосервиса и технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания автомобилей: учеб. пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т (Инженер. ин-т). – 2003. – 215 с.

43. Вейнтцел, Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.

44. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979.

45. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.

46. Шештокас, В.В., Адомовичюс, В.П., Юшкавичус, П.В. Гаражи и стоянки: учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат. – 1984. – 214 с.

47. Корольченко, Д.А., Шароварников, А.Ф. Влияния длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. – № 1. – С. 62-67.

48. Правоохранительная и контрольно-надзорная деятельность в сфере строительства и транспорта / Д.В. Иванов. – СПб., – 2016. – 260 с.

49. Мирясов, Е.Ю., Литовченко, И.О., Смирнов, В.А. Вероятностные методы установления причины возникновения горения на автотранспорте при производстве пожарно-технической экспертизы // Использование криминалистической и специальной техники в противодействии преступности: материалы Науч.-практ. конф. СПб: С.-Петерб. ун-т МВД РФ, 2013. – С. 32-36.

50. Косенко, Д.В., Литовченко, И.О., Мурашка, В.В. Особенности противопожарной защиты материальных ценностей хранилищ ракетно-артиллерийского вооружения // Технические средства противодействия террористическим и криминальным взрывам: Третий междунар. семинар памяти проф. Б.Е. Гельфанда. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2014. – С. 77-79.

51. TP-5044. Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников. ООО «СИТИС», Грачев, В.Ю. – 2009. – 24 с.

52. Британский стандарт PD 7974-7:2003. Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Ч. 7: Вероятностная оценка риска: пер. на рус. яз. Рег. № 5511. Переводчик: ООО «СИТИС». М. – 2011. – 54 с.

53. CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment / Dr. P.A.M. Uijt de Haag, Dr. B.J.M. Ale. Committee for the Prevention of Disasters, the Hague. 1999. – p. 237

54. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

55. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». (дата обращения: 08.11.2016).

56. Моторыгин, Ю.Д. Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 9. – С. 45-51.

57. Ловчиков, В.А., Литовченко, И.О., Абдулалиев, Ф.А. Моделирование чрезвычайных ситуаций на транспорте при производстве пожарно-технических экспертиз // О правовом регулировании судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: материалы Науч.-практ. конф. СПб., – 2010. – С. 54-60.

58. Hotchkiss, R.S. Air Pollution Transport in Street Canyons / R.S. Hotchkiss, and F.H. Harlow // EPA-R4-73-029. – U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. – 1973. Бобков, С.А., Бабурин, А.В., Комраков, П.В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. – 210 с.

59. Ловчиков, В.А., Литовченко, И.О., Моторыгин, Ю.Д. Оценка опасности возникновения пожара на объектах водного транспорта // Совершенствование работы в области обеспечения пожарной безопасности людей на водных объектах: материалы Науч.-практ. конф. Вытегра: УСЦ «Вытегра» МЧС России, – 2010. – С. 4.

60. Ловчиков, В.А., Литовченко, И.О., Моторыгин, Ю.Д. Стохастическая модель процесса возникновения горения // Системы безопасности: материалы XX Науч.-практ. конф. М.: Акад. ГПС МЧС России, – 2011. – С. 208-211.

61. Моторыгин, Ю.Д., Литовченко, И.О., Гречуха, Н.М. Процесс управления и принятия решения стохастическими методами в условиях

чрезвычайных ситуаций // Научно- аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2016. – № 4. – С. 144-150.

62. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: Приказ МЧС России от 12 дек. 2011 г. № 749. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

63. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 12 дек. 2011 г.; зарег. в Минюсте РФ 6 авг. 2009 г. № 14486). Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

64. Литовченко, И.О. Модель развития чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на автостоянках // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 87-91.

65. Кларк, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: пер. с англ. М., – 1990. – 350 с.

66. Урманцев, Ю.А. Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития // Система, симметрия, гармония. М.: Мысль, 1988. 235 с.

67. Об охране окружающей среды: Федер. закон. Рос. Федерации от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

68. О техническом регулировании: Федер. закон от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ (с изм. на 30 дек. 2009 г.; ред., действ. с 11 янв. 2010 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

69. Investigation on fire in cars / Johansson E. // Veh. and Component Test.: Autotech'89 Semin Pap. № 0399/2. London, – 1989. – P. 30-38.

70. Харченко, В.Б. Судебные инженерно-технические экспертизы и вопросы, разрешаемые при их производстве // Мир юридической науки. – 2015. – № 12. – С. 74-77.

71. Брушлинский, Н.Н., Шебеко, Ю.Н. Пожарные риски - динамика, управление, прогнозирование: монография. М.: ФГУ ВНИИПО, – 2007. – 370 с.

72. Кемени, Дж., Снелл, Дж. Конечные цепи Маркова: пер. с англ. М.: Изд-во «Наука», – 1970. – 272 с.

73. Оценка эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках / Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 1. – С. 25-31.

74. Kraftfahreug, Brand Priskten bei der Philfeleistung und Beim Läschen / Pohl D., Löbbert A., Wieneke A. // Blaulicht. – 1997. – № 8. – P. 8-9.

75. Кошмаров, Ю.А. Горение и проблемы тушения пожаров. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1977. – 168 с.

76. Кошмаров, Ю.А., Башкирцев, М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. – 78 с.

77. Моторыгин, Ю.Д., Ловчиков, В.А., Сухорукова, И.О. Моделирование процесса зажигания с помощью конечных цепей Маркова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2010. – № 1 (13). – С. 74-80.

78. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.

79. Эксперимент по моделированию поджога легкового автомобиля «Toyota Supra» / Ю.Н. Елисеев, С.Ю. Иванов // Расследование пожаров: сб. статей. М.: ВНИИПО – 2007. – Вып. 2. – С. 140-152.

80. Демидов, П.Г., Шандыба, В.А., Щеглов, П.П. Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия, 1981. – 272 с.

81. Исхаков, Х.И., Пахомов, А.В., Каминский, Я.Н. Пожарная безопасность автомобиля. М.: Транспорт, 1987. – 87 с.

82. Поляков, А.С., Сытдыков, М.Р., Крылов, Д.А. Информационно-статистический анализ особенностей развития мобильных средств порошкового пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 6. – С. 39-47.

83. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности зданий: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

84. Моторыгин, Ю.Д., Косенко, Д.В. Математическое моделирование развития горения автомобиля // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2014. – № 2. – С. 45-50.

85. Моделирование чрезвычайных ситуаций на транспорте с помощью конечных цепей Маркова / В.А. Ловчиков, Ю.Д. Моторыгин, В.Б. Воронва // Сервис безопасности в России: материалы Междунар. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2008. – С. 141-145.

86. Демидович, Б.П., Марон, И.А., Шувалова, Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. М.: Наука, 1967. – 368 с.

87. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров: пер. с англ. / под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.

88. Моторыгин, Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011. – 120 с.

89. Janssens, Marc L. An Introduction to Mathematical Fire Modeling. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company. – 2000. – 257 p.

90. Гукасян, Г.М. Экономическая теория: учеб. пособие. 3-е изд. СПб.: Питер, 2010. – 512 с.

91. Моделирование чрезвычайных ситуаций на транспорте с помощью конечных цепей Маркова / И.О. Литовченко, С.В. Шарапов // Сервис безопасности в России: материалы Междунар. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009. – С. 172-174.

92. Litovchenko, I.O., Motorygin, Yu.D., Lovchikov, V.A. Modelling of process of ignition of firm organic substances by means of final chains Маркова // 2th International scientific conference on safety engineering fire, environment, work environment, integrated risk. Novi Sad. – 2010. – С. 104-108.

93. Ловчиков, В.А., Литовченко, И.О., Моторыгин, Ю.Д. Стохастическое моделирование чрезвычайных ситуаций на спортивных объектах // Сервис безопасности при подготовке и проведении XXII Зимних олимпийских игр в 2014 году в г. Сочи: материалы III Науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2010. – С. 12-14.

94. Методы прикладной математики в пожарно-технических задачах под редакцией Н.Н. Брушлинского. М.: Стройиздат. – 1983. – 490 с.

95. Моторыгин, Ю.Д., Абдулалиев, Ф.А. Стохастические модели исследования процессов возникновения и развития пожара: отчет о НИР (заключ.). СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011. – 69 с.

96. Нерубенко, А.С., Литовченко, И.О., Дерябин, Ю.Ю. Модель принятия решения для улучшения экологической обстановки при пожарах на транспорте // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – Т. 1. – № 1 (6). – С. 66-69.

97. Ramachandran, G. Stochastic Modeling of Fire Growth, Fire Safety: Science and Engineering, ASTM STP 882 (T.A. Harmathy, ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1985. – pp. 122-144.

98. Aoki, Y. Studies on Probabilistic Spread of Fire, Research Paper No. 80, Building Research Institute, Tokyo, Japan – 1978.

99. Ramachandran, G. Stochastic Modeling of Fire Growth, CIB Workshop on Mathematical Modeling of Fire Growth, Paris, France – 1981.

100. Шарапов, С.В., Литовченко, И.О., Крутолапов, А.С. Стохастическое моделирование процессов возникновения пожаров на автостоянке // Вестник Воронежского ин-та ГПС МЧС России. – 2016. – № 4 (21). – С. 84-86.

101. Theobald C.R. The Critical Distance for Ignition from Some Items of Furniture, Fire Research Note No. 736, Fire Research Station, Boreham Wood, Herts, U.K. – 1968.

102. Литовченко, И.О., Моторыгин, Ю.Д. Перколяционная модель принятия управленческих решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 4 (21). – С. 87-89.

103. Berlin, G.N. Managing the Variability of Fire Behavior, Fire Technology, 16, 1980. – p. 287-302.

104. Моделирование процессов развития горения с помощью конечных цепей Маркова / Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко, С.В. Шарапов // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2006. – № 4. С. 34-39.

105. Исследование процессов горения легкового автомобиля с помощью конечных цепей Маркова / Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко, В.А. Ловчиков // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2006. – № 4. – С. 57-60.

106. Моделирование процессов развития пожаров с помощью конечных цепей Маркова / Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко, С.В. Шарапов, В.А. Ловчиков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2007. – № 2. – С. 143-148.

107. Пожароопасное состояние почвенного покрова на объектах нефтегазового комплекса: прогнозирование и предотвращение угрозы

возникновения чрезвычайных ситуаций / И.В. Бардин, С.В. Шарапов, Ю.Д. Моторыгин // Пожарная безопасность. – 2010. – № 1. С. 34-39.

108. Morishita, Y. Establishment of Evaluating Method for Fire Safety Performance, Research Project on Total Evaluating System on Housing Performances, Building Research Institute, Tokyo, Japan – 1977.

109. Ramachandran, G. Probabilistic Approach to Fire Risk Evaluation, Fire Technology, 24, 3, – 1988. – p. 204-226.

110. Ramachandran, G. Probability-Based Fire Safety Code, Journal of Fire Protection Engineering, 2(3), 1990. – p. 75-91.

111. Beck, V.R. A Cost-Effective Decision-Making Model for Building Fire Safety and Protection, Fire Safety Journal, 12, 1987. – pp. 121-138.

112. Morishita, Y.A Stochastic Model of Fire Spread, Fire Science and Technology, 5, 1, 1985. – p. 1-10.

113. Dusing, J.W.A., Buchanan, A.H. and Elms D.G. Fire Spread Analysis of Multi-Compartment Buildings, Research Report 79/12, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand 1979. – 320 c.

114. Elms, D.G. and Buchanan, A.H. Fire Spread Analysis of Buildings, Research Report R35, Building Research Association of New Zealand, Judgeford, 1981. – 170 c.

115. Elms, D.G. and Buchanan, A.H. The Effects of Fire Resistance Ratings on Likely Fire Damage in Buildings, Research Report 88/4, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1988. – 458 c.

116. Platt, D.G. Modeling, Fire Spread: A Time-Based Probability Approach, Research Report 89/7, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1989. – 235c.

117. Heskestad, G. Engineering Relations for Fire Plumes, Technology Report 82-8, Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1982. – 245c.

118. Design Guide: Structural Fire Safety, CIB W14 Workshop, Fire Safety Journal, 10, 2, 1986. – pp. 81-138.

119. Ling, W.T.C. and Williamson, R.B. The Modeling of Fire Spread Through Probabilistic Networks, *Fire Safety Journal*, 9 1986. pp. 23-27.
120. Berlin, G.N., Dutt, A. and Gupta, S.M. Modeling Emergency Evacuation from Group Homes, Annual Conference on Fire Research, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 1980. – 430 c.
121. Mirchandani, P.B. Computations and Operations Research, 3, Pergamon Press, Elmsford, NY, 1976. – pp. 347-355.
122. Benckert, G. and Sternberg, I. An Attempt to Find an Expression for the Distribution of Fire Damage Amount, *Transactions of the Fifteenth International Congress of Actuaries*, 11, 1957. – pp. 288-294.
123. Mandelbrot, B. Random, Walks, Fire Damage Amount and Other Paretian Risk Phenomena, *Operations Research*, 12, 1964. – pp. 582-585.
124. Evring, H., Giddings, J.C. and Tensmeyer, L.G., Flame Propagation: The Random Walk of Chemical Energy, *The Journal of Chemical Physics*, 24(4), 1956. – pp. 857-861.
125. Karlin, S. A First Course in Stochastic Processes, Academic Press, New York, 1966. – 220 c.
126. Albini, F.A and Rand, S. Statistical Considerations on the Spread of Fire, IDA Research and Engineering Support Division, Washington, DC 1964. – 120 c.
127. Bailey, N.J.T. Reed, and Frost Model, *The Elements of Stochastic Processes*, John Wiley and Sons, New York, Chapter 12, Section 5 1964. – 254 c.
128. Thomas, P.H., Some Possible Applications of the Theory of Stochastic Processes to the Spread of Fire, Internal Note No. 223, Fire Research Station, Boreham Wood, Herts, U.K. 1965. – 364 c.
129. Anderson, K.R. Fire grow modeling at multiple scales, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed.), 2002, Millpress, Rotterdam, ISBN 90-77017-72-0.
130. Shiflet, A.B. Spreading of Fire, Wofford Colledge. 1965. – 364 c.

131. Li, X., Magill, W., Modelling fire spread under environmental influence using a cellular automaton approach, Complexity international, Volume 08, 2001. – 212 c.

132. Bodrozic, L., Stipanicev, D., Seric M., Forest fires spread modeling using cellular automata approach, Department for Modelling and Intelligent Systems, FESB, University of Split, Split, Croatia. 2015. – 32 c.

133. Sullivan, A.L., Knight, I.K. A hybrid cellular automata/semi-physical model of fire growth, Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Complex Systems Cairns Convention Centre, Cairns, Australia 6-10th December, 2004. – C. 54-59.

134. Finney, M.A. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1998. – 78 c.

135. McCormick, R.J., Brandner, T.A., Allen, T. F. H. Toward a theory of meso-scale wildfire modeling a complex systems approach using artificial neural networks, University of Wisconsin-Madison. 2001. – 240 c.

136. Dunn, A., Milne, G. Modelling Wildfire Dynamics via Interacting Automata, School of Computer Science & Software Engineering, The University of Western Australia. 2014. – 43 c.

137. Моделирование пожаров и взрывов / под ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. М.: Пожнаука, 2000. – 492 с.

138. Smirnov, S.K. Conformal invariance of two-dimensional percolation and Ising model in statistical physics (Fields Medal). International Congress of Mathematicians, Hyderabad, India, 2010. – 340 p.

139. Тарасевич, Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: учеб. пособие. М.: Едиториал УРСС. – 2002. – 112 с.

140. Essam, J.W. Percolation theory. 1980. № 7. – pp. 23-27.

141. Shante, V.K.S, Kirkpatrick, S, An introduction to percolation theory. Adv. Phys., 20, 1971. – pp. 325-357.

142. Абдулалиев, Ф.А., Моторыгин, Ю.Д., Грачев, Е.В. Перколяционная модель развития пожара // Проблемы управления риском в техносфере. – 2012. – № 1 (21). – С. 34-39.
143. Абдулалиев, Ф.А., Моторыгин, Ю.Д. Применение перколяционных процессов для описания моделей развития пожара // Сервис безопасности в России: Опыт, Проблемы, Перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2009. – С. 82-84.
144. Абдулалиев, Ф.А. Перколяционная модель развития пожара // Экология, Экономика, Энергетика: Межвузовский сборник научных трудов. СПб.: С.-Петербург. техн. ун-т (технол. ин-т). – 2009. – С. 34-36.
145. Абдулалиев, Ф.А. Разработка перколяционной модели развития пожара // Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2010. – С. 42-43.
146. Abdulaliev, F.A., Motorigin, Yu.D. Description of fire development by percolation models // Proceedings on II international scientific conference: Safety engineering (Fire, Environment, Work environment, Integrated risk). Novi Sad, Republic Serbia: Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Republic Serbia, 2010. – pp. 65-76.
147. Schakel, A.M.J. Nucl. Phys. B 700, 2004. – pp. 43-46/
148. Feder, J.: 1988 Fractals, Plenum Press, New York: пер. на рус. яз. М: Мир, 1991. – pp. 54-57.
149. Шредер, М. Фракталы, хаос и степенные законы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2001. – 528 с.
150. Божокин, С.В., Паршин, Д.А. Фракталы и мультифракталы. Ижевск: Науч.-изд. центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
151. Шкловский, Б.И., Эфрос, А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // УФН. 1975. Т. 117. Вып. 3. – С. 402-435.

152. Bak, P., Tang, C., Wiesenfeld, K. Self-organized criticality // *Phys. Rev. B*. 1988. V. 38. N 1. – P. 364-374.
153. Howard, R. *Dynamic Programming and Markov Processes*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1960. (Русский перевод: Ховард Р. Динамическое программирование и марковские процессы. М.: Сов. радио, 1964). – 230 с.
154. Дынкин, Е.Б., Юшкевич, А.А. Теоремы и задачи о процессах Маркова. М.: Наука, 1967. – 27 с/
155. Абдулалиев, Ф.А., Моторыгин, Ю.Д. Описание развития пожара с помощью перколяционной модели // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2011. – №8. – С. 19-.
156. Колмогоров, А.Н., Журбенко, И.Г., Прохоров, А.В. Введение в теорию вероятностей. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1982. – 160 с. (Библиотечка «Квант». Вып. 23).

Приложение А

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Аналитической Лаборатории
Экологического Мониторинга

«7» _____ Крыжановская Ю.В.
«Аналитическая лаборатория экологического мониторинга»



АКТ

О внедрении результатов диссертационного исследования преподавателя-методиста отдела планирования учебного процесса СПб УГПС МЧС России Литовченко Ирины Олеговны тему: «Методика обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках» в практическую деятельность Аналитической Лаборатории Экологического Мониторинга.

Комиссия в составе:

Председателя – начальника отдела охраны окружающей среды
Спирова Н.Л.

Членов комиссии – руководителя группы отдела экологической безопасности канд техн. наук Татарниковой Л.Н., ведущего научного сотрудника отдела радиационного контроля канд. техн. наук Петрова С.И.

Составила настоящий акт в том, что основные положения и выводы диссертационного исследования Литовченко И. О., а именно математические модели описания развития пожаров для оценки потенциальных опасностей на открытых автостоянках внедрены в практическую деятельность аналитической лаборатории экологического мониторинга.

Автомобильный транспорт на углеводородном топливе несет в себе значительную угрозу для окружающей среды, а места его сосредоточения, такие как автостоянки на открытых пространствах, являются источником повышенной экологической опасности, особенно при возникновении такого

ЧС как пожар. Прогнозирование возможного развития пожара в конкретных условиях играет существенную роль в профилактике экологических катастроф техногенного характера при решении сложной задачи создания и поддержания благоприятной экологической среды в пределах мегаполиса.

Имеющиеся в диссертационном исследовании Литовченко И. О. математические решения значительно совершенствуют экологический мониторинг в местах хранения автотранспорта в плане отслеживания и обработки конкретных параметров (критериев), необходимых для получения объективной картины обстановки на заданном объекте и примыкающих зонах.

Методика, приведенная в диссертационном исследовании, может быть применена в том числе и для локального нормирования источников выбросов вредных (загрязняющих) веществ от открытых автостоянок и подобных территорий системе Росприроднадзора.

Председатель комиссии



Спиров Н.Л.

Члены комиссии:



Татарникова Л.Н.



Петров С.И.

УТВЕРЖДАЮ

ВрИО Начальника
Исследовательского центра экспертизы
пожаров
СПб университета ГПС МЧС России,

К. Г. Н.  Мокряк А.Ю.
«20» *августа* 2018 г.

АКТ

О внедрении результатов диссертационного исследования преподавателя-методиста отдела планирования учебного процесса СПб УГПС МЧС России Литовченко Ирины Олеговны тему: «Методика обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках» в практическую деятельность ИЦЭП СПб УГПС МЧС России.

Комиссия в составе:

Председателя – начальника отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров, кандидата технических наук Тумановского А.А.

Членов комиссии – ведущего научного сотрудника отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров, кандидата технических наук Елисеева Ю.Н.; ведущего научного сотрудника отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров, кандидата химических наук Яценко Л.А.

Составила настоящий акт в том, что основные положения и выводы диссертационного исследования Литовченко И. О., а именно методики обеспечивающее снижение пожарной опасности при возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций на открытых пространствах с использованием стохастических моделей внедрены в практическую деятельность ИЦЭП СПб УГПС МЧС России.

В настоящее время отсутствует единая теория и модели, описывающие распространение пожара на открытых территориях с распределенной пожарной нагрузкой. Широко распространённые детерминированные модели развития пожара используют огромное число приближений, усреднений и допущений позволяют лишь приближенно рассчитать процесс распространения опасных факторов пожара. Поэтому весьма актуальным является математическое обоснование принципов обеспечения пожарной безопасности на открытых автостоянках.

В диссертационном исследовании Литовченко И. О. впервые проведено обоснование математических подходов к моделированию развития пожаров в местах хранения автотранспорта. Проведена декомпозиция факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров на объектах хранения автотранспорта. Проведённый выбор основных критериев, влияющих на возникновение и развитие пожаров на открытых автостоянках, позволяет повысить качество технических решений при обеспечении пожарной безопасности создаваемых новых и модернизации существующих объектов рассматриваемого типа.

Обоснование математических подходов для описания стадий развития пожаров на открытых автостоянках обеспечивают повышение качества технических решений при существенном сокращении сроков и их стоимости. Применение перколяционной модели описания развития пожаров на открытых автостоянках способствует принятию эффективных решений при обеспечении пожарной безопасности и тушению пожаров.

Председатель комиссии

 А.А. Тумановский

Члены комиссии:

 Ю.Н. Елисеев

 Л.А. Яценко