

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности  
(наименование института полностью)

---

Департамент магистратуры  
(наименование)

---

20.04.01 Техносферная безопасность  
(код и наименование направления подготовки)

---

Управление пожарной безопасностью  
(направленность (профиль))

---

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Проектирование гарнизонов пожарной охраны на основе технологий имитационного моделирования (на примере Самарского пожарно-спасательного гарнизона)

Студент

А.Н. Осипова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

к.т.н. А.В. Щипанов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Содержание

Введение.....	3
Термины и определения.....	7
Перечень сокращений и обозначений.....	8
1 Проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны.....	9
1.1 Теоретические основы методов имитационного моделирования.....	9
1.2 Общая характеристика г.о. Самара и Самарской области.....	13
1.3 Оперативная обстановка с пожарами в Самарской области.....	17
2 Анализ основных пожарных рисков в г.о. Самара.....	22
2.1 Динамика основных пожарных рисков.....	22
2.2 Деятельность Самарского пожарно–спасательного гарнизона.....	30
2.3 Анализ времени занятости при выездах Самарского пожарно–спасательного гарнизона.....	36
3 Моделирование деятельности Самарского пожарно–спасательного гарнизона.....	43
3.1 Общее описание имитационной системы.....	43
3.2 Адаптация имитационной системы для Самарского пожарно–спасательного гарнизона.....	48
3.3 Проверка адекватности имитационной системы.....	50
Заключение.....	62
Список используемых источников.....	68

## Введение

Актуальность темы продиктована необходимостью качественного скачка в использовании технологии имитационного моделирования в России для анализа и оценки риска в сфере промышленной безопасности, которая обусловлена недостаточной эффективностью управления ПБ. Применение имитационного моделирования позволяет воспроизводить различные ситуации и получать результаты без промежуточных расчетов в кратчайшие сроки.

Развитие городских поселений требует решения большого числа задач по удовлетворению потребностей граждан для создания комфортных условий проживания и профессиональной деятельности, но самое важное направление среди них занимает обеспечение безопасности людей. В данной категории объединены жизнестойкость, жизнеспособность любых объектов производства, военных объектов, социальных, здоровья нации.

Практически каждый день в городах происходят различные аварийные ситуации: транспортные происшествия на дорогах, пожары и др. Они несут людям массу переживаний, доставляют негативные последствия. Одной из самых значительных угроз в современном городе и на производстве следует назвать пожарную опасность, которая может принести колоссальные материальные и людские потери.

Прежде чем принимать решения необходимо предварительно оценить окончательные результаты с помощью имитационного моделирования, цель которого создание моделей рассматриваемых систем и проведение экспериментов с этими моделями.

Под созданием имитационной модели объекта (процесса) следует понимать деятельность по построению компьютерной модели физического объекта (процесса) и её исследование в целях прогноза эффективности при реальной эксплуатации. Имитационное моделирование используется для того, чтобы помочь проектировщикам и инженерам понять, может ли деталь

выйти из строя, при каких условиях и каким образом, и какие нагрузки сможет выдержать.

Объект исследования: Самарский пожарно–спасательный гарнизон.

Предмет исследования: закономерности процесса функционирования Самарского пожарно–спасательного гарнизона г.о. Самара.

Цель исследования: повышение эффективности организационного проектирования Самарского пожарно–спасательного гарнизона г.о. Самара с использованием технологий имитационного моделирования.

Гипотеза исследования состоит в том, что деятельность Самарского пожарно–спасательного гарнизона будет более эффективной, если:

- проведен анализ существующих методов имитационного моделирования.
- сделан выбор в сторону самой оптимальной и проведена оценка адекватности ее применения на рассматриваемом объекте.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны.
- провести анализ основных пожарных рисков в Самарской области.
- осуществить моделирование деятельности Самарского пожарно–спасательного гарнизона.

Теоретико–методологическую основу исследования составили: научные публикации, учебники, учебные пособия по теме исследования.

Методы исследования: методы системного анализа, теории управления и имитационного моделирования.

Опытно–экспериментальная база исследования основана на базе Самарского пожарно–спасательного гарнизона.

Научная новизна исследования заключается в:

- разработке действий по определенному алгоритму, который дает возможность систематизировать компоненты оперативной обстановки с пожарами и их динамики на территории Самарской области.
- разработке моделирующего алгоритма для имитационной модели процесса функционирования Самарского пожарно–спасательного гарнизона, на территории г.о. Самара.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что предлагаемая имитационная модель позволяет воспроизводить весь процесс функционирования Самарского пожарно–спасательного гарнизона с момента вызова до возвращения на место дислокации.

Практическая значимость исследования заключается в том, что произведена модернизация имитационной модели процесса функционирования Самарского пожарно–спасательного гарнизона в рамках г.о. Самара.

Достоверность и обоснованность результатов исследования достигнута за счет использования официальных статистических данных, проверки адекватности имитационной модели.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в участии организации проведения натурных наблюдений и экспериментов средств по обеспечению эффективности пожарной безопасности.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

Участие в международной научной конференции технико–научного журнала «Точная наука», выступление на тему: Теоретические основы методов имитационного моделирования.

На защиту выносятся:

- модель и алгоритм процесса функционирования пожарно-спасательных подразделений исследуемого объекта в рамках общей модели функционирования поисково-спасательных групп города.
- алгоритм оценки возможностей поисково-спасательных групп по оперативному реагированию на крупные пожары и ЧС на основе технологий имитационного моделирования. При сравнении реальных распределений с распределениями, полученными в результате моделирования, было установлено, что расхождение по времени занятости на месте вызова составляет не более от 4 до 67 %. Сравнение реальных данных с результатами моделирования подтвердило адекватность предложенных моделей. Таким образом, можно сделать вывод об их достаточно хорошей сходимости и возможности их использования для дальнейшего исследования.

Работоспособность имитационной модели обеспечивается количеством и качеством исходных данных.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, содержит 25 рисунков, 10 таблиц, список используемой литературы (43 источника). Основной текст работы изложен на 73 страницах.

## Термины и определения

В настоящей работе применяются следующие термины и определения:

Противопожарная защита – это «совокупность организационно–технических мероприятий, конструктивных и объемно–планировочных решений, а также технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материальных потерь от пожара» [33].

Распыленная вода – «вода, которая увеличивает поверхность соприкосновения воды с горящим веществом, быстро превращается в пар и этим способствует тушению пожара» [33].

Огнетушащий состав – «вещества и материалы, обладающие физико–химическими свойствами, которые позволяют создать условия для прекращения горения» [33].

Тепловой поток — это «количество тепловой энергии, которое передается через изотермическую поверхность за единицу времени» [33].

Ороситель тонкораспыленной воды предназначен «для равномерного распыливания воды по защищаемой площади и объему путем создания тонкодисперсного потока огнетушащего вещества» [33].

Пожарный извещатель – «техническое средство, которое устанавливают непосредственно на защищаемом объекте для передачи тревожного извещения о пожаре на пожарный приемно–контрольный прибор и/или оповещения и отображения информации об обнаружении загораний» [33].

## Перечень обозначений и сокращений

В настоящей работе применяются следующие обозначения и сокращения:

ПТВ – пожарно–техническое вооружение;

ПСГ – поисково–спасательная группа;

АЦ – автоцистерна пожарная;

АЛ – автолестница;

ПНС –пожарная насосная станция;

АР – автомобиль рукавный;

АГ – автомобиль газодымозащитной службы;

ПГ – пожарный гидрант;

ПК – пожарный кран;

ГДЗС – газодымозащитная служба;

РТП – руководитель тушения пожара;

НБУ – начальник боевого участка;

НШ – начальник оперативного штаба;

НТ – начальник тыла;

КПП ГДЗС – контрольно–пропускной пункт газодымозащитой службы;

ПБ – пост безопасности;

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания;

ДАСВ – дыхательный аппарат со сжатым воздухом;

ДАСК – дыхательный аппарат со сжатым кислородом;

КОСМАС – Компьютерная Система Моделирования Аварийных Служб.

# **1 Проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны**

## **1.1 Теоретические основы методов имитационного моделирования**

Анализ системных рисков является единой иерархической структурой, включающей изменчивые во времени производственные процессы, возникающие на разных этапах осуществления технологического проекта.

Применяемые на сегодняшний день методы анализа, категорирования и идентификации аварийных ситуаций, используются в первую очередь для исследования возможных последствий аварий на опасных производственных объектах.

Ввиду отсутствия результативной оценки изменяющихся во времени рисков, определение степени надежности полученного результата невозможно, а традиционная концепция о развитии аварийных ситуаций, как установившихся процессов, неверна.

Анализ методов воздействия поражающих факторов при помощи диаграмм причинно–следственных связей «деревья событий и отказов» в различных временных промежутках предполагает выполнение специальных исследований, касающихся моделирования ситуации.

Построение имитационной модели дает возможность обезопасить работу промышленных объектов, повысить их энергоэффективность благодаря снижению расходов на предотвращение и устранение опасных ситуаций.

Моделирование – это имитация работы реального процесса или системы во времени. Акт имитации чего–либо сначала требует разработки модели; эта модель представляет ключевые характеристики или поведение выбранной физической или абстрактной системы, или процесса.

Методы имитационного моделирования используют в разнообразных сферах, таких как логистика, управление цепочками поставок, производственные процессы, здравоохранение, IT и телекоммуникации, наука и образование, строительство, стратегическое управление, управление активами, обслуживание клиентов, социальные исследования, энергетические системы, космос, потребительские товары, маркетинг, бизнес–процессы, моделирование рынка, моделирование грузовых перевозок.

Основное отличие имитационных моделей, входящих в особую группу математических моделей, от аналитических в том, что наличие электронно–вычислительных машин имеет большое значение в ходе их построения.

Имитационное моделирование – это «процесс создания и анализа цифрового прототипа физической модели для прогнозирования ее производительности в реальном мире» [35]. Имитационное моделирование используется для того, чтобы помочь проектировщикам и инженерам понять, может ли деталь выйти из строя, при каких условиях и каким образом, и какие нагрузки сможет выдержать.

«Применение имитационного моделирования включает в себя определенные шаги для успешного построения модели. Независимо от типа проблемы и цели исследования, процесс, с помощью которого выполняется моделирование, остается постоянным» [35].

Ниже кратко описаны основные этапы процесса моделирования:

- определение проблемы. Первоначальный этап включает определение целей исследования и определение того, что должно быть решено. Проблема дополнительно определяется путем объективных наблюдений за процессом, подлежащим изучению. Следует тщательно задуматься над тем, является ли моделирование подходящим инструментом для исследуемой проблемы.
- планирование проекта. Задачи для завершения проекта разбиты на рабочие пакеты с ответственной стороной, назначенной для каждого пакета. Основные этапы указаны для отслеживания прогресса. Этот

график необходим, чтобы определить, достаточно ли времени и ресурсов для завершения.

- определение системы. Этот этап включает в себя идентификацию компонентов системы, которые будут моделироваться, и меры, по предварительной оценке, подлежащие анализу. Часто система очень сложна, поэтому для ее определения требуется опытный симулятор, который сможет найти соответствующий уровень детализации и гибкости.
- формулировка модели. Понимание того, как ведет себя настоящая система, и определение основных требований модели, необходимы для разработки правильной модели. Необходимо создать блок-схему для лучшего представления работы системы, входящих в нее переменных, которые взаимодействуют между собой.
- сбор и анализ входных данных. «После формулирования модели определяется тип собираемых данных. Новые и / или существующие данные собираются. Данные соответствуют теоретическим распределениям. Например, скорость поступления конкретной детали на завод-изготовитель может следовать кривой нормального распределения» [35];
- модельный перевод. Модель переведена на язык программирования. Выбор варьируется от языков общего назначения, таких как Java, или программ моделирования, таких как AnyLogic, Космас.
- проверка и валидация. Проверка обеспечивает задуманное поведение модели, обычно, при помощи отладки или анимации. Проверка важна, но ее проведения недостаточно, то есть модель может оставаться недействительной. «Процесс валидации гарантирует, что между моделью и реальной системой нет существенных различий и что модель отражает реальность. Проверка может быть достигнута с помощью статистического анализа» [35]. Кроме того, номинальная

достоверность может быть получена путем рассмотрения и поддержки модели экспертом;

- эксперименты и анализ. «Экспериментирование включает разработку альтернативной модели, выполнение прогонов и статистическое сравнение производительности альтернативной системы с характеристиками реальной системы» [35];
- документация и внедрение. «Документация состоит из письменного отчета и / или презентации. Результаты и последствия исследования обсуждаются. Наилучший курс действий определен, рекомендован и обоснован» [35].

Итак, анализируя непростую ситуацию, метод имитационного моделирования включает реализацию девяти этапов.

На основании имитационной модели появляется возможность определить, верно ли мы оцениваем процессы, происходящие в исследуемом объекте, и обнаружить параметры порядка, благодаря которым можно построить упрощенные модели сложных событий. Компьютерное моделирование состоит из нескольких видов имитационного моделирования.

#### Виды имитационного моделирования

Агентное моделирование – метод имитационного моделирования, появившийся в 90–е годы 20 века, позволяющий анализировать поведение децентрализованных систем и то, как такое поведение влияет на всю систему в целом. В таком моделировании система представляет собой совокупность субъектов, принимающих решения вне зависимости друг от друга, которых называют агентами.

Каждый агент самостоятельно анализирует ситуацию и принимает решения на основании ряда правил. Агенты могут осуществлять разные поведенческие модели в соответствии с системой, которую они представляют – например, производство, потребление или продажа. Повторяющиеся конкурентные взаимодействия между агентами – это особенность агентного

моделирования, исследовать динамику которых возможно благодаря использованию ЭВМ.

Дискретно–событийное моделирование – это процесс кодификации поведения сложной системы в виде упорядоченной последовательности четко определенных событий. В этом смысле, событие включает в себя конкретное изменение состояния системы в определенный момент времени. Такой вид моделирования используют в следующих отраслях: стресс–тестирование, оценка потенциальных финансовых вложений, а также моделирование процедур и процессов в различных отраслях, таких как производство и здравоохранение.

Системная динамика – метод имитационного моделирования, разработанный Джейм Форрестером в 1950–х годах. Представляет собой исследование взаимосвязи характеристик промышленной деятельности, чтобы продемонстрировать, как организационная структура, усиление (в политике) и временные задержки (в решениях и действиях) взаимодействуют, чтобы повлиять на успех проекта в целом. Данный вид моделирования дает наиболее полное представление причинно–следственных связей между объектами и явлениями.

## **1.2 Общая характеристика г.о. Самара и Самарской области**

Городской округ Самара расположен на левом берегу Волги (Саратовское водохранилище) напротив Самарской Луки, в среднем её течении при впадении в Волгу р. Самара, между устьями рек Самара и Сок. Отдалённость городского округа Самара от Москвы составляет 1098 км к востоку. Крупный транспортный узел железнодорожных линий и автомобильных дорог. Второй по числу жителей город на Волге (после Нижнего Новгорода).

Географические координаты: 53°12′ северной широты и 50°06′ восточной долготы. Протяжённость в меридианном направлении – 50 км, в широтном – 20 км. Высота над уровнем моря 100 метров. Площадь территории города –

около 541 км<sup>2</sup>. с населением 1 171 598 чел. Городской округ Самара по численности населения вошёл в число крупнейших городов России и занял 6 место. На территории г.о. Самара население размещается неравномерно. Наиболее густо заселена центральная часть городского округа. Городское население составляет 80,5%. Плотность населения на территории города составляет 2444,3 человек на км<sup>2</sup>. Наибольшая плотность – в агломерации городского округа Самара до 3847 человек на км<sup>2</sup>.

«На земле жилой и общественно–деловой застройки приходится всего около 14,3% территории городского округа, а на земли, занимаемые производственными объектами – около 10%. При этом городской резерв застройки для размещения объектов гражданского и промышленного строительства составляет 1546 га» [38].

На долю административных районов городского округа приходится 98,4% всех жителей. Самыми многочисленными районами являются: Промышленный – 268,6 тыс. чел. (23,6% всех жителей), Кировский – 229,4 тыс. чел. (20,1%).

«Самарская область расположена в юго–восточной части европейской территории России, в среднем течении крупнейшей в Европе реки Волги, и занимает площадь 53,6 тыс. кв. км, что составляет 0,31% территории России. На севере она граничит с Республикой Татарстан, на юге – с Саратовской областью, на востоке – с Оренбургской областью, на северо–западе – с Ульяновской областью. Губерния протянулась с севера на юг на 335 км и с запада на восток на 315 км» [38].

«Административно–территориальное деление области: 10 городских округов и 27 муниципальных районов. В составе районов – 13 городских и 292 сельских поселения» [38].

«В Самарской области проживает более трех миллионов человек. Основная часть городского населения – жители Самары и Тольятти. Важнейшими биоресурсами области являются заповедники и природные заказники, и в первую очередь, национальный парк Самарская Лука,

Жигулевский государственный заповедник им. И.И. Спрыгина, заповедник Бузулукский бор» [38].

«Область располагает большими запасом полезных ископаемых. Основные из них – нефть и попутный газ. С возведением в 1957 г. Волжской ГЭС важнейшим гидроэнергетическим ресурсом стала вода Жигулевского моря, образовавшегося выше плотины. Выгодное географическое положение способствовало превращению Самарской области в мощный транспортный узел. Здесь проходят важнейшие воздушные линии, железнодорожные, автомобильные, и водные магистрали государственного значения» [38].

«Развитие индустрии позволило Самарской области войти в число крупнейших промышленных регионов России. Промышленный комплекс области – это более 450 крупных и средних и около десяти тысяч малых предприятий. Наибольшее развитие получили такие отрасли промышленности, как машиностроение и металлообработка, топливная, электроэнергетическая, химическая и нефтехимическая, цветная металлургия» [38].

«Машиностроение представлено почти полным набором основных отраслей, среди которых ведущая роль принадлежит автомобильной промышленности. На долю Волжского автомобильного завода приходится около 70% всех легковых автомобилей, выпускаемых в России. В области действует крупный аэрокосмический комплекс. Топливная промышленность по объемам производства занимает второе место в России. Удельный вес производства основных нефтепродуктов, таких, как автомобильный бензин, дизельное топливо, топочный мазут, составляет 10–12%. По территории области проходят три крупнейших российских газопровода: Челябинск – Петровск, Уренгой – Петровск, Уренгой – Новопсков. Предприятия нефтехимической промышленности являются крупнейшими поставщиками синтетического каучука и изделий из пластмасс. Предприятия химической промышленности производят аммиак, различные удобрения, карбамид, желтый фосфор» [38].

Таким образом, «на территории региона сосредоточено много производств и сооружений, опасных (в случае аварии) по возможным последствиям социального, экономического и природоохранного характера. Это требует дальнейшего развития и совершенствования системы предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» [38].

На территории городского округа Самара расположено: 54 – особо важных объекта; 243 – объекта жизнеобеспечения; 77 – объектов государственной власти; 64 – пожароопасных объекта; 18 – взрывоопасных объектов; 12 – объектов с хранением СДЯВ; 6 – объектов ФСБ; 30 – объектов МЧС; 117 – объектов МВД.

На территории городского округа Самара расположено 292 высотных здания, высота которых превышает 27 метров.

«Гарнизонная служба в Самарском территориальном пожарно–спасательном гарнизоне организована в соответствии с Федеральным законом от 21.12.1994 № 69–ФЗ «О пожарной безопасности» [20], приказом МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно–спасательных гарнизонах» [25] и постановлением Правительства Самарской области №15 от 31.01.2008 «О противопожарной службе Самарской области» [24].

«В состав Самарского территориального пожарно–спасательного гарнизона входят подразделения вне зависимости от форм собственности и организационно–правовых форм, к функциям которых отнесены профилактика и тушение пожаров, а также проведение аварийно–спасательных работ, расположенные в административных границах Самарской области» [31].

«Привлечение сил и средств на тушение пожаров и проведение аварийно–спасательных работ осуществляется на основании Плана привлечения сил и средств для тушения пожаров и проведения аварийно–спасательных работ на территории Самарской области и расписаниями

выездов подразделений местных пожарно–спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно–спасательных работ» [31].

На территории Самарской области созданы 5 местных пожарно–спасательных гарнизонов:

- «Самарский местный пожарно–спасательный гарнизон в границах городских округов Самара, Кинель, городского поселения Нефтегорск, муниципальных районов Алексеевский, Богатовский, Большеглушицкий, Большечерниговский, Борский, Волжский, Кинельский, Красноярский, Нефтегорский» [31].
- «Тольяттинский местный пожарно–спасательный гарнизон в границах городских округов Жигулёвск, Тольятти, муниципальных районов Елховский, Иса克林ский, Клявлинский, Кошкинский, Сергиевский, Ставропольский, Челно–Вершинский, Шенталинский» [31].
- «Сызранский местный пожарно–спасательный гарнизон в границах городских округов Октябрьск, Сызрань, муниципальных районов Сызранский, Шигонский» [31].
- «Новокуйбышевский местный пожарно–спасательный гарнизон в границах городских округов Новокуйбышевск, Чапаевск, муниципальных районов Безенчукский, Красноармейский, Пестравский, Приволжский, Хворостянский» [31].
- «Отраденский местный пожарно–спасательный гарнизон в границах городских округов Отрадный, Похвистнево, муниципальных районов Камышлинский, Кинель–Черкасский, Похвистневский» [31].

### **1.3 Оперативная обстановка с пожарами в Самарской области**

Основные статистические показатели, характеризующие оперативную обстановку с пожарами за период с 2016 года по 2020 год сведены в таблице 1.

В таблице проанализируем количество пожаров и возгораний в 2016–2019 годах, количество погибших и травмированных людей, а также динамику данных показателей.

Также для наглядности отразим данные таблицы в графическом виде. По представленным данным можно отметить тенденцию увеличения количества пожаров, которая объясняется увеличением жилой застройки и использованием большего количества электроприборов. Соответственно этой тенденции растут и другие показатели.

Таблица 1 – Основные статистические показатели, характеризующие оперативную обстановку с пожарами за период с 2016 года по 2020 год по Самарской области

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	Динамика 2020/2016
Количество пожаров, ед.	3110	2854	2569	2761	11279	+8169
Количество возгораний	8226	5208	5022	9199	12548	+4322
Погибло людей, чел.	169	154	121	134	158	-11
Получили травмы, чел.	205	168	160	184	207	+2

Отразим данные по количеству пожаров и возгораний на рисунке 1.



Рисунок 1 – Данные по количеству пожаров и возгораний за период с 2016 года по 2020 год по Самарской области

Далее отразим данные по количеству погибших и травмированных людей на рисунке 2.

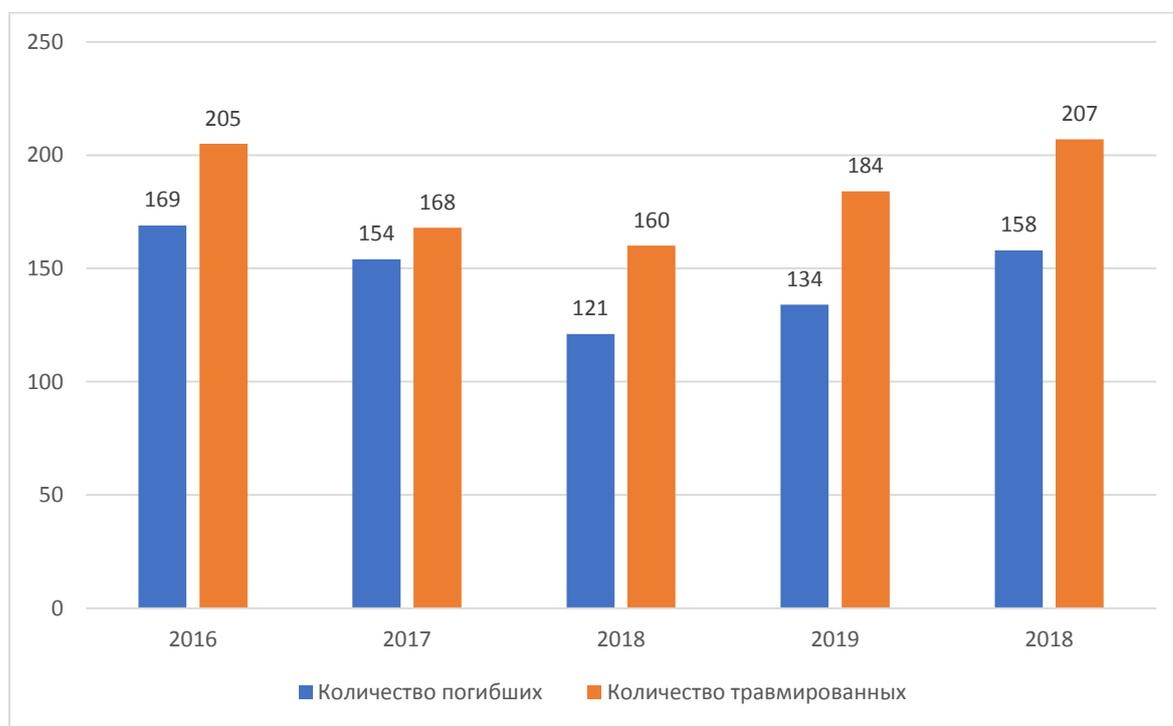


Рисунок 2 – Данные по количеству погибших и травмированных людей за период с 2016 года по 2020 год по Самарской области

Как видно из таблицы 1 и рисунков 1 и 2, несмотря на рост общего количества пожаров (+8169) и количества возгораний (+4322), мы можем наблюдать такую положительную тенденцию как снижение количества гибели людей на пожарах (–11 человек), и примерно стабильную обстановку с травмами (+2 человека).

По повышенным номерам вызова подразделения отряда выезжали:

- пожар 1–БИС – 179 раз;
- пожар №2 – 24 раза;
- пожар №3 – 1 раз.

Необходимо отметить, что в основном личный состав Самарского пожарно–спасательного гарнизона с поставленными задачами по тушению пожаров, спасению людей и материальных ценностей, справился.

Руководители подразделений проводили работу по улучшению состояния службы, пожаротушения, обучению личного состава, что положительно отразилось на исходе тушения пожаров.

За 2020 год в Самарском пожарно–спасательном гарнизоне случаев травматизма личного состава во время несения службы не было.

### **Выводы по разделу**

Итак, по результатам выполнения первого раздела исследования «Проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны», можно сделать вывод о том, что для выполнения цели исследования необходимо провести исследование проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны, проанализировать основные пожарные риски в г.о. Самара, смоделировать деятельность Самарского пожарно–спасательного гарнизона.

Под созданием имитационной модели объекта (процесса) следует понимать деятельность по построению компьютерной модели физического объекта (процесса) и её исследование в целях прогноза эффективности при реальной эксплуатации. Имитационное моделирование используется для того, чтобы помочь проектировщикам и инженерам понять, может ли деталь выйти из строя, при каких условиях и каким образом, и какие нагрузки сможет выдержать.

В первом разделе также дана общая характеристика г.о. Самара и Самарской области.

Городской округ Самара расположен на левом берегу Волги (Саратовское водохранилище) напротив Самарской Луки, в среднем её течении при впадении в Волгу р. Самара, между устьями рек Самара и Сок. Отдалённость городского округа Самара от Москвы составляет 1098 км к востоку. Крупный транспортный узел железнодорожных линий и

автомобильных дорог. Второй по числу жителей город на Волге (после Нижнего Новгорода).

Самарская область расположена в юго–восточной части европейской территории России, в среднем течении крупнейшей в Европе реки Волги, и занимает площадь 53,6 тыс. кв. км, что составляет 0,31% территории России. На севере она граничит с Республикой Татарстан, на юге – с Саратовской областью, на востоке – с Оренбургской областью, на северо–западе – с Ульяновской областью. Губерния протянулась с севера на юг на 335 км и с запада на восток на 315 км. На территории городского округа Самара расположено: 54 – особо важных объекта; 243 – объекта жизнеобеспечения; 77 – объектов государственной власти; 64 – пожароопасных объекта; 18 – взрывоопасных объектов; 12 – объектов с хранением СДЯВ; 6 – объектов ФСБ; 30 – объектов МЧС; 117 – объектов МВД. На территории городского округа Самара расположено 292 высотных здания, высота которых превышает 27 метров.

Изучен состав местных пожарно–спасательных гарнизонов. Охарактеризована оперативная обстановка с пожарами в Самарской области. Несмотря на рост общего количества пожаров (+8169) и количества возгораний (+4322), мы можем наблюдать такую положительную тенденцию как снижение количества гибели людей на пожарах (–11 человек), и примерно стабильную обстановку с травмами (+2 человека).

## **2 Анализ основных пожарных рисков в г.о. Самара**

### **2.1 Динамика основных пожарных рисков**

Развитие городских поселений требует решения большого числа задач по удовлетворению потребностей граждан для создания комфортных условий проживания и профессиональной деятельности, но самое важное направление среди них занимает обеспечение безопасности людей. В данной категории объединены жизнестойкость, жизнеспособность любых объектов производства, военных объектов, социальных, здоровья нации.

Практически каждый день в городах происходят различные аварийные ситуации: транспортные происшествия на дорогах, пожары и др. Они несут людям массу переживаний, доставляют негативные последствия. Одной из самых значительных угроз в современном городе и на производстве следует назвать пожарную опасность, которая может принести колоссальные материальные и людские потери.

«При анализе проблемы безопасности любого объекта рассматриваются два основных понятия – опасность и безопасность. При этом под пожарной опасностью понимают опасность возникновения и развития неуправляемого процесса горения (пожара), приносящего вред обществу, окружающей среде, объекту защиты» [3].

Пожарная безопасность – «состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров» [20].

Достаточно часто опасность может быть лишь потенциальной, её реальное наступление в полном объеме возможно при стечении ряда параметров [12]. В современном мире в последние годы наука стала уделять много внимания развитию теории риска, на базе которой оцениваются и анализируются сложные технические, экономические, экологические системы на предмет их безопасности, прогнозируются вероятные риски не только техногенных ЧС, но и природных. Ранее (вплоть до середины 20–го века)

оценка рисков проводилась лишь в сфере экономики в таких областях как страхование, инвестиции, международные валютные сделки и др.

Профессиональный риск в конкретной сфере экономики определяется показателем, состоящим из годового объема денежных средств, идущих на выплаты по возмещению нанесенного вреда здоровью (в случаях получения травм, профзаболеваний, наступления смерти) сотрудников, исполняющих трудовые или служебные обязательства [2].

«Определение расчетных величин пожарного риска проводится по методикам, утверждаемым Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [21].

Каждая отрасль профессиональной деятельности может иметь свой набор терминов, определений и свои собственные классификации рисков. Так, «пожарный риск – количественная характеристика возможности реализации пожарной опасности и ее последствий для людей и материальных ценностей» [32].

«Федеральный государственный пожарный надзор осуществляется органами государственного пожарного надзора с применением риск–ориентированного подхода» [22]. «Для отдельного вида государственного контроля (надзора) применяются категории риска либо классы опасности» [23]. Для расчета риска применяется специальная методика, которая «устанавливает порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках» [26]. Для производственных объектов существует отдельная методика, которая «устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах» [27]. «Оценка пожарного риска проводится в целях определения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности» [34].

Допустимый пожарный риск – пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально–экономических условий. Исходя

из социально–экономических условий, выделяют следующие виды пожарного риска:

- «индивидуальный;
- социальный» [1].

«В качестве индивидуального пожарного риска (наступление смерти человека от пожара) следует понимать количественную характеристику вероятного наступления смерти человека в следствие оказания на него совокупности опасных факторов при пожаре» [1].

В качестве социального пожарного риска (гибель группы людей от пожара) следует понимать количественную характеристику вероятного наступления смерти нескольких людей (10 и более) в следствие оказания на них совокупности опасных факторов при пожаре [10].

Чтобы иметь более полную информацию обстановки с точки зрения возникновения пожаров в г.о. Самара, в данной работе была применена теория интегральных пожарных рисков, среди которых имеются следующие основные пожарные риски:

- «риск  $R_1$  для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами) за единицу времени. В настоящее время удобно этот риск измерять в единицах пожар/чел. · год» [36];
- «риск  $R_2$  для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой). Здесь единица измерения имеет вид жертва/пожар» [36];
- риск  $R_3$  для человека погибнуть от пожара за единицу времени жертва/ чел. · год [36].

Пожарный риск – это вероятность возникновения пожара, также это опасность пожарной ситуации с оценкой вероятных последствий [11].

Имитационное моделирование – это «процесс создания и анализа цифрового прототипа физической модели для прогнозирования ее производительности в реальном мире» [35].

Для представления информации в полном объеме по вопросу каков уровень пожарной опасности в масштабах области, необходимо знать

пожарную обстановку в городах, точнее в г.о. Самара, для чего в этой работе используются расчеты по текущим пожарным рискам за годовой период (2020 г.). За рассматриваемый период в г.о. Самара проживало 1 млн.156 тыс. граждан, было зарегистрировано 1182 пожара, в которых погибли 27 граждан.

Следовательно, расчеты пожарных рисков выглядят следующим образом:

Риск  $R_1$  для жителя г.о.Самара столкнуться с пожаром рассчитывается по формуле [19]:

$$R_1^{2020} = \left[ \frac{N_{\text{пож}}}{N_{\text{числ}}} \right] \quad (1)$$

где  $N_{\text{пож}}$  – число пожаров;

$N_{\text{числ}}$  – численность населения.

Итак, риск  $R_1$  для жителя г.о.Самара столкнуться с пожаром равен:

$$R_1^{2020} = \left[ \frac{1182}{1156659} \right] = 1,36 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{пожар}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$$

Риск  $R_2$  погибнуть при пожаре рассчитывается по формуле:

$$R_2^{2020} = \left[ \frac{N_{\text{ж}}}{N_{\text{пож}}} \right] \quad (2)$$

где  $N_{\text{ж}}$  – число жертв на пожаре;

$N_{\text{пож}}$  – число пожаров.

Итак, риск  $R_2$  погибнуть при пожаре равен:

$$R_2^{2020} = \left[ \frac{27}{1182} \right] = 2,1 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{\text{жертва}}{\text{пожар}} \right]$$

Риск  $R_3$  для человека погибнуть от пожара за единицу времени рассчитывается по формуле:

$$R_3^{2020} = \left[ \frac{N_{ж}}{N_{числ}} \right] \quad (3)$$

где  $N_{ж}$  – число жертв на пожаре;

$N_{числ}$  – численность населения.

Итак, риск  $R_3$  для человека погибнуть от пожара за единицу времени равен:

$$R_3^{2020} = \left[ \frac{27}{1156659} \right] = 2,63 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{жертва}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$$

На основании фактических данных за год имеем: 1,02 пожаров, пришедшихся на каждую тысячу жителей; на каждые 100 пожаров – 2,28 граждан погибали; на каждые 100000 жителей 2,33 человека погибли.

В масштабах Самарской области вышеприведенные расчеты дают возможность получить сравнительные результаты за тот же период времени при использовании средних значений основных пожарных рисков. В 2019 году население области насчитывало 3179532 жителей, было зарегистрировано 4962 пожар, в которых погиб 91 гражданин.

Для Самарской области все виды рисков рассчитываем по тем же формулам, что и для г.о. Самара.

Таким образом, – риск  $R_1$  для жителя Самарской области столкнуться с пожаром равен:

$$R_1^{2020} = \left[ \frac{4962}{3179532} \right] = 1,26 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{пожар}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$$

Риск  $R_2$  погибнуть при пожаре равен:

$$R_2^{2020} = \left[ \frac{91}{4962} \right] = 2 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{\text{жертва}}{\text{пожар}} \right]$$

Риск  $R_3$  для человека погибнуть от пожара составил%

$$R_3^{2020} = \left[ \frac{91}{3179532} \right] = 2,56 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{жертва}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$$

Полученные результаты показывают: в столице области величины  $R_1$  и  $R_3$  больше среднего областного значения, а величина  $R_2$  приблизительно имеет такое же значение что и по области [18].

Таблица 2 содержит значения по расчетам пожарных рисков областной столицы г. Самара за период с 2010 года по 2020 год включительно.

Таблица 2 – Пожарные риски в г.о. Самара за 2010–2020 гг.

Пожарные риски	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$R_1 \cdot 10^3$	1,16	0,81	1,08	1,15	1,06	1,07	0,8	1,22	0,99	0,99	1,36
$R_2 \cdot 10^2$	4,23	6,73	4,51	1,0	5,43	9,8	3,39	2,32	2,84	2,1	2,1
$R_3 \cdot 10^5$	4,91	5,45	4,9	1,16	5,78	4,46	2,72	2,82	2,82	2,09	2,63

Для более наглядной картины динамика пожарных рисков показана на рисунках 3 – 5.

Данные по основным пожарным рискам в г. Самара за период с 2010 г. по 2020 год включительно имеют следующие значения: величина  $R_1$  изменяется от значения 0,8 до 1,22 пожаров, приходящихся на тысячу жителей, максимальное значение 1,36 приходится на 2020 год; значение риска  $R_2$  возросло к 2015 году до значения 9,8 погибших в ста пожарах, но к 2020 году наметилось снижение числа жертв; значение риска  $R_3$  меняется незначительно в пределах от 2,09 до 5,78 погибших на 100 тыс. жителей за годовой период.

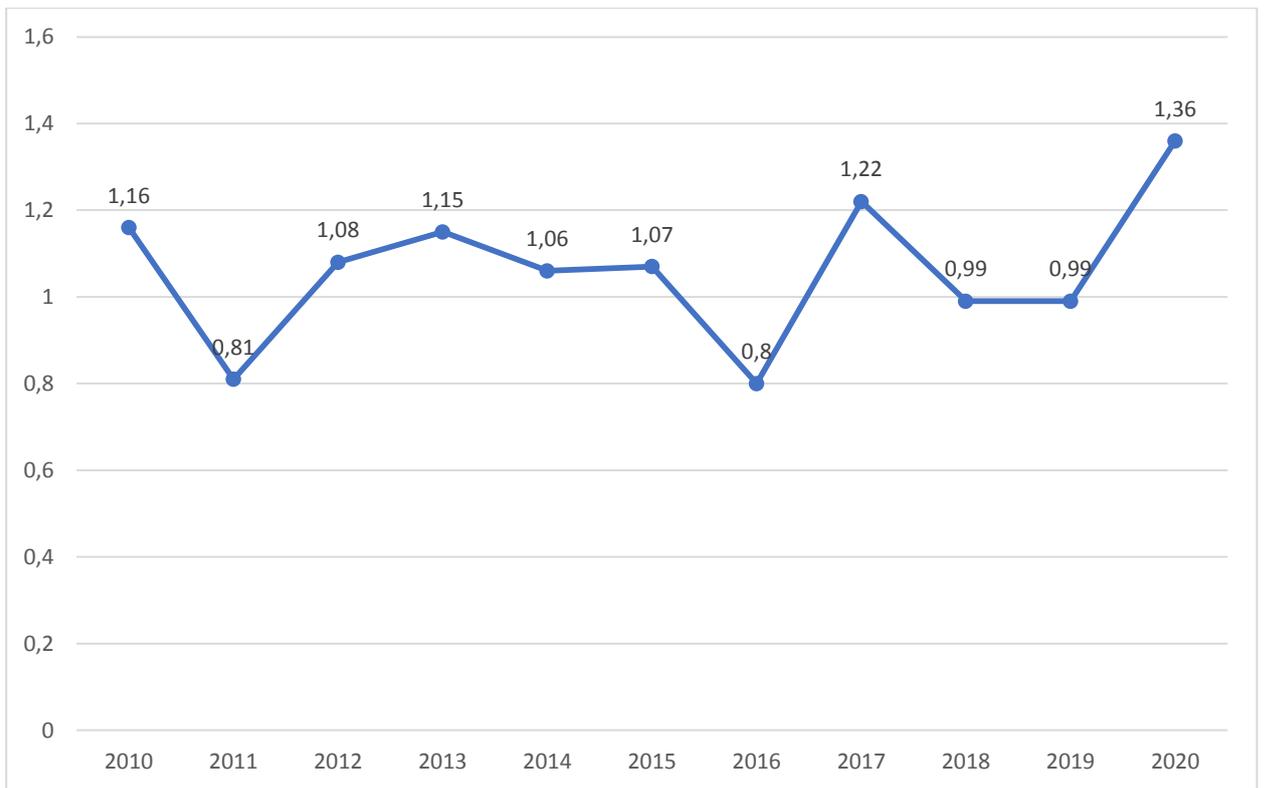


Рисунок 3 – Динамика риска  $R_1$

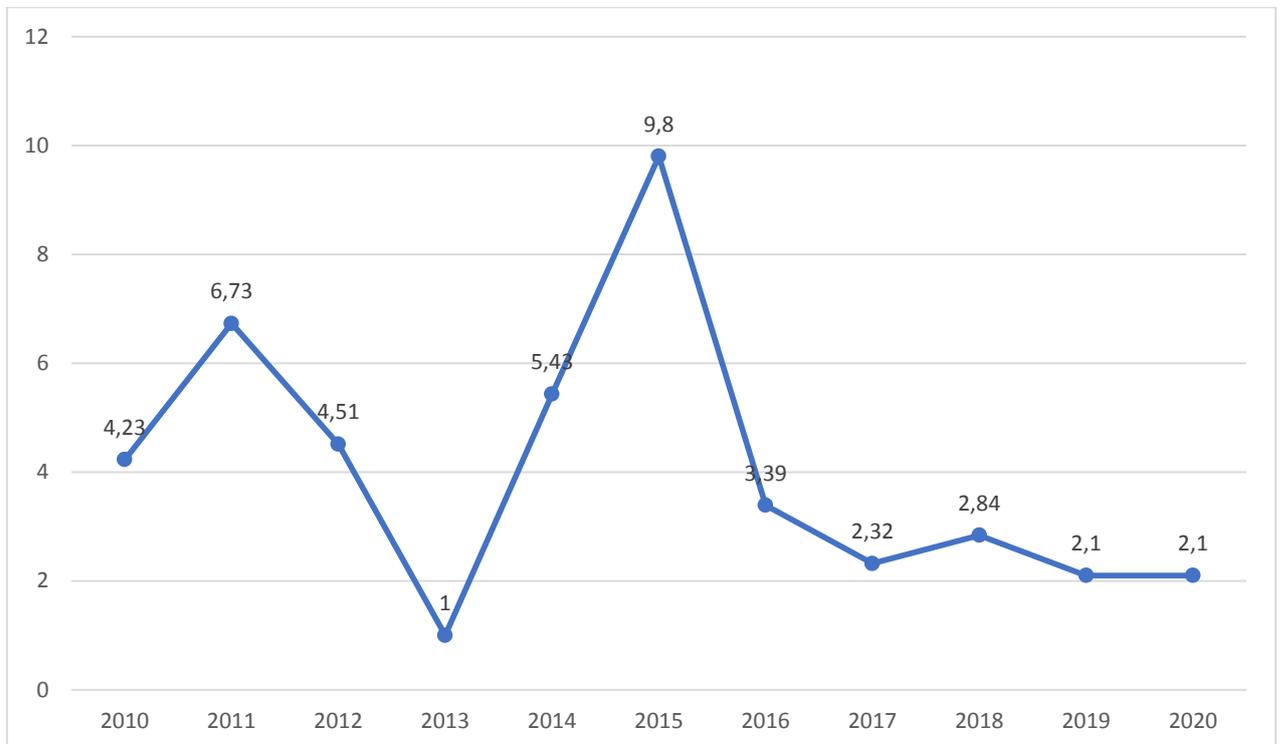


Рисунок 4 – Динамика риска  $R_2$

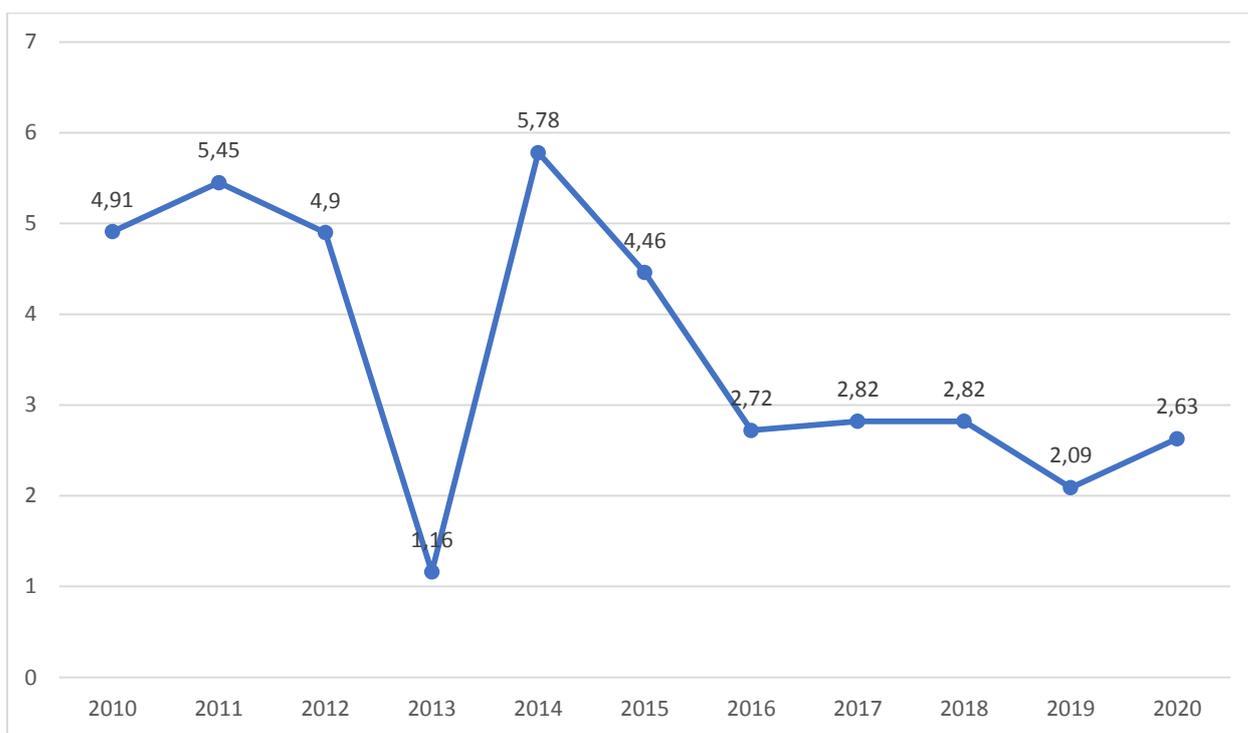


Рисунок 5 – Динамика риска  $R_3$

Для наглядности в данной работе приведем и исследуем динамику по основным пожарным рискам в семи городах мира за 2020 год (таблица 3). «Согласно данным Центра пожарной статистики СТИФ, на 1 тыс. жителей городов мира в среднем приходится 1,4 пожара» [43].

Таблица 3 – Основные пожарные риски в городах мира в 2020 г.

Город	Пожарные риски		
	$R_1 \cdot 10^3$	$R_2 \cdot 10^2$	$R_3 \cdot 10^5$
Москва	0,6	2,9	1,8
Минск	2,1	1	2,1
Бухарест	1	0,7	0,7
Будапешт	2,1	0,5	1
Алматы	0,7	1,9	1,3
Самара	1,36	2,1	2,63
Рига	4	0,5	1,9
Итого	1,7	1,4	1,7

Просмотрев данные из таблицы 3, отмечаем, что за 2020 год в выбранных городах на каждую тысячу жителей регистрировалось 1,7 пожара, в каждой сотне пожаров насчитывалось 1,4 жертв со смертельным исходом, на каждые 100000 жителей пришлось 1,7 человек погибших. Сравнивая данные, следует отметить высокий уровень гибели граждан на пожарах, произошедших в г. Самара.

Таким образом, по итогам анализа территориальных пожарных рисков установлен «объективный уровень пожарной опасности в городе, который показал, что для защиты населения необходимо усилить профилактическую работу среди населения путем расширения методов противопожарной пропаганды и провести работы по дополнительному строительству пожарных депо» [9].

## **2.2 Деятельность Самарского пожарно–спасательного гарнизона**

Под оперативной деятельностью понимается «процесс функционирования ПСГ города, призванной оперативно реагировать на различные ЧС, аварии, пожары, загорания и тому подобные явления» [39]. За период 2020 года сотрудники пожарно–спасательных частей выполнили 51408 тревожных выездов. В областной столице Самара количество выездов, которые выполнялись оперативными подразделениями, значительно больше по сравнению с другими городами.

Приведенный рисунок 6 демонстрирует количественный состав распределения выездов сотрудников пожарно–спасательного гарнизона на объекты появления ЧС за 2020 год.

По фактическим данным из рисунка 6 можно отметить, что большая часть вызовов по тревоге, а это 60,2%, принадлежит объектам жилых строений. Объясняется это тем, что в данном секторе пожаробезопасность имеет не высокий уровень.

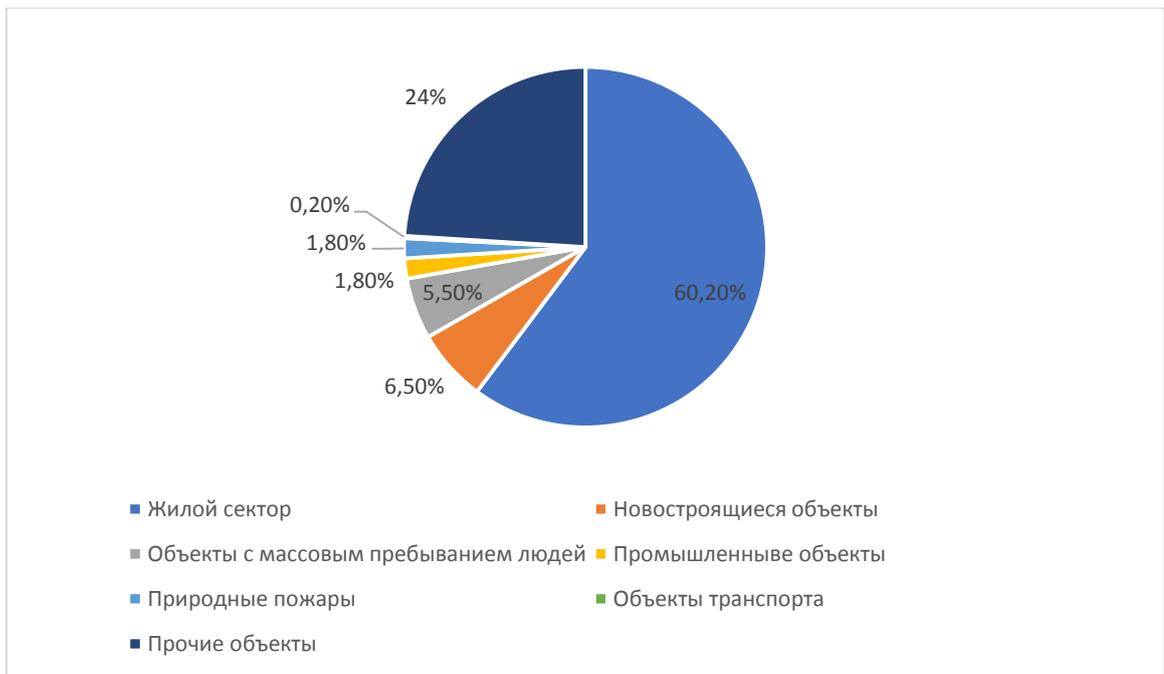


Рисунок 6 – Распределение количества выездов оперативных подразделений по объектам возникновения чрезвычайных ситуаций за 2020 г.

Достаточно часто в ликвидации пожара и его последствий принимают участие не только профессиональные спасатели и пожарные, но и члены из добровольных пожарных формирований, а также сотрудники различных ведомств и служб города (рисунок 7) [17].

В качестве примера, взаимодействие вспомогательных служб наряду с профессиональными спасателями на основе утвержденных планов за 2020 год осуществлялось 636 раз (рисунок 8).

Около 200 случаев, точнее 196, что составило 31% когда привлекались сотрудники полиции, чтобы обеспечить быстрый и беспрепятственный проезд противопожарной техники, либо для проведения идентификации погибших, либо охранять вещественные ценности и пр. Зарегистрировано 184 ситуации, что составило 29% участия в работе спасателей бригад скорой помощи, 167 эпизодов (а это 26%) с использованием помощи от кооперативов собственников жилья. Оставшиеся случаи зафиксировали содействие сотрудников различных служб города: электросети, водоканала, добровольных пожарных формирований.

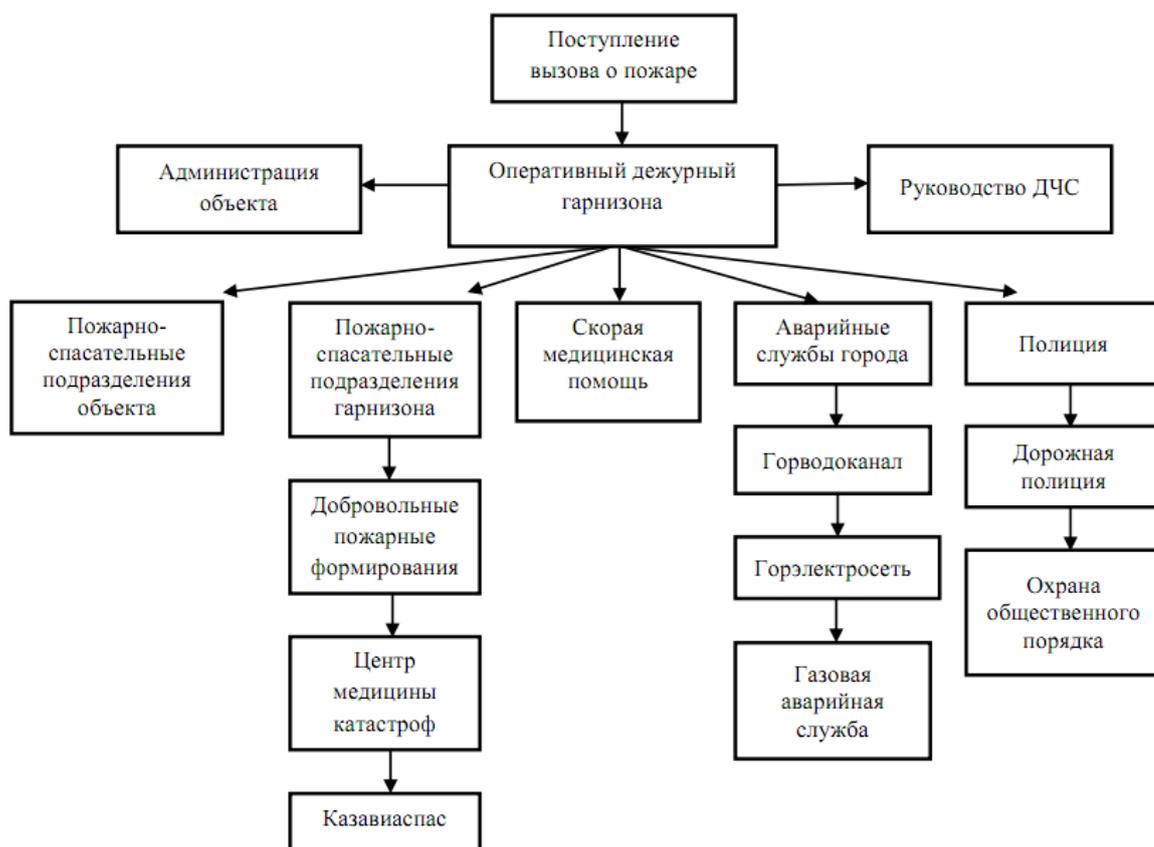


Рисунок 7 – Схема взаимодействия служб при ликвидации крупного пожара на объект

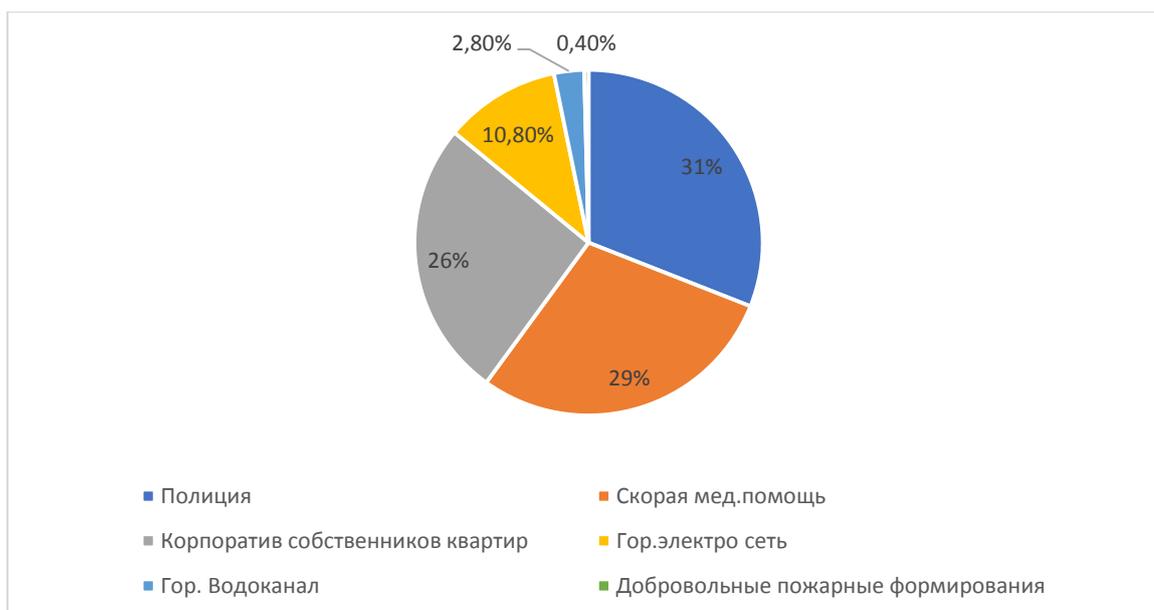


Рисунок 8 – Привлечение вспомогательных служб для ликвидации ЧС

Рисунок 9 демонстрирует как распределялись вызовы по количеству задействованной пожарной техники.

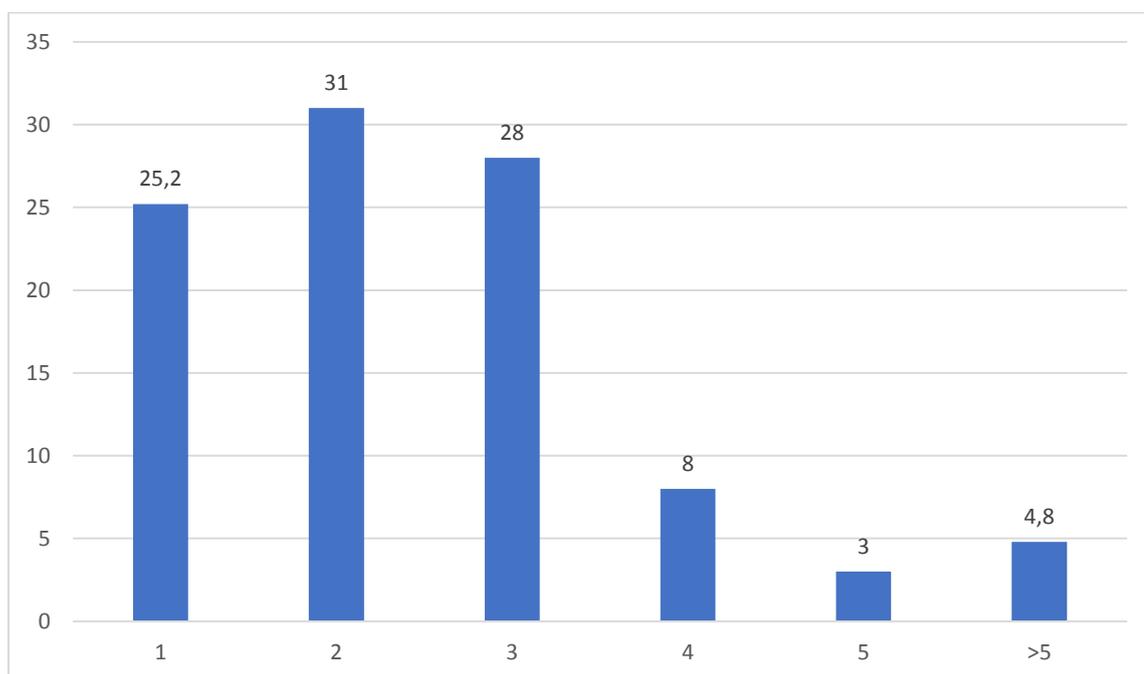


Рисунок 9 – Распределение числа выслаемой пожарной техники по вызовам в 2020 г.

Из рисунка 9 видно, что «на средние и малые пожары, на тушение которых следовали 1–3 единицы специальных пожарных машин составляли 84,2% от всех вызовов; крупные пожары, на тушение которых следовали пять и больше единиц спецтехники составляли 15,8%» [19].

Рисунок 10 отражает данные по боевым действиям сотрудников оперативных подразделений: анализ общего числа чрезвычайных пожарных ситуаций, произошедших на рассматриваемом объекте, показал, что:

- «в 57,7% случаев применялся один ствол емкости автоцистерны;
- в 17,6% случаев задействовались емкости более чем одной автоцистерны;
- в 12,5% случаев производилась установка автоцистерн на источники воды;
- в 12,2% – стволы не подавались» [19].

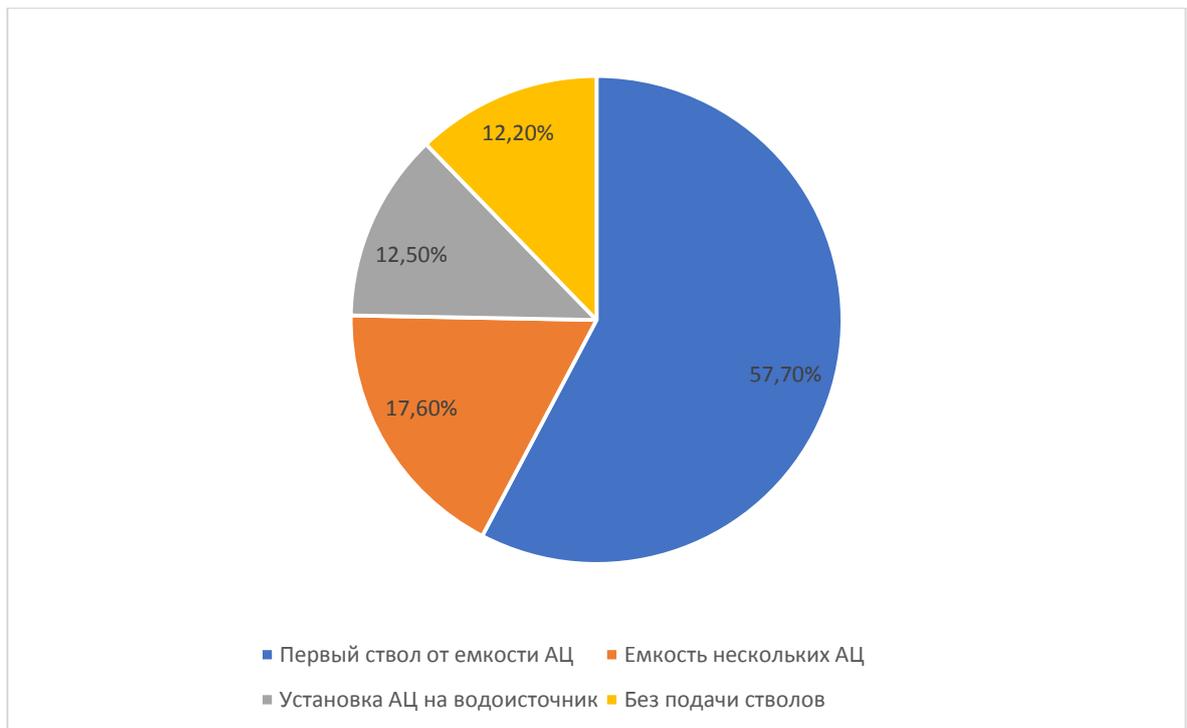


Рисунок 10 – Данные боевой работы оперативных подразделений

Следует обратить внимание на то, что в «реальности число высылаемых по вызовам оперативных отделений может варьироваться в зависимости от складывающейся оперативной обстановки в городе, поэтому реальное распределение высылаемой техники по вызовам несколько отличается от заданного расписанием выездов» [6].

Рисунок 11 демонстрирует применение спецтехники на всех вызовах за период 2020 г. в зависимости от числа машин (техники) и их типа: практически в 80% вызовов были задействованы автоцистерны, т.е. машины основного назначения, поскольку при ликвидации пожаров в жилых массивах часто могут быть различного рода проблемы со снабжением воды из-за чего доставлялся значительный объем огнетушащих средств; в остальных 20% вызовов была задействована различная спецтехника, обеспечивающая спасение граждан со значительной высоты, освещение мест пожара и прилегающей территории, разборку завалов от обрушившихся элементов строений и др. Во всех случаях эвакуированы 628 граждан, из них 10 детей.

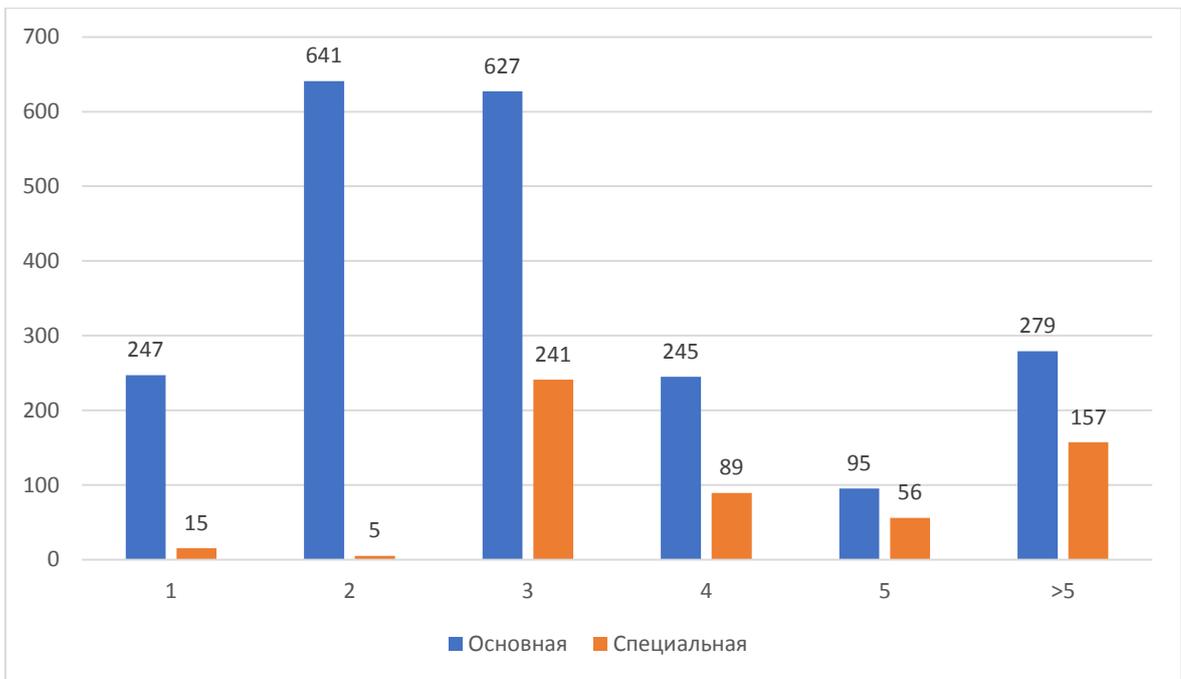


Рисунок 11 – Распределение частоты по количеству единиц и типу пожарной техники, одновременно использовавшейся на вызовах

Данные боевой работы пожарных по спасанию и эвакуации людей представлены на рисунке 12.



Рисунок 12 – Данные боевой работы пожарных по спасанию и эвакуации людей

При этом:

- «в 84% ситуаций люди эвакуировались самостоятельно, покидая опасную территорию;
- в 12,7% случаев эвакуировали потерпевших с применением носилок;
- в 2,7% случаев задействовали различные подъемные механизмы (автолестницы, коленчатые подъемники);
- в 0,6% случаев при спасении людей использовалась запасная маска газодымозащиты и пострадавшим оказывалась доврачебная помощь сотрудниками пожарных подразделений» [19].

«Исходя из анализа оперативной обстановки в городе и перспектив выполнения ПСП дополнительных функций следует ожидать увеличения в будущем числа вызовов пожарных подразделений, т. е. увеличения объема их работы» [7].

«Всё это впоследствии может привести к увеличению времени следования оперативных подразделений к месту вызова, если не принимать мер к наиболее рациональной организации и управлению ПСГ, связанных определением необходимого количества сил и средств службы (пожарных депо, техники, личного состава), рационального размещения их на территории города (в зависимости от изменения городских условий) и управления ими с помощью современных информационных технологий» [8].

### **2.3 Анализ времени занятости при выездах Самарского пожарно-спасательного гарнизона**

Достаточно интересным фактом являются некоторые характеристики деятельности поисково-спасательной группы, особенно временные, среди которых имеется временная характеристика, определяющая количество времени занятости при ликвидации пожара. Как только поступает очередной вызов, тут же передаются указания оперативным подразделениям пожаротушения. В этот момент начинает действовать весь процесс по

обслуживанию данного вызова, имеющий некоторый определенный временной отрезок, в совокупности состоящий из временных параметров действий оперативного персонала.

«Важнейшими параметрами среди них является время следования первого подразделения к месту вызова, время работы на вызове, возвращение в депо и постановка подразделения в боевой расчёт» [16].

Данный интервал времени является суммой нескольких продолжительных промежутков времени:

- «время следования;
- время разведки и боевого развертывания;
- время локализации пожара;
- время разборки конструкций и проливки;
- время постановки в боевой расчет» [15].

«Указанные временные характеристики процесса пожаротушения являются непрерывными случайными величинами и могут быть описаны соответствующими функциями распределения и числовыми характеристиками» [5].

«Наибольшее значение для математического моделирования имеет время обслуживания вызовов. Эту величину необходимо знать, прежде всего, для обоснования численности оперативных отделений ПСГ» [4]. В работе дано подробное математическое описание этого процесса, воспользуемся некоторыми положениями из этой работы.

На основании статистических данных за 2020 год в таблице 4 представлены сведения о времени занятости ПСП по выездам на ДС.

Таблица 4 – Распределение боевых выездов случайного характера по времени занятости подразделений 2020 г.

Интервал времени работы, ч.	Число случаев, ед.	Число случаев, %
1	2	3
0,25	388	36,3

Продолжение таблицы 4

1	2	3
0,5	335	31,4
1,0	239	22,4
2,0	69	6,5
>2	36	3,4

Из таблицы 4 видно, что в 91 % случаев ПСП ликвидировали ДС до 1 часа. «Используя табличные данные, можно найти среднее время обслуживания одного вызова, согласно формуле» [37]:

$$\tau_{обсл} = \frac{n_1 \cdot t_{сл} + n_2 \cdot t_{разв} + n_3 \cdot t_{лок} + n_4 \cdot t_{разб} + n_5 \cdot t_{расч}}{\sum n} \quad (4)$$

где « $n_1 \dots n_5$  – количество случаев ликвидации возгораний;

$t_{сл}$  – время следования;

$t_{разв}$  – время разведки и боевого развертывания;

$t_{лок}$  – время локализации пожара;

$t_{разб}$  – время разборки конструкций и проливки;

$t_{расч}$  – время постановки в боевой расчет» [37].

Итак, среднее время обслуживания одного вызова:

$$\tau_{обсл} = \frac{388 \cdot 7,5 + 335 \cdot 22,5 + 239 \cdot 45 + 69 \cdot 90 + 36 \cdot 150}{1067} = 30,8 \text{ мин.}$$

Чтобы представить распределение вероятностей, где  $\tau_{обсл}$  есть время занятости ПСП обслуживанием вызова, через показательный закон распределения, следует предварительно «знать величину параметра, который называется интенсивностью высвобождения оперативных подразделений из процесса обслуживания вызова» [14].

Значение параметра  $\mu$  оценивается по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\tau_{обсл}} \quad (5)$$

где « $\mu$  – интенсивность потока «освобождения» пожарных подразделений от обслуживания вызовов;

$\tau_{обсл}$  – среднее время обслуживания одного вызова» [14].

Рассчитываем:

$$\mu = \frac{1}{30,8} = 0,032$$

«Определив величину  $\mu$ , значения эмпирических данных, приступаем к определению вероятности попадания  $\tau_{обсл}$  в некоторый временной интервал с помощью формул» [14]:

$$P\{\tau_{обсл} \geq \tau\} = e^{-\mu\tau} \quad (6)$$

$$P\{\tau_{обсл} < \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau} \quad (7)$$

$$P\{\tau_1 \leq \tau_{обсл} < \tau_2\} = e^{-\mu\tau_1} - e^{-\mu\tau_2} \quad (8)$$

где « $\tau_{обсл}$  – среднее время обслуживания одного вызова;

$\mu$  – интенсивность потока «освобождения» пожарных подразделений от обслуживания вызовов;

$\tau, \tau_1, \tau_2$  – интервалы попадания» [14].

Для любого конкретного временного интервала, обозначенного  $j$  определяем значение теоретической частоты вызовов  $f_j$  и время обслуживания вызова, величина этих параметров будет находиться в границах  $j$  интервала через следующую формулу:

$$f_j = NP_j \quad (9)$$

где « $f_j$  – теоретическая частота вызовов;

$N$  – длительность времени обслуживания;

$P_j$  – вероятность попадания значения в пределы границ интервала»

[14].

Результаты расчетов теоретического и эмпирического распределений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Эмпирическое и теоретическое распределения длительности времени обслуживания вызовов ПСП в г.о. Самара в 2019 г.

Номер интервала $j$	Границы интервала		Распределения			
	$\tau_j^H$	$\tau_j^K$	Эмпирическое		Теоретическое	
			Частота $m_j$	Вероятность $\omega_j$	Частота $f_j$	Вероятность $p_j$
1	0	15	388	0,38122	406,8	0,38126
2	15	30	335	0,23589	251,7	0,23589
3	30	60	239	0,23628	252,1	0,23627
4	60	120	69	0,12512	133,5	0,12512
5	120	$\infty$	36	0,02149	22,9	0,02146
Всего:			1067	1,0000	1067	1,0000

Данные таблицы 5 также отразим на рисунке 14.

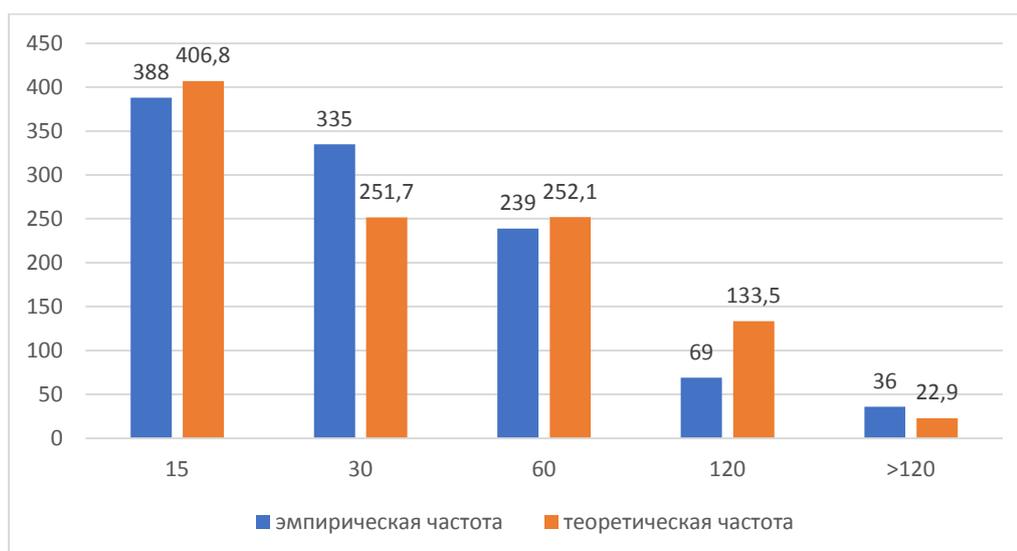


Рисунок 14 – Эмпирическое и теоретическое распределение длительности времени обслуживания вызовов ПСП в городе

Информация из таблицы 5 и рисунка 14 позволяет прийти к выводу: соответствие между теоретическим и эмпирическим значениями распределения времени занятости сотрудников пожарного подразделения на процесс ликвидации, носящего случайный характер, имеет удовлетворительное состояние. Полученные результаты позволяют применять распределение Эрланга в данной работе в качестве модельного распределения времени занятости ПСП [13].

### **Выводы по разделу**

Анализируя данные, полученные в ходе исследования по второму разделу, можно сказать, что данные по основным пожарным рискам в г. Самара за период с 2010 г. по 2020 год включительно имеют следующие значения: величина  $R_1$  изменяется от значения 0,8 до 1,22 пожаров, приходящихся на тысячу жителей, максимальное значение 1,36 приходится на 2020 год; значение риска  $R_2$  возросло к 2015 году до значения 9,8 погибших в ста пожарах, но к 2020 году наметилось снижение числа жертв; значение риска  $R_3$  меняется незначительно в пределах от 2,09 до 5,78 погибших на 100 тыс. жителей за годовой период.

Также в разделе приведена и исследована динамика по основным пожарным рискам в семи городах мира за 2020 год. За 2020 год в выбранных городах на каждую тысячу жителей регистрировалось 1,7 пожара, в каждой сотне пожаров насчитывалось 1,4 жертв со смертельным исходом, на каждые 100000 жителей пришлось 1,7 человек погибших. Сравнивая данные, следует отметить высокий уровень гибели граждан на пожарах, произошедших в г. Самара.

Во втором разделе изучена деятельность Самарского пожарно-спасательного гарнизона. Можно отметить, что большая часть вызовов по тревоге, а это 60,2%, принадлежит объектам жилых строений. Объясняется это тем, что в данном секторе пожаробезопасность имеет не высокий уровень. На средние и малые пожары, на тушение которых следовали 1–3 единицы специальных пожарных машин составляли 84,2% от всех вызовов; крупные

пожары, на тушение которых следовали пять и больше единиц спецтехники составляли 15,8%. Анализ общего числа чрезвычайных пожарных ситуаций, произошедших на рассматриваемом объекте, показал, что: в 57,7% случаев применялся один ствол емкости автоцистерны; в 17,6% случаев задействовались емкости более чем одной автоцистерны; в 12,5% случаев производилась установка автоцистерн на источники воды; в 12,2% – стволы не подавались.

Анализируя процессы эвакуации, можно отметить, что в 80% ситуаций люди эвакуировались самостоятельно, покидая опасную территорию; в 12,7% случаев эвакуировали потерпевших с применением носилок; в 2,7% случаев задействовали различные подъемные механизмы [41].

Исходя из проанализированной информации можно сделать предположение о том, что в будущем количество вызовов должно увеличиться, что обязательно скажется на увеличении объема работы пожарных подразделений.

Следующим этапом во втором разделе проведен анализ времени занятости при выездах Самарского пожарно–спасательного гарнизона. Представлены статистические данные за 2020 год о времени занятости ПСП по выездам на ДС, в 91 % случаев ПСП ликвидировали ДС до 1 часа.

По результатам расчетов теоретического и эмпирического распределений можно сделать вывод: соответствие между теоретическим и эмпирическим значениями распределения времени занятости сотрудников пожарного подразделения на процесс ликвидации, носящего случайный характер, имеет удовлетворительное состояние. Полученные результаты позволяют применять распределение Эрланга в данной работе в качестве модельного распределения времени занятости ПСП [13].

### **3 Моделирование деятельности Самарского пожарно–спасательного гарнизона**

#### **3.1 Общее описание имитационной системы**

Современные цифровые информационные технологии становятся неотъемлемой частью модернизации оперативной работы поисково–спасательных групп (ПСГ), работы структуры управления. Для достижения поставленных целей, опирающихся на принципы организации ПСГ в местах городских и сельских поселений, требуются современные и перспективные средства, позволяющие провести анализ оперативной работы ПСГ, оценить эффективность этой работы.

Информационные технологии предлагают возможности провести данное исследование через имитационное моделирование, позволяющее имитировать любые ситуации с любой степенью детализации требуемых операций. Такой способ исследования может опираться на значительное число входных характеристик (параметры), которые определяют условия поселения, ПСГ, описывают процесс деятельности ПСГ и обеспечивает рассмотрение множества комбинационных вариантов.

По итогам анализа известных технических решений, были выделены следующие патенты в области имитационного моделирования:

Патент 189083. Имитационная система средств пожарной сигнализации, которая позволяет расширить функциональные возможности предыдущих моделей [28].

Патент 2207631. Имитационная система охранно–пожарной сигнализации, которая «обеспечивает возможность работы с каналобразующей аппаратурой любых современных электронных цифровых АТС, соединенных между собой волоконно–оптическими каналами связи, расширение зоны охраны объектов каждым пультом централизованного наблюдения (ПЦН) в зоне действия АТС, а также обеспечение возможности

организации любой структуры глобальной сети связи в комплекте аппаратуры АТС системы охранно– пожарной сигнализации между локальными сетями связи» [29].

Патент 2419148. Имитационная система распознавания пожаров на поверхности земли, которая позволяет «повысить достоверность распознавания пожаров [30].

Для обеспечения таких исследований Академией ГПС МЧС России создана имитационная модель КОСМАС – Компьютерная Система Моделирования Аварийных Служб, зарекомендовавшая себя как эффективная не только в нашей стране, но и за рубежом.

КИС (компьютерная имитационная система) – это имитационная модель для сложных процессов, состоящая из ряда простых моделей, описывающих определенный самостоятельный участок процесса.

Компьютерную систему моделирования аварийных служб (КОСМАС) следует рассматривать в качестве программного продукта представляющего алгоритм совокупности всевозможных деталей деятельности ПСГ. Данная моделирующая система представляет территорию поселения как дорожную сеть с пространством, где дислоцируются определенные объекты (ПСП, больницы, депо с техникой и пр.).

Воссоздавая (имитируя) набор любых условий в деятельности ПСГ, пользователь получает самые подходящие и экономически выгодные организационные структуры ПСГ.

На рисунках 15–18 представлены некоторые фрагменты работы системы, в частности на рисунках 15 и 16 отображены несколько фрагментов работы системы, адаптированной к условиям г.о. Самары. На рисунке 17 представлен пример выгрузки из программы зоны покрытия города при существующем варианте дислокации пожарных депо г.о. Самары. На рисунке 18 показан участок имитации прибытия оперативных подразделений г.о. на подконтрольный объект.

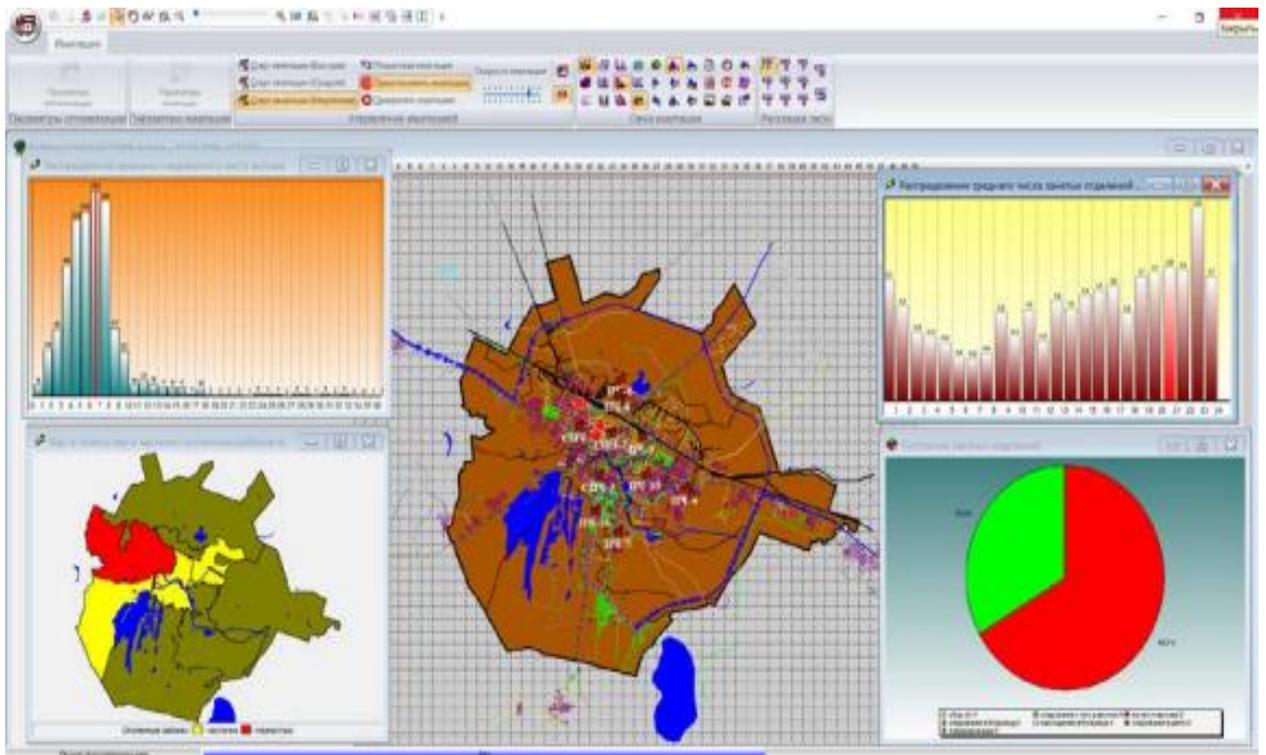


Рисунок 15 – Фрагмент работы КИС, адаптированной к условиям ПСГ города Самары

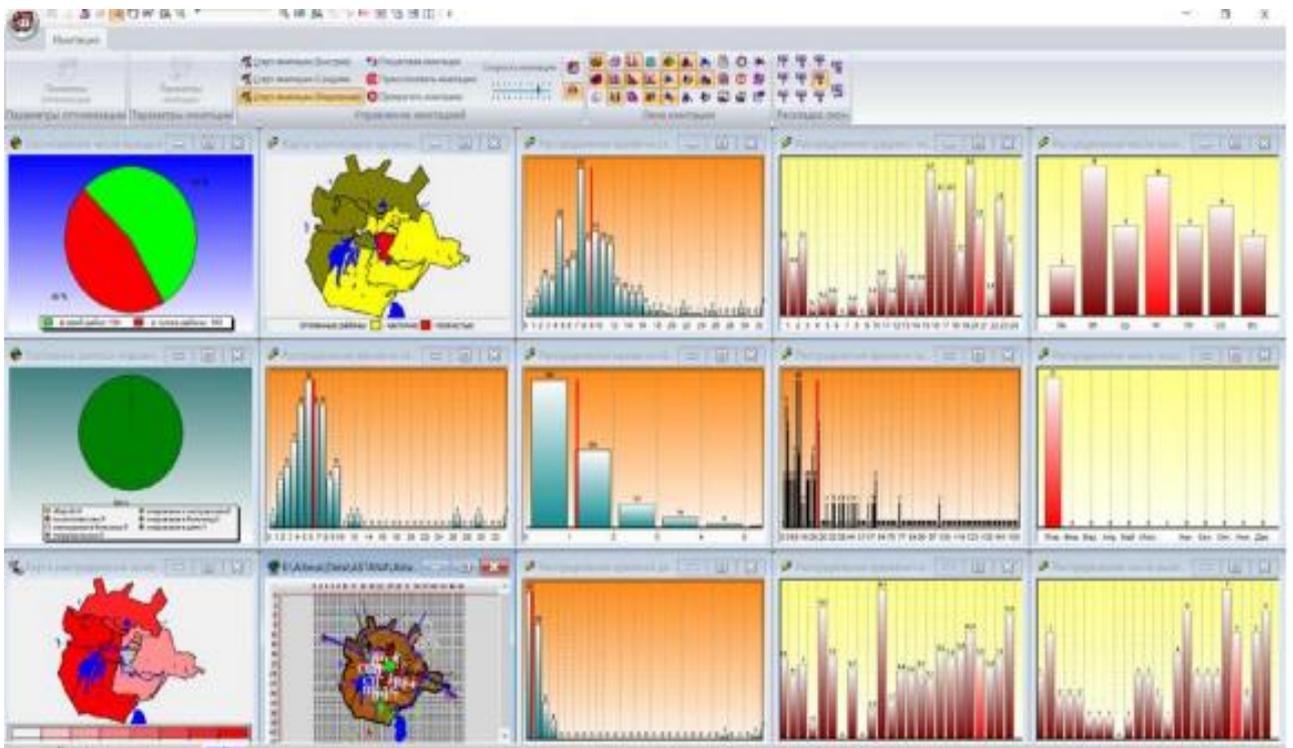


Рисунок 16 – Фрагмент работы КИС, адаптированной к условиям ПСГ города Самары

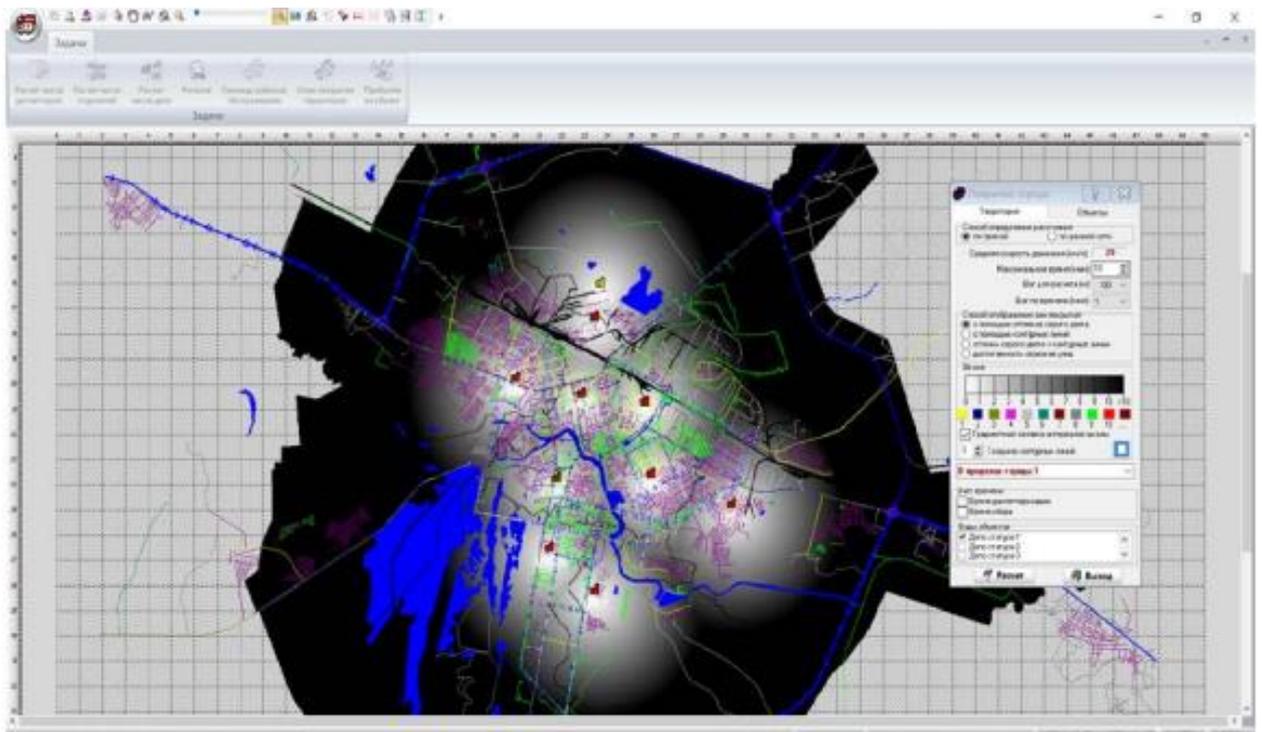


Рисунок 17 – Фрагмент зоны покрытия города при существующем варианте дислокации пожарных депо

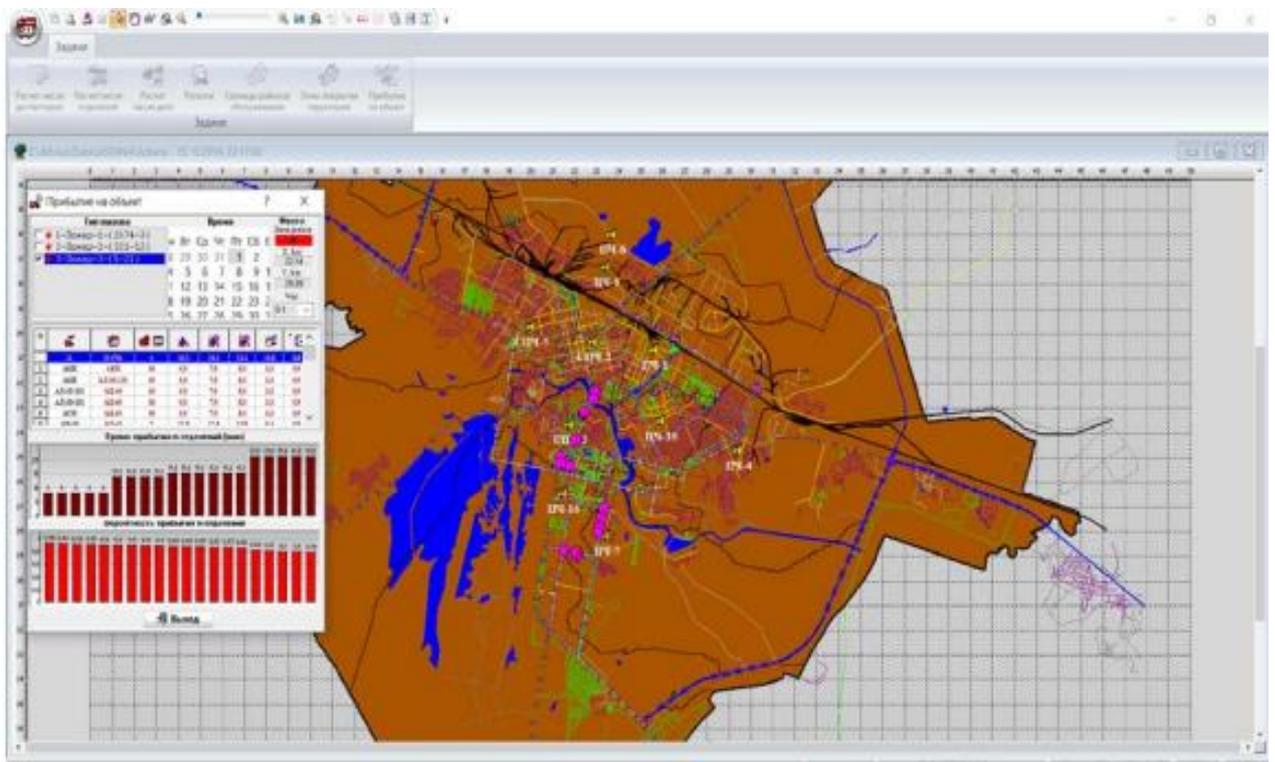


Рисунок 18 – Фрагмент имитации прибытия оперативных подразделений на объект

КИС КОСМАС может использоваться в проведении экспертных исследования оперативных действий, в общем исследовании, при исследовании перспективного развития ПГС, что обеспечивается тремя этапами применения.

На первом этапе проходит адаптация системы: осуществляются настройки имитационной модели под условия конкретной территории, ПСГ, для чего проводят полный набор необходимых параметров, проводят обработку информации, вводят данные в имитационную систему [42].

На втором этапе анализируется работа КИС: с помощью ряда проведенных имитационных ситуаций (прогоны) на компьютере проверяется соответствие полученных результатов реальным обстановкам через сравнение параметров от деятельности виртуальной системы с деятельностью реальной системы, после чего при необходимости корректируются данные. В основном для установления адекватности работы имитационной модели этого этапа необходимо провести для проверки несколько прогонов с разными данными на протяжении одного года на основных статистических распределениях:

- «распределение плотности потока вызовов во времени (по месяцам года, дням недели, часам суток);
- распределение плотности потока вызовов по территориальным единицам исследуемой территории;
- распределение плотности потока вызовов по «типам вызовов» (число вызываемой техники по вызовам);
- по распределению временных характеристик обслуживания вызовов (время диспетчеризации, сбора и выезда, следования к месту вызова, работы на месте вызова и др.)» [40].

Можно сказать, что адекватность модели приближена к погрешности модели, т.е. модель практически соответствует реальности при незначительных значениях погрешности.

На третьем этапе проводится само исследование как череда многих имитационных экспериментов, целью которых является анализ и оценка ПСГ в самых разных условиях деятельности.

В процессе проведения ряда экспериментов вносят изменения в регулируемые параметры системы (это почти все входные данные), тем самым изучается степень влияния изменений на работу ПГС.

Вначале проверяют работу модели на действительно существующих ряда условий работы ПГС, после того вносят изменения в нужный параметр и проводят несколько экспериментов для сравнения результатов, далее проводят оценку изменений параметров работы системы.

С помощью имитационной модели исследуются воздействия каких-либо принятых управляющих действий на все параметры работы системы. По окончании экспериментов можно проводить анализ работы ПГС на основе полученных выходных параметров.

### **3.2 Адаптация имитационной системы для Самарского пожарно-спасательного гарнизона**

КИС КОСМАС в целях исследований своевременности прибытия ПСГ к месту, на котором может возникнуть крупный пожар или аварийная чрезвычайная ситуация в пределах городского поселения подверглась модернизации (2016 г.), затем адаптировалась под условия г. Самара.

Следует предусмотреть в имитационной модели регулярно появляющиеся перемены на городской территории (новые объекты, улицы, транспортные развязки и пр.), а также изменения в ПСГ (новые пожарные депо, количества оперативных служб и их разновидности, число сотрудников), изменения в условиях работы (количество вызовов, интенсивность вызовов и др.). Именно наличие таких предъявляемых условий требует постоянного внесения обновлений входных параметров системы.

Обеспечить работоспособность системы и ее эффективность позволило введение ряда входных параметров, разделенных по блокам:

«Топографические параметры города – данный блок содержит актуализированную и обработанную соответствующими программными средствами обновлённую электронную карту города, которая содержит следующие векторные примитивы» [16]:

- «контур исследуемой территории – 1 полигон;
- дорожная сеть – 32 666 отрезков, общей протяженностью 2 521 км;
- реки и водоемы – 80 полигонов;
- железнодорожные пути – 223 отрезков;
- районы города – 3 полигона;
- здания и сооружения – 16 248 полигонов;
- места дислокации подразделений ПСГ – 10 точек» [16].

«Параметры ПСГ – исходными данными в этом блоке является» [16]:

- «10 пожарных депо;
- число и типы оперативных отделений, их параметры;
- распределение оперативных отделений по пожарным депо;
- численность личного состава;
- расписание режимов работы» [16].

«Статистические параметры деятельности оперативных подразделений ПСГ – данный блок включает в себя» [16]:

- «распределение плотности потока вызовов подразделений во времени (по месяцам, дням недели и часам суток);
- распределение плотности потока вызовов в пространстве (по территориальным единицам);
- структура вызовов;
- частота использования различных типов и численности оперативных отделений на вызовах» [16].

### 3.3 Проверка адекватности имитационной системы

В процессе адаптации КИС для современных условий города и его ПСГ вся необходимая исходная информация была введена в КИС, произведена настройка системы и проведена проверка адекватности результатов моделирования, полученных на системе КОСМАС, реальным данным оперативной деятельности ПСГ Самары за 2018–2020 годы.

«Обязательным требованием, предъявляемым к любой математической модели какого-либо процесса, является ее адекватность действительности, т. е. достаточно точное для практического использования этой модели описание реального процесса» [16].

В данном случае проверка производилась на основании результатов серии «прогонов» модели на отрезке времени, равным одному году по основным статистическим распределениям: «распределение вызовов во времени (по месяцам года, дням недели, часам суток), по территории города, по типам вызовов (числу вызываемой техники по вызовам), по времени следования к месту вызова и времени обслуживания вызовов» [16].

«При сравнении реальных распределений с распределениями, полученными в результате моделирования, было установлено, что расхождения составляют: по месяцам года от 1–16 %, по дням недели не более от 0–8 %, по часам суток от 2–51 %» [16].

В таблице 6 рассмотрено распределение числа вызовов по месяцам.

Таблица 6 – Распределение числа вызовов по месяцам

Месяцы года	Число вызовов			Доля, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	Расхождение, %	
1	2	3	4	5
Январь	231	228	0,8	7,29
Февраль	218	234	7,01	8,31
Март	178	166	5,99	6,01
Апрель	320	316	3,01	9,89

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5
Май	258	249	1,01	9,01
Июнь	251	222	14,1	6,9
Июль	256	239	1,1	7,9
Август	259	279	9,2	10,6
Сентябрь	333	321	4,3	11,1
Октябрь	271	242	11,1	8,2
Ноябрь	252	289	17,1	10,4
Декабрь	212	220	0,9	6,8
Всего	3112	3014	0,72	100

Отразим данные таблицы 6 в графическом виде на рисунке 19.

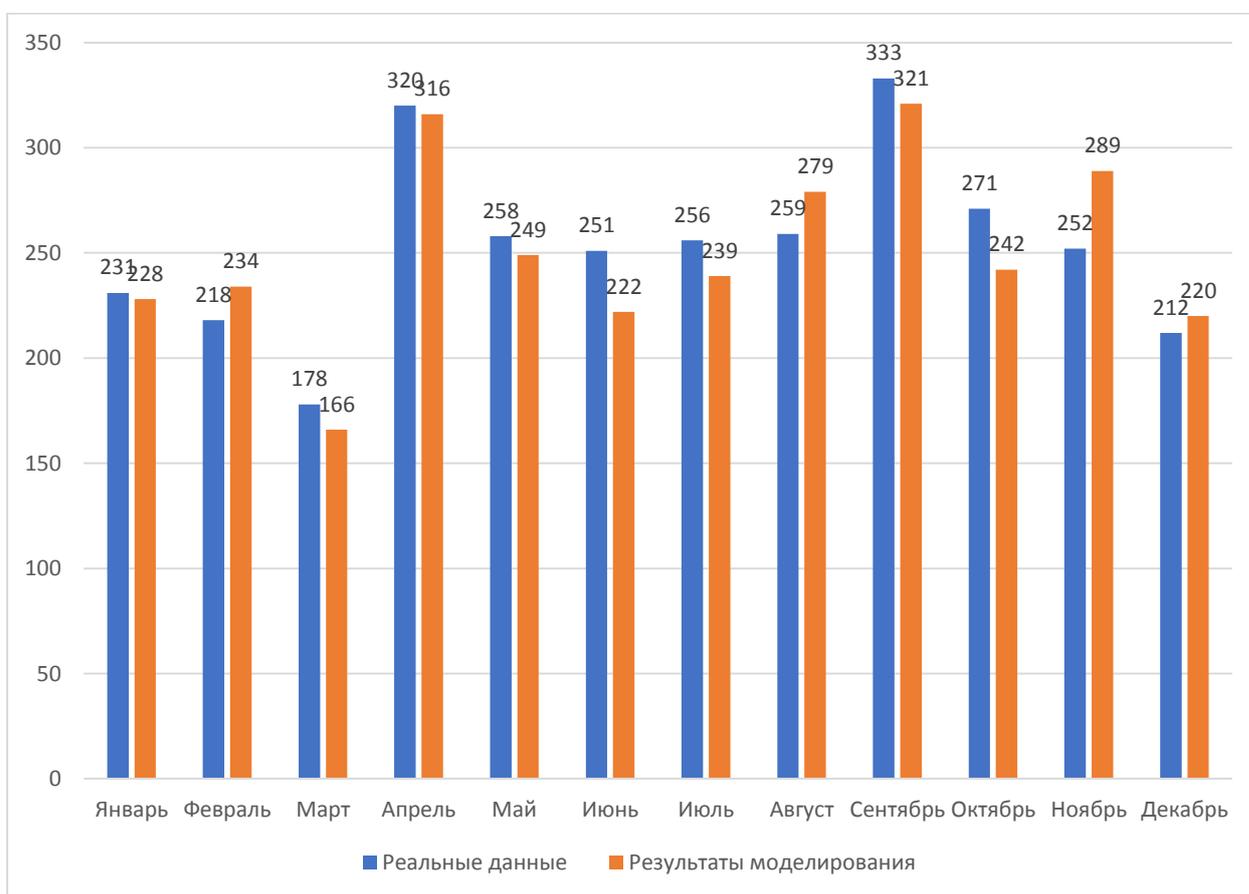


Рисунок 19 – Распределение реальных данных с результатами моделирования вызовов по месяцам

Распределение числа вызовов по дням недели отражено в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение числа вызовов по дням недели

Дни недели	Число вызовов			Доля, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	Расхождение, %	
Понедельник	399	369	6,1	13,1
Вторник	458	449	0,31	14,9
Среда	441	438	1,3	15,2
Четверг	442	437	2,2	15,9
Пятница	424	406	4,3	14,23
Суббота	439	441	1,12	16,47
Воскресенье	354	379	8,21	12,87
Всего	2988	2899	0,59	100

Отразим данные таблицы 7 в графическом виде на рисунке 20.

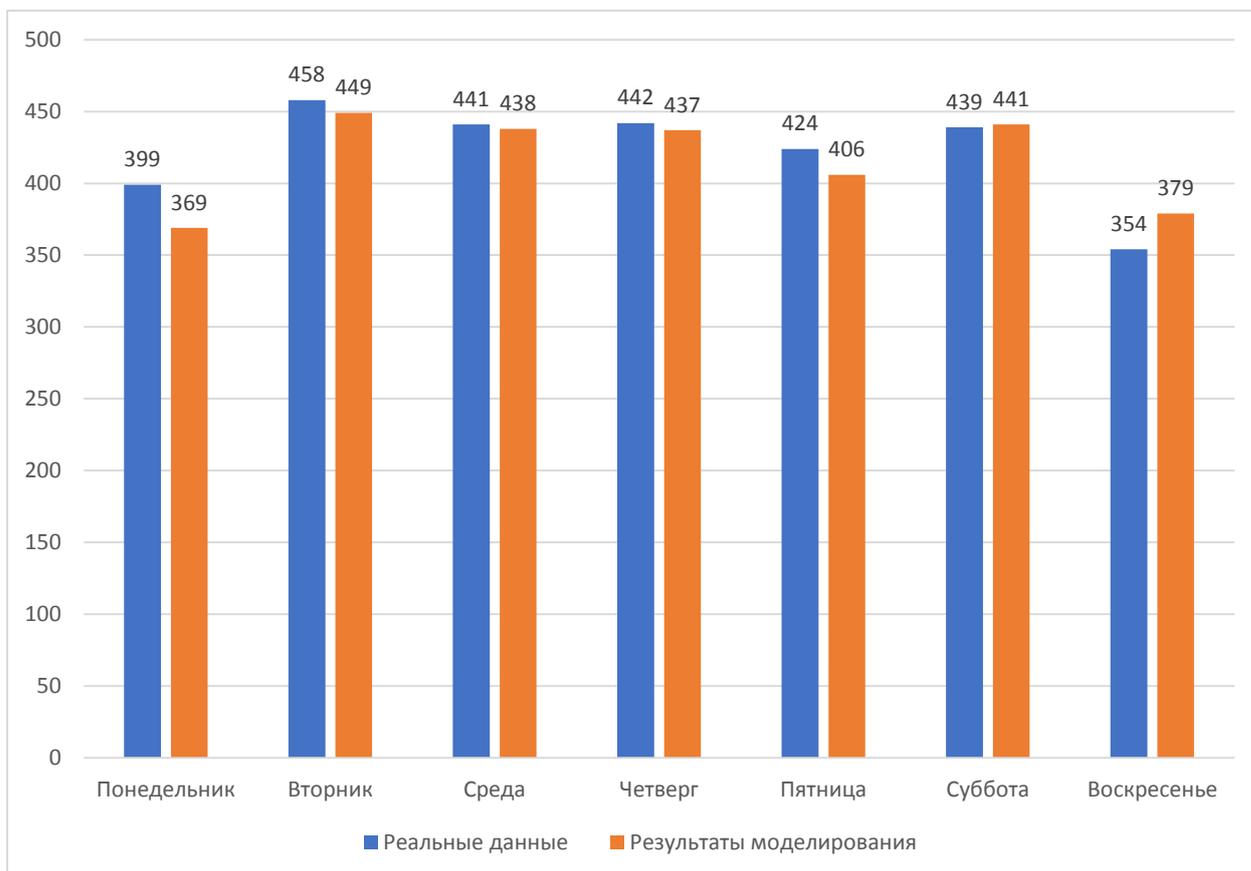


Рисунок 20 – Распределение реальных данных с результатами моделирования вызовов по дням недели

Распределение числа вызовов по часам суток представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Распределение числа вызовов по часам суток

Часы суток	Число вызовов			Доля, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	Расхождение, %	
1	2	3	4	5
0–1	119	178	52,78	5,87
1–2	119	129	11,21	5,15
2–3	99	106	5,1	4,45
3–4	89	99	8,82	4,45
4–5	59	79	39,89	3,01
5–6	49	55	7	2,23
6–7	59	49	14,8	1,82
7–8	89	44	49,82	2,31
8–9	79	89	19,5	4,23
9–10	69	81	13,52	3,65
10–11	99	69	29	3,31
11–12	109	89	13,54	4,21
12–13	129	131	4,21	5,01
13–14	129	129	5,65	3,98
14–15	159	99	36,4	4,21
15–16	159	149	10,23	5,03
16–17	119	149	29,45	6,24
17–18	159	130	21,48	5,36
18–19	159	161	3	6,32
19–20	179	154	12,54	6,21
20–21	189	178	2,54	8,01
21–22	209	199	4,54	7,84
22–23	169	211	23,45	7,45
23–24	179	181	4,52	6,3
Всего	3008	2989	0,7	100

Наибольшие доли числа вызовов по часам суток происходят в период с 0 до 4 часов утра. Далее повышение числа вызовов начинается с 16 до 24 часов. Таким образом, время, когда в домах находится наибольшее количество населения уровень пожарной угрозы возрастает, что объясняется повышенным использованием электрических приборов (в том числе и отопительных), газовых колонок и так далее.

Отразим данные таблицы 8 в графическом виде на рисунке 21.

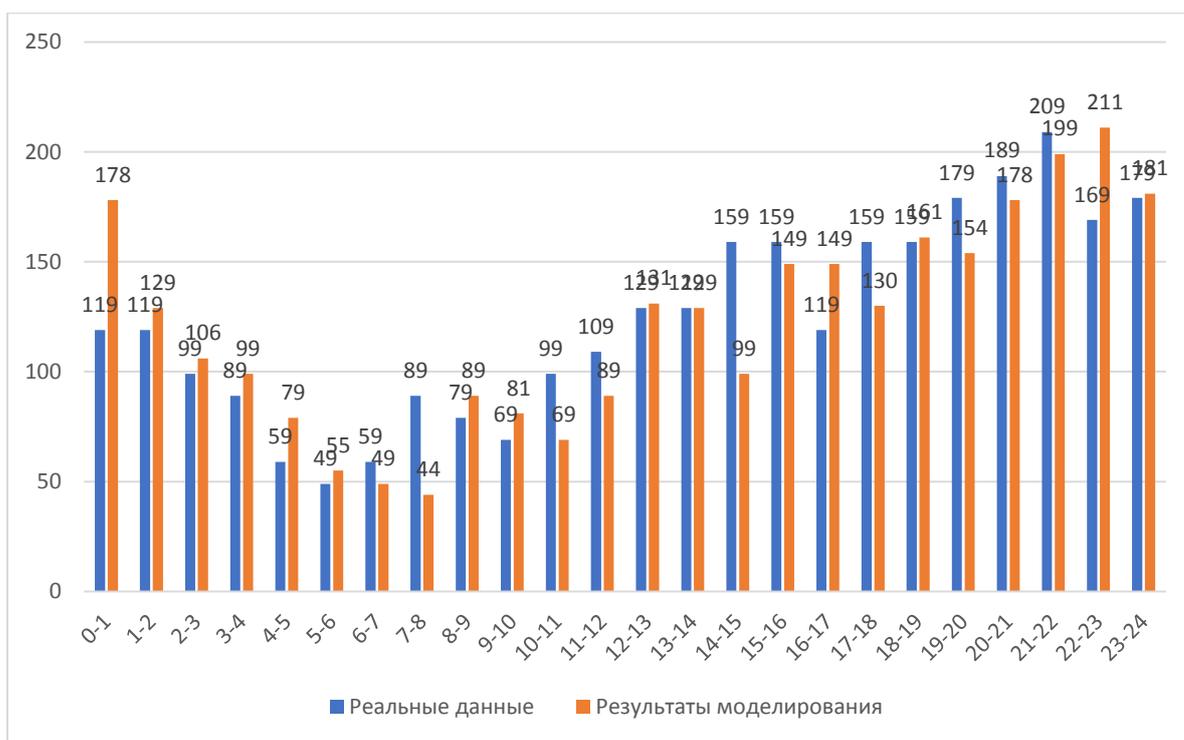


Рисунок 21 – Распределение реальных данных с результатами моделирования числа вызовов по часам суток

«Следующим параметром сравнения явилось распределение числа вызовов по территории города» [16]. Результаты моделирования представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Распределение числа вызовов по районам обслуживания

Номер района	Число вызовов			Доля, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	Расхождение, %	
ПЧ-1	521	462	4,1	17,1
СПЧ-2	492	399	17,2	16,3
СПЧ-3	421	401	7	14,8
ПЧ-4	81	79	3,6	3,1
СПЧ-5	629	548	12,5	21,3
ПЧ-6	79	158	89,4	3,11
ПЧ-7	81	122	51	3,12
ПЧ-8	179	162	6,8	6,3
ПЧ-10	487	578	14,1	16,8
СПЧ-16	191	98	5,14	6,32
Всего	3122	2981	7	100

Рассматривая представленные результаты сравнения реальных распределений с распределениями, полученных в результате моделирования, было установлено, что расхождение плотности потока вызовов по районам обслуживания пожарных частей составляет не более 4–90 %.

Отразим данные таблицы 8 в графическом виде на рисунке 22.

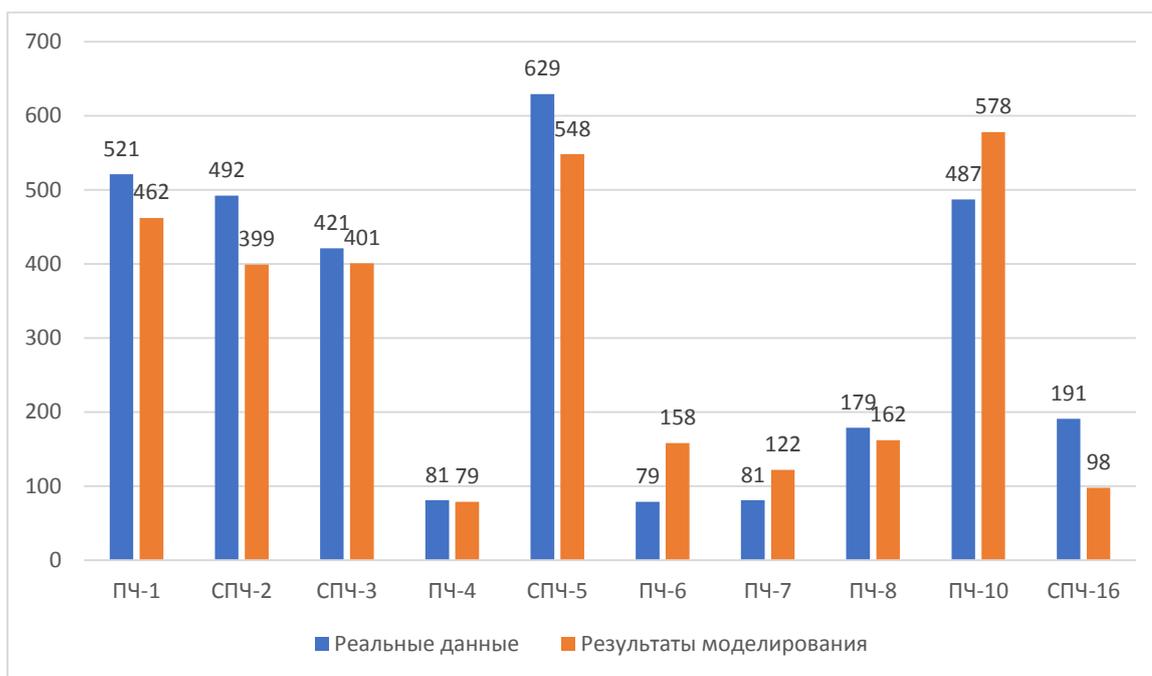


Рисунок 22 – Распределение реальных данных с результатами моделирования вызовов по районам обслуживания

В таблице 9 представлены «результаты сравнения распределения времени прибытия к месту вызова ПСП с интервалом времени от 0 до 10 минут и более 10 минут» [16].

Таблица 9 – Распределение времени прибытия к месту вызова

Интервалы времени прибытия, мин	Число вызовов		Расхождение, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	
1	2	3	4
0–5	119 (14%)	109 (12%)	6,9
5–10	471 (61%)	198 (59%)	8,1

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4
>10	211 (27%)	201 (26%)	7,2
Всего	801	508	3,33

Отразим данные таблицы 9 в графическом виде на рисунке 23.

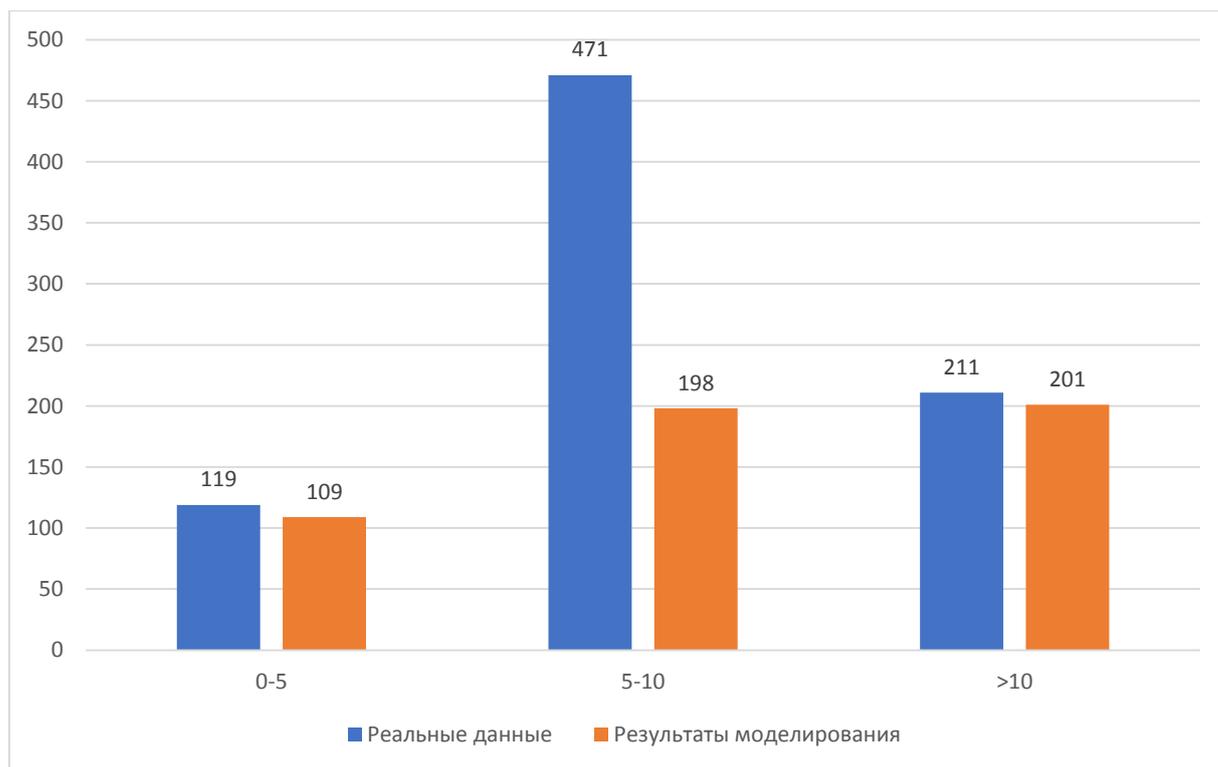


Рисунок 23 – Распределение реальных данных с результатами моделирования времени прибытия к месту вызова

При сравнении реальных распределений с распределениями, полученными в результате моделирования, было установлено, что расхождение времени прибытия к месту вызова составляет не более 6–8 %.

В таблице 10 приведено полученное в ходе моделирования и реальное распределение занятости ПСП непосредственно на месте вызова.

Результаты моделирования свидетельствуют о сокращении интервалов времени на месте вызовов от 1,2% до 70,2 %.

Таблица 10 – Распределение времени занятости на месте вызова

Интервалы времени занятости на месте вызова, мин	Число вызовов		Расхождение, %
	Реальные данные	Результаты моделирования	
0–15	319 (47%)	299 (45%)	5,1
15–30	201 (31%)	178 (28%)	13,4
30–60	121 (9%)	109 (15%)	1,2
60–120	29 (4%)	49 (7%)	70,2
>120	6 (1%)	15 (5%)	49,8
Всего	676	649	2,1

Отразим данные таблицы 10 в графическом виде на рисунке 24.

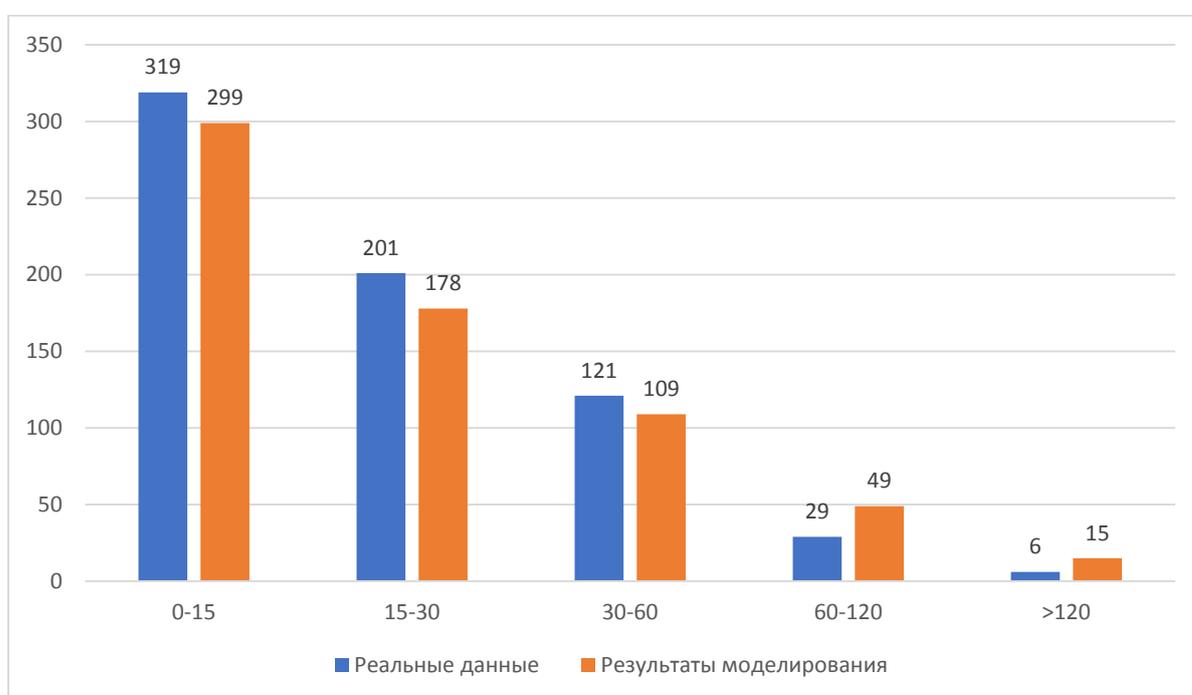


Рисунок 24 – Распределение реальных данных с результатами моделирования времени занятости на месте вызова

При сравнении реальных распределений с распределениями, полученными в результате моделирования, было установлено, что расхождение по времени занятости на месте вызова составляет не более от 4 до 67 %. Сравнение реальных данных с результатами моделирования подтвердило адекватность предложенных моделей. Таким образом, можно

сделать вывод об их достаточно хорошей сходимости и возможности их использования для дальнейшего исследования.

Работоспособность имитационной модели обеспечивается количеством и качеством исходных данных. Укрупненный алгоритм работы имитационной модели оперативной деятельности ПСП объекта представлен на рисунке 25.

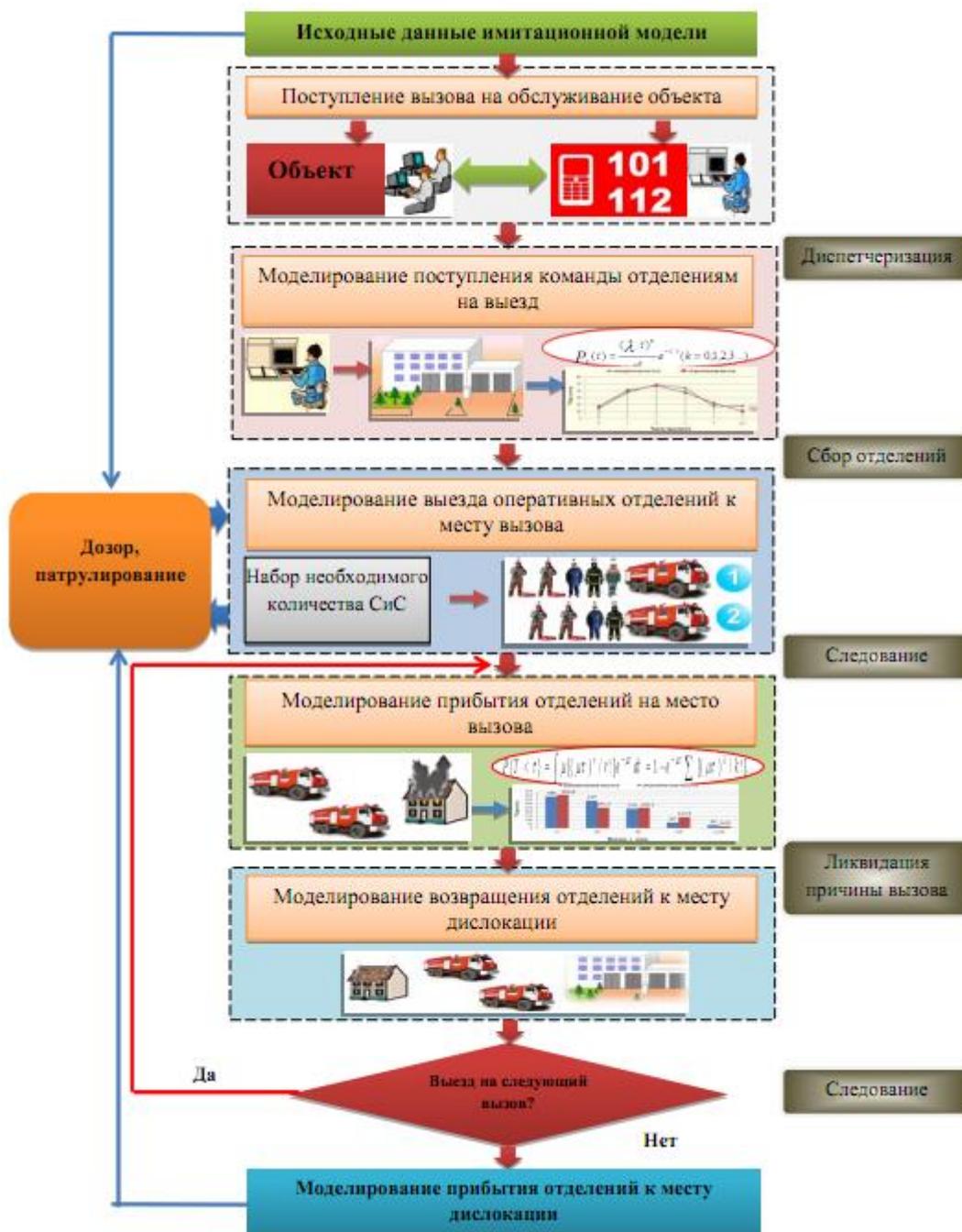


Рисунок 25 – Укрупненный алгоритм работы имитационной модели оперативной деятельности ПСП объекта

Программой модели имитирована последовательность действий со времени получения тревожного вызова с некоего объекта ЧС до возврата сотрудников и техники подразделений на места своих расположений после ликвидации ЧС. Как только поступило сообщение в оперативную службу пожаротушения, моделируется системой процесс диспетчеризации; полученные сведения идентифицируются; далее система моделирует процесс сбора и выезда к месту ЧС сил и средств в достаточном объеме по полученному сообщению. Поскольку диспетчерские пульта в г. Самара работают с современными программными продуктами, обеспечивающими в автоматическом режиме сбор и выезд достаточных сил и средств по поступившему вызову, диспетчеризация занимает в реальном времени около минуты.

Если в качестве вызова поступает сигнал от срабатывающей автоматической противопожарной сигнализации с объекта охраны, сигнал от системы пожаротушения, дежурный персонал устанавливает местоположение сработавшей сигнализации и срочно выезжает на сигнал тревоги.

В случае действительно имеющегося возгорания дежурным персоналом подаются сведения на пульт ЕДДС (единая дежурная диспетчерская служба), далее следует диспетчеризация и на основе действующего расписания выездов, а также в зависимости от характерных особенностей имеющегося вызова, моделируется и осуществляется отправка из близлежащих пожарных депо достаточное количество дежурных отделений.

После того создается модель прибытия ПСП на место вызова для каждого оперативного подразделения, выехавшего к месту ЧС, причем моделью учитывается реальная ситуация городских транспортных сетей и их загруженность. В г.о. Самара рекомендовано использовать автомобили быстрого реагирования, которые обеспечат прибытие на объект с ЧС за короткие сроки, что обеспечит ликвидацию пожаров на его стадии развития минимальными объемами сил и средств.

Далее следует этап создания модели занятости пожарно–спасательного подразделения на территории с ЧС. Продолжительность занятости определяется моделью на основании действительных вероятностно–статистических распределений.

По окончании всех надлежащих работ на вызове оперативные подразделения прибывают на свои месторасположения и вновь находятся в готовности выехать на следующий вызов. С помощью КИС можно смоделировать не только процесс обслуживания тревожного вызова, но и процессы выездов ПСП с целью патрулирования и осмотра района объекта. Для этого вводятся исходные данные по дозорам и патрулированию. При проведении дозора или патрулирования может поступить вызов, в этом случае подразделение, проводящее дозор или патрулирование, направляется на место вызова, а по окончании его обслуживания вернется и будет продолжать прерванный дозор или патрулирование.

#### **Выводы по разделу:**

В третьем разделе исследования дано общее описание имитационной системы. КИС (компьютерная имитационная система) – это имитационная модель для сложных процессов, состоящая из ряда простых моделей, описывающих определенный самостоятельный участок процесса.

Проведена адаптация имитационной системы для Самарского пожарно–спасательного гарнизона. КИС КОСМАС в целях исследований своевременности прибытия ПСП к месту, на котором может возникнуть крупный пожар или аварийная чрезвычайная ситуация в пределах городского поселения подверглась модернизации (2016 г.), затем адаптировалась под условия г. Самара.

На последнем этапе исследования проведена проверка адекватности имитационной системы. Работоспособность имитационной модели обеспечивается количеством и качеством исходных данных. Программой модели имитирована последовательность действий со времени получения

тревожного вызова с некоего объекта ЧС до возврата сотрудников и техники подразделений на места своих расположений после ликвидации ЧС.

Программой модели имитирована последовательность действий со времени получения тревожного вызова с некоего объекта ЧС до возврата сотрудников и техники подразделений на места своих расположений после ликвидации ЧС. Как только поступило сообщение в оперативную службу пожаротушения, моделируется системой процесс диспетчеризации; полученные сведения идентифицируются; далее система моделирует процесс сбора и выезда к месту ЧС сил и средств в достаточном объеме по полученному сообщению. Поскольку диспетчерские пульта в г. Самара работают с современными программными продуктами, обеспечивающими в автоматическом режиме сбор и выезд достаточных сил и средств по поступившему вызову, диспетчеризация занимает в реальном времени около минуты.

По окончании всех надлежащих работ на вызове оперативные подразделения прибывают на свои месторасположения и вновь находятся в готовности выехать на следующий вызов. С помощью КИС можно смоделировать не только процесс обслуживания тревожного вызова, но и процессы выездов ПСП с целью патрулирования и осмотра района объекта. Для этого вводятся исходные данные по дозорам и патрулированию. При проведении дозора или патрулирования может поступить вызов, в этом случае подразделение, проводящее дозор или патрулирование, направляется на место вызова, а по окончании его обслуживания вернется и будет продолжать прерванный дозор или патрулирование.

## Заключение

Актуальность темы продиктована необходимостью качественного скачка в использовании технологии имитационного моделирования в России для анализа и оценки риска в сфере промышленной безопасности, которая обусловлена недостаточной эффективностью управления ПБ. Применение имитационного моделирования позволяет воспроизводить различные ситуации и получать результаты без промежуточных расчетов в кратчайшие сроки.

Прежде чем принимать решения необходимо предварительно оценить окончательные результаты с помощью имитационного моделирования, целью которого является создание моделей рассматриваемых систем и проведение экспериментов с этими моделями.

Было установлено, что использование имитационной модели для оценки частоты реализации сценариев аварий на ОПО является оптимальным решением. Имитационная модель включает в себя различные аспекты изучаемой предметной области: временной, логической и пространственной, в отличие от традиционных моделей, в которых, зачастую, присутствует только один.

Итак, по результатам выполнения первого раздела исследования «Проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны», можно сделать вывод о том, что для выполнения цели исследования необходимо провести исследование проблемы обеспечения пожарной безопасности и применение методов имитационного моделирования при проектировании гарнизонов пожарной охраны, проанализировать основные пожарные риски в г.о. Самара, смоделировать деятельность Самарского пожарно-спасательного гарнизона.

Под созданием имитационной модели объекта (процесса) следует понимать деятельность по построению компьютерной модели физического

объекта (процесса) и её исследование в целях прогноза эффективности при реальной эксплуатации.

Имитационное моделирование используется для того, чтобы помочь проектировщикам и инженерам понять, может ли деталь выйти из строя, при каких условиях и каким образом, и какие нагрузки сможет выдержать.

В первом разделе также дана общая характеристика г.о. Самара и Самарской области.

Городской округ Самара расположен на левом берегу Волги (Саратовское водохранилище) напротив Самарской Луки, в среднем её течении при впадении в Волгу р. Самара, между устьями рек Самара и Сок. Отдалённость городского округа Самара от Москвы составляет 1098 км к востоку. Крупный транспортный узел железнодорожных линий и автомобильных дорог. Второй по числу жителей город на Волге (после Нижнего Новгорода).

«Самарская область расположена в юго–восточной части европейской территории России, в среднем течении крупнейшей в Европе реки Волги, и занимает площадь 53,6 тыс. кв. км, что составляет 0,31% территории России. На севере она граничит с Республикой Татарстан, на юге – с Саратовской областью, на востоке – с Оренбургской областью, на северо–западе – с Ульяновской областью. Губерния протянулась с севера на юг на 335 км и с запада на восток на 315 км» [38].

Изучен состав местных пожарно–спасательных гарнизонов. Охарактеризована оперативная обстановка с пожарами в Самарской области. Несмотря на рост общего количества пожаров (+8169) и количества возгораний (+4322), мы можем наблюдать такую положительную тенденцию как снижение количества гибели людей на пожарах (–11 человек), и примерно стабильную обстановку с травмами (+2 человека).

Анализируя данные, полученные в ходе исследования по второму разделу, можно сказать, что данные по основным пожарным рискам в г. Самара за период с 2010 г. по 2020 год включительно имеют следующие

значения: величина  $R_1$  изменяется от значения 0,8 до 1,22 пожаров, приходящихся на тысячу жителей, максимальное значение 1,36 приходится на 2020 год; значение риска  $R_2$  возросло к 2015 году до значения 9,8 погибших в ста пожарах, но к 2020 году наметилось снижение числа жертв; значение риска  $R_3$  меняется незначительно в пределах от 2,09 до 5,78 погибших на 100 тыс. жителей за годовой период.

Также в разделе приведена и исследована динамика по основным пожарным рискам в семи городах мира за 2020 год. За 2020 год в выбранных городах на каждую тысячу жителей регистрировалось 1,7 пожара, в каждой сотне пожаров насчитывалось 1,4 жертв со смертельным исходом, на каждые 100000 жителей пришлось 1,7 человек погибших. Сравнивая данные, следует отметить высокий уровень гибели граждан на пожарах, произошедших в г. Самара.

Во втором разделе изучена деятельность Самарского пожарно-спасательного гарнизона. Можно отметить, что большая часть вызовов по тревоге, а это 60,2%, принадлежит объектам жилых строений. Объясняется это тем, что в данном секторе пожаробезопасность имеет не высокий уровень. На средние и малые пожары, на тушение которых следовали 1–3 единицы специальных пожарных машин составляли 84,2% от всех вызовов; крупные пожары, на тушение которых следовали пять и больше единиц спецтехники составляли 15,8%.

Анализ общего числа чрезвычайных пожарных ситуаций, произошедших на рассматриваемом объекте, показал, что: в 57,7% случаев применялся один ствол емкости автоцистерны; в 17,6% случаев задействовались емкости более чем одной автоцистерны; в 12,5% случаев производилась установка автоцистерн на источники воды; в 12,2% – стволы не подавались.

Анализируя процессы эвакуации, можно сказать, что в 80% ситуаций люди эвакуировались самостоятельно, покидая опасную территорию; в 12,7%

случаев эвакуировали потерпевших с применением носилок; в 2,7% случаев задействовали различные подъемные механизмы.

Исходя из проанализированной информации можно сделать предположение о том, что в будущем количество вызовов должно увеличиться, что обязательно скажется на увеличении объема работы пожарных подразделений.

Следующим этапом во втором разделе проведен анализ времени занятости при выездах Самарского пожарно–спасательного гарнизона. Представлены статистические данные за 2020 год о времени занятости ПСП по выездам на ДС, в 91 % случаев ПСП ликвидировали ДС до 1 часа.

По результатам расчетов теоретического и эмпирического распределений можно сделать вывод: соответствие между теоретическим и эмпирическим значениями распределения времени занятости сотрудников пожарного подразделения на процесс ликвидации, носящего случайный характер, имеет удовлетворительное состояние. Полученные результаты позволяют применять распределение Эрланга в данной работе в качестве модельного распределения времени занятости ПСП [13].

В третьем разделе, по итогам анализа известных технических решений, были выделены следующие патенты в области имитационного моделирования:

Патент 189083. Имитационная система средств пожарной сигнализации, которая позволяет расширить функциональные возможности предыдущих моделей.

Патент 2207631. Имитационная система охранно–пожарной сигнализации, которая «обеспечивает возможность работы с каналобразующей аппаратурой любых современных электронных цифровых АТС, соединенных между собой волоконно–оптическими каналами связи, расширение зоны охраны объектов каждым пультом централизованного наблюдения (ПЦН) в зоне действия АТС, а также обеспечение возможности организации любой структуры глобальной сети связи в комплекте аппаратуры

АТС системы охранно– пожарной сигнализации между локальными сетями связи» [27].

Патент 2419148. Имитационная система распознавания пожаров на поверхности земли, которая позволяет «повысить достоверность распознавания пожаров.

В третьем разделе исследования дано общее описание имитационной системы. КИС (компьютерная имитационная система) – это имитационная модель для сложных процессов, состоящая из ряда простых моделей, описывающих определенный самостоятельный участок процесса.

Проведена адаптация имитационной системы для Самарского пожарно– спасательного гарнизона. КИС КОСМАС в целях исследований своевременности прибытия ПСГ к месту, на котором может возникнуть крупный пожар или аварийная чрезвычайная ситуация в пределах городского поселения подверглась модернизации (2016 г.), затем адаптировалась под условия г. Самара.

На последнем этапе исследования проведена проверка адекватности имитационной системы. Работоспособность имитационной модели обеспечивается количеством и качеством исходных данных. Программой модели имитирована последовательность действий со времени получения тревожного вызова с некоего объекта ЧС до возврата сотрудников и техники подразделений на места своих расположений после ликвидации ЧС.

Программой модели имитирована последовательность действий со времени получения тревожного вызова с некоего объекта ЧС до возврата сотрудников и техники подразделений на места своих расположений после ликвидации ЧС.

Как только поступило сообщение в оперативную службу пожаротушения, моделируется системой процесс диспетчеризации; полученные сведения идентифицируются; далее система моделирует процесс сбора и выезда к месту ЧС сил и средств в достаточном объеме по полученному сообщению. Поскольку диспетчерские пульта в г. Самара

работают с современными программными продуктами, обеспечивающими в автоматическом режиме сбор и выезд достаточных сил и средств по поступившему вызову, диспетчеризация занимает в реальном времени около минуты.

По окончании всех надлежащих работ на вызове оперативные подразделения прибывают на свои месторасположения и вновь находятся в готовности выехать на следующий вызов. С помощью КИС можно смоделировать не только процесс обслуживания тревожного вызова, но и процессы выездов ПСП с целью патрулирования и осмотра района объекта. Для этого вводятся исходные данные по дозорам и патрулированию. При проведении дозора или патрулирования может поступить вызов, в этом случае подразделение, проводящее дозор или патрулирование, направляется на место вызова, а по окончании его обслуживания вернется и будет продолжать прерванный дозор или патрулирование.

## Список используемых источников

1. Алымов В.Т. Техногенный риск. Анализ и оценка / В.Т. Алымов, Н.П. Таросова. М.: Академкнига, 2018. 113 с.
2. Балынин И.В. Практическая реализация риск–ориентированного подхода: многообразие методов и принципов / И.В. Балынин // Экономический анализ: теория и практика. 2016. №10. С. 79–92.
3. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России. М.: Академия МЧС России, 2017. 178 с.
4. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: учебник. М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. 255 с.
5. Буйко К.В. Организация надзорной деятельности в области производственной безопасности в странах «группы восьми» / К.В. Буйко, А.А. Володина, Ю.Ф. Карабанов // Журнал «Безопасность труда в промышленности». №8. 2016. С. 26–31.
6. Вакарёв А.А. Перспективы научных исследований в области управления в чрезвычайных ситуациях // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 2–1(10). С. 59–62.
7. Водахова В.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Комплексная математическая модель процесса управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (34). С. 85–96.
8. Гражданкин А.И. Категорирование опасных производственных объектов по уровню риска и масштабу возможных последствий аварий, в том числе в условиях аномальных внешних (природных и техногенных) воздействий и злоумышленных действий / А.И. Гражданкин, И.А. Кручинина, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // ФГУП «НТИЦ «Промышленная безопасность». 2018. №4. С. 108–112.

9. Захаров И.А. Анализ пожарной обстановки в крупных городах // Системы безопасности. 2019. №2. С. 203–205.
10. Киндеев Т.В. Управление рисками: учебное пособие / Т.В. Киндеев. Владимир, 2016. 230 с.
11. Котков Д.В. Моделирование оперативной деятельности подразделений ГПС МЧС России // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайны ситуаций. 2018. №1. С. 307–309.
12. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Вестник Санкт–Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. № 4. С. 30–34.
13. Максимов А.В., Матвеев А.В., Попивчак И.И. Перспективные направления информационно–аналитической деятельности в области обеспечения пожарной безопасности // Геополитика и безопасность. 2018. № 2(30). С. 113–117.
14. Максимов А.В., Матвеев А.В. Ресурсный потенциал и его использование в системе ГПС МЧС России // Вестник Санкт–Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. № 1. С. 62–68.
15. Матвеев А.В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2017. № 4(20). С. 32–42.
16. Матвеев А.В. Математическое моделирование оптимизации структуры комплексных аварийно–спасательных центров МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 4 (40). С. 105–111.
17. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах [Электронный ресурс]: Приказ Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188. URL: [http://www.idgca.org/doc/fz\\_188–130515.pdf](http://www.idgca.org/doc/fz_188–130515.pdf) (дата обращения: 15.10.2020).

18. Методическое руководство по оценке степени риска аварий: Руководящий документ. М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2016. 120 с.

19. Моделирование сложных процессов и систем: сборник трудов секции №12 Международной научно–практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь». М.: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2019. 126 с.

20. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69–ФЗ (ред. от 22.12.2020). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения: 29.10.2020).

21. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 22 июля 2020 г. № 1084. URL: <http://docs.cntd.ru/document/565358934> (дата обращения: 03.10.2020).

22. О федеральном государственном пожарном надзоре [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 12 апреля 2012 года № 290 (ред. от 12.10.2020). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902341612> (дата обращения: 23.12.2020).

23. О применении риск–ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 (ред. от 05.11.2020). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_203819/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_203819/) (дата обращения: 24.11.2020).

24. О противопожарной службе Самарской области [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Самарской области №15 от 31.01.2008 (ред. от 02.04.2021). URL: <https://docs.cntd.ru/document/945018710> (дата обращения: 30.04.2021).

25. Об утверждении Положения о пожарно–спасательных гарнизонах [Электронный ресурс]: Приказ № 467 от 25.10.2017 (ред. от 28.02.2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610976> (дата обращения: 24.04.2021).

26. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <https://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 05.10.2019).

27. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 (ред. от 14.12.2010). URL: <https://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 07.10.2020).

28. Пат. 189083 Российская Федерация. Имитационная система средств пожарной сигнализации / А.С. Куппель, С.В. Наследников, С.Б. Ульянович, Е.А. Слободянюк, Б.М. Нуриев: заявитель и патентообладатель ООО «Газпромдобыча Уренгой». №2018130906; заявл. 27.08.2018. Бюл. №14. 5 с.

29. Пат. 2207631 Российская Федерация. Имитационная система охранно–пожарной сигнализации / Н.П. Шуревский, В.А. Щербаков, В.А. Моторин, М.Н. Беспалов: заявитель и патентообладатель ООО «Научно–технический центр «АИР». №2001125454; заявл. 17.09.2001. Бюл. №18. 4 с.

30. Пат. 2419148 Российская Федерация. Имитационная система распознавания пожаров на поверхности земли / М. Дзавальи, М. Константины: заявитель и патентообладатель С.п.А. Телеспацио (It). №2009106190; заявл. 27.07.2007. Бюл. №14. 6 с.

31. Пожарно–спасательные гарнизоны Самарской области [Электронный ресурс]: МЧС Росси. Главное управление по Самарской области. URL: <https://63.mchs.gov.ru/glavnoe–upravlenie/sily–i–sredstva/pozharno–spasatelnye–garnizony> (дата обращения: 02.05.2021).

32. Порядок проведения оценки пожарного риска [Электронный ресурс]: Информация от 27.11.2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420289391> (дата обращения: 01.10.2020).
33. Присяжнюк Н.Л., Соловьева Т.Н. Пожарная опасность и пожарный риск. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 315 с.
34. Рыхтикова Н.А. Анализ и управление рисками организации: учеб. пособие / Н.А. Рыхтикова. М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2017. 240 с.
35. Субачев С.В. Имитационное моделирование развития и тушения пожаров в системе подготовки специалистов противопожарной службы // Прикладная информатика. 2018. №4. С.27–37.
36. Тербнев В.В., Тербнев, А.В. Управление силами и средствами на пожаре. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 261 с.
37. Файзуллина А.А. Система внутреннего контроля: риск–ориентированный подход / А.А. Файзуллина // Молодой ученый. 2017. №14. С. 464–467.
38. Характеристика Самарской области [Электронный ресурс]: МЧС России. Главное управление по Самарской области. URL: <https://63.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/harakteristika-subekta> (дата обращения: 10.05.2021).
39. Anu M. Introduction to modeling and simulation // State University of New York at Binghamton Department of Systems Science and Industrial Engineering Binghamton, NY, U.S.A. 2017. №4. P. 7–13.
40. Faingloz L. Simulation Modelling Application in Real–time Service Systems // Transport and Telecommunication Institute. 2017. №17. P. 200–205.
41. Halting F. Simulation Modelling // Oxford Bibliographies in Ecology. 2017. №9. P.35–39.
42. Kelton D. Simulation Modelling & Analysis // Second Edition. 2016. №2. P.21–29.

43. World Fire Statistics // Официальный сайт Центра пожарной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ctif.org/world-fire-statistics> (дата обращения 6.11.2020).