

9 18-5/1661



Захаров Игорь Анатольевич

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА КРУПНЫЕ ПОЖАРЫ**

Специальность: 05.13.10 – «Управление в социальных
и экономических системах» (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Захаров Игорь Анатольевич

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ
ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА КРУПНЫЕ ПОЖАРЫ**

Специальность: 05.13.10 – «Управление в социальных
и экономических системах» (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре управления и экономики Государственной противопожарной службы (в составе научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем Государственной противопожарной службы) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России».

Научный руководитель: **Соколов Сергей Викторович**,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры управления и экономики ГПС научно-
образовательного комплекса организационно-
управленческих проблем ГПС Академии ГПС
МЧС России

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры организации пожаротушения и проведе-
ния АСР Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России

Сычев Ян Валерьевич
кандидат технических наук, заместитель главного
инженера – руководитель службы охраны труда,
промышленной безопасности, пожарной безопас-
ности и охраны окружающей среды АО «УК ИП
«Нижние котлы»»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета»
научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России.

Защита диссертации состоится «21» ноября 2018 г. в 12:00 на заседании
диссертационного совета Д 205.002.01 в Академии ГПС МЧС России по адресу:
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государст-
венной противопожарной службы МЧС России и на сайте [http://
academygps.ru/upload/iblock/759/759070da2a2b7cce70e8d944937ff04b.pdf](http://academygps.ru/upload/iblock/759/759070da2a2b7cce70e8d944937ff04b.pdf)

Автореферат разослан «28» сентября 2018 года.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить
в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р. Ш. Хабибулин



2018535654



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современный период социально-экономического развития крупных городов сопровождается различными деструктивными событиями (пожары, ДТП, аварии и др.), при этом одной из наиболее опасных угроз для его жителей являются пожары и, особенно, крупные пожары.

В этой связи очень важным критерием для пожарно-спасательных подразделений (ПСП) является их своевременное прибытие к месту пожара по возможности еще до наступления его опасных факторов для людей и объекта, на котором произошёл пожар.

Статистические данные показывают, что во многих случаях своевременное время прибытия ПСП к месту вызова оказывается проблематичным, это зависит от многих факторов: скорости движения пожарных автомобилей, распределения оперативных подразделений по территории города, их зон обслуживания, а также занятости на других вызовах. Всё это осложняет своевременно прибытие к месту пожара, что приводит к тому, что для тушения уже развившегося пожара требуется значительно больше пожарных подразделений.

Таким образом, для обеспечения своевременного времени прибытия и сосредоточения необходимого количества сил и средств пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ) города для ликвидации различных деструктивных событий необходимо проводить детальные исследования возможностей ПСГ города. Без подобных исследований невозможно решать данную проблему. Одним из эффективных способов корректно исследовать эти вопросы и принять обоснованные управленческие решения является применение технологий имитационного моделирования.

Степень разработанности темы исследования. Большой вклад в решение проблем оперативного и стратегического управления аварийно-спасательными службами в городах, внесли известные ученые Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Н.Г. Топольский, Е.М. Алёхин, А.А. Порошин, Ю.А. Матюшин, В.И. Климкин, В.А. Белов, Р. Wagner и многие другие.

В этих исследованиях детально проработаны вопросы оперативного и стратегического управления ПСП. Однако вопросы оценки возможностей ПСГ в случае возникновения на конкретных объектах крупных пожаров и ЧС и требующих разработки специальных подходов и моделей в предыдущих работах не рассматривались.

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления ПСП при реагировании на крупные пожары и ЧС на основе технологий имитационного моделирования.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

- исследовать параметры, характеризующие обстановку с пожарами и оперативную деятельность ПСГ города и произвести оценку основных пожарных рисков для определения уровня пожарной опасности и влияния различных внешних факторов при реагировании на крупные пожары и ЧС;
- провести адаптацию компьютерной имитационной системы (КИС) «КОСМАС» к реальным условиям функционирования ПСГ города;

- провести модернизацию КИС «КОСМАС» посредством разработки имитационной модели процесса функционирования ПСП исследуемого объекта в рамках общей модели функционирования ПСГ города;

- разработать алгоритм оценки возможностей ПСГ в целях принятия управленческих решений по оперативному реагированию на крупные пожары и ЧС;

- разработать сценарии моделирования возникновения различных ДС при различных условиях с последующим их компьютерным моделированием для оценки возможностей ПСГ при реагировании на крупные пожары и ЧС;

- разработать проект развития ПСГ объекта и города с учетом развития его инфраструктуры и территории.

Объект исследования – оперативная деятельность ПСГ города.

Предмет исследования – модели и алгоритмы информационно-аналитической поддержки управления ПСП при реагировании на крупные пожары и ЧС.

Методы исследования. При разработке основных положений в диссертации используются методы системного анализа, теории управления и имитационного моделирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана имитационная модель и алгоритм процесса функционирования ПСП исследуемого объекта в рамках общей модели функционирования ПСГ города;

- разработан алгоритм оценки возможностей ПСГ по оперативному реагированию на крупные пожары и ЧС на основе технологий имитационного моделирования;

- разработаны сценарии моделирования возникновения различных ДС в различных условиях в рамках оценки возможностей ПСГ города при реагировании на крупные пожары и ЧС.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что на основании выполненных исследований и полученных научных результатов:

- разработанная имитационная модель и алгоритм ее работы позволяет детально воспроизводить весь процесс функционирования ПСП на исследуемом объекте с момента вызова подразделений до возвращения на место дислокации и ожидания очередного вызова;

- разработанный алгоритм оценки возможностей ПСГ по оперативному реагированию при ликвидации крупных пожаров и ЧС способствует поддержке стратегического управления развитием любого ПСГ;

- разработанные сценарии моделирования возникновения различных ДС в различных условиях позволяют эффективно оценить возможности ПСГ по обеспечению необходимого количества сил и средств в случае возникновения крупных пожаров и ЧС при различных условиях функционирования;

- на основе применения методов имитационного моделирования разработаны рекомендации по стратегическому управлению развития ПСГ объекта и города.

Достоверность полученных результатов работы достигнута за счет использования официальных статистических данных, использованием апробированного математического аппарата, проверки адекватности компьютерной имитационной модели соответствующих цели и задачам исследования.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и получили одобрение на заседании научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем государственной противопожарной службы Академии ГПС МЧС России. Основные результаты диссертационной работы доложены на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Кокшетау, 2016, 2017 гг.); международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (г. Воронеж, 2016 г.); международной научно-технической конференции «Системы безопасности» (г. Москва, 2016 г.); международной научно-практической конференции «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы (г. Кокшетау, 2017 г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 9 работ, из них 3 – в журналах, включенных в перечень ВАК.

Личный вклад автора. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в разработке и научном обосновании методов, моделей и алгоритмов информационно-аналитической поддержки управления ПСП при реагировании на крупные пожары и ЧС.

В совместных публикациях результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, разработкой имитационной модели, алгоритма оценки возможностей ПСГ, сценариев моделирования функционирования ПСП объекта и города, проекта развития ПСГ выполнены автором самостоятельно.

Материалы диссертационной работы реализованы в:

- компьютерной имитационной системе «КОСМАС» предназначенной для исследования, экспертизы и проектирования экстренных и аварийно-спасательных служб города;
- в работе ГУ «Службы пожаротушения и аварийно-спасательных работ Департамента по чрезвычайным ситуациям города Астаны»;
- учебном процессе Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан;
- учебном процессе Академии ГПС МЧС России при изучении дисциплин «Математические методы и модели управления ГПС и РСЧС» и «Управление рисками, системный анализ и моделирование».

Практическое применение результатов исследования подтверждается актами внедрения.

На защиту выносятся следующие положения:

- модель и алгоритм процесса функционирования ПСП исследуемого объекта в рамках общей модели функционирования ПСГ города;
- алгоритм оценки возможностей ПСГ по оперативному реагированию на крупные пожары и ЧС на основе технологий имитационного моделирования;

– сценарии моделирования возникновения различных ДС в различных условиях для оценки возможностей ПСГ при реагировании на крупные пожары и ЧС;

– рекомендации и проект развития ПСГ объекта и города.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертационной работы – 129 страниц. Работа иллюстрирована 61 рисунком и содержит 23 таблицы. Библиографический список включает в себя 90 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Противопожарная защита городов и крупных объектов» дается состояние вопроса противопожарной защиты города и крупных объектов, краткая история и характеристика города, рассмотрена противопожарная защита объектов города и объектов «ЭКСПО – 2017», а также современная концепция обеспечения безопасности городских объектов. Проведен анализ сил и средств ПСГ по защите города и его объектов, в котором приведено количество и дислокация пожарных депо, численность личного состава и пожарной техники, оперативной обстановки с пожарами и существующие методы и модели управления пожарными подразделениями.

Проведенный анализ состояния вопроса противопожарной защиты города и крупных объектов показал, что современные условия жизни общества в городах способствуют росту числа различных деструктивных событий, от которых ежегодно погибают сотни людей, подвергаются уничтожению материальные ценности, уникальные строения и многие другие объекты. Реагируя на подобные ситуации, ПСГ сталкивается с проблемой нехватки или невозможностью сил и средств своевременно прибыть к месту вызова. Изучение указанных сложных процессов предполагает проведение крупномасштабных исследований и всестороннюю оценку эффективности ПСГ и его возможностей оперативно реагировать на крупные пожары и ЧС.

В качестве примера для исследования был выбран крупный город Астана. За последние 10 лет в городе построено свыше 20 крупных объектов, один из которых занимает значительную часть городской территории и предназначен для проведения международной специализированной выставки «ЭКСПО – 2017».

Рассмотрена современная концепция обеспечения безопасности крупных объектов города, которая заключается в изучении и анализе видов потенциальных опасностей на объектах защиты, оценке рисков этих опасностей, разработке и реализации комплекса мероприятий, позволяющие снизить риски до допустимых. Поскольку ни один из рисков принципиально невозможно снизить до нуля, необходимым элементом обеспечения безопасности сложных систем является эффективная деятельность ПСП (в случае возникновения на объекте защиты крупного пожара или ЧС) по спасению людей, ликвидации ЧС и его последствий.

Также анализируются силы и средства ПСГ по защите города и его объектов. Для оперативного реагирования и своевременного прибытия ПСП для тушения пожаров и ликвидации ЧС в городе функционирует 10 профессиональных пожарных депо, на вооружении которого находятся 140 технических средств для борьбы с пожарами и транспортировки личного состава до места вызова, в том числе 60 – основных, 23 – специальных и 58 – вспомогательных автомобилей.

Следующим этапом исследования стал анализ нормативных документов, регламентирующих численности сил и средств, а также время реагирования экстренных служб в Республике Казахстан и за рубежом. Анализ «Норм проектирования объектов органов противопожарной службы» показал, что количество пожарных депо в Республике Казахстан рассчитывается из расчета численности населения и площади территории населенного пункта, при этом предусматривается, что максимальная численность населения и площадь территории, соответственно, равны 1,5 млн человек 35,0 тыс. га (площадь территории города Астаны составляет 71 тыс. га, численность населения – 880,2 тыс. чел., Алматы – 72,2 тыс. га и 1,7 млн чел.). Однако чаще всего площадь населенного пункта и численность населения некоторых городов выходят за пределы установленных нормативами границ. Другой нормативный документ – «Технический регламент “Общие требования к пожарной безопасности”» – гласит: «Дислокация подразделений противопожарной службы на территории города и населенного пункта определяется исходя из условия, что время прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова в городах должно быть не более 10 минут, а для населенного пункта – не более 20 минут». Однако, не смотря на жесткое нормирование времени реагирования, возникают проблемы выполнения установленных нормативов.

Исходя из задач исследования проанализирована оперативная обстановка с пожарами, которая свидетельствует о ее непрерывном ухудшении (рисунок 1). Это связано во многом с ростом населения города и его территории. Исследования времени прибытия первых ПСП к месту вызова показали, что в 22 % случаев ПСП не укладываются в нормативное время прибытия (рисунок 2). Это связано со многими причинами, однако основными из них являются недостаточное число пожарных депо и высокая загруженность дорог.

В зависимости от объекта и вида ЧС в городе может сложиться сложная обстановка, которая потребует привлечения значительных усилий, превышающих возможности гарнизона. На основании проведенного анализа возникла необходимость в проведении детального исследования возможностей ПСГ города по оперативному реагированию при крупных пожарах и ЧС на основе методов имитационного моделирования.

Для решения вопросов оперативного реагирования на крупные пожары и ЧС проведен анализ методов и моделей управления ПСП, который показал, что на протяжении последних десятилетий началось широкое применение мощных ЭВМ и компьютерного моделирования в управлении ПСП. С помощью этого научного инструментария создавались специальные способы, средства, методы, а также разнообразные сложные организационные структуры. Проблема разра-

ботки информационно-аналитических систем моделирования деятельности и обоснования ресурсной потребности оперативных подразделений продолжает быть актуальной.

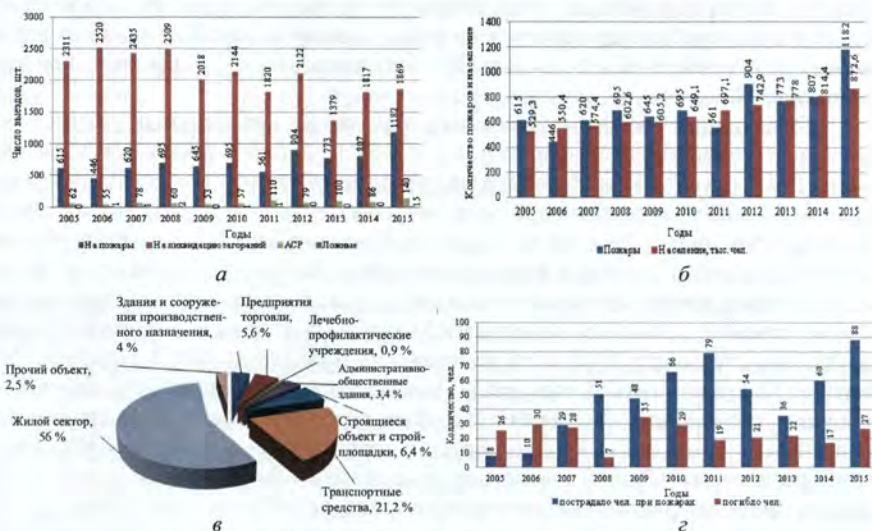


Рисунок 1 – Анализ оперативной обстановки с пожарами:

а – динамика общего числа пожаров; б – соотношение количества населения и количества пожаров; в – объекты возникновения пожаров; г – динамика числа погибших и пострадавших людей на пожарах



Рисунок 2 – Динамика доли выездов ПСП с временем прибытия более 10 минут

Во второй главе «Анализ пожарных рисков и деятельности пожарно-спасательного гарнизона» проанализирована и дана оценка основных пожарных рисков в период с 2005 по 2015 гг. и исследованы основные статистические распределения процесса функционирования ПСГ.

В процессе исследования в качестве основных пожарных рисков использовались: R_1 – риск для человека столкнуться с пожаром в течение года (10^3), $\left[\frac{\text{пожар}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$; R_2 – риск для человека погибнуть при пожаре в течение года (10^2), $\left[\frac{\text{жертва}}{\text{пожар}} \right]$; R_3 – риск для человека погибнуть при пожаре в течение года (10^5), $\left[\frac{\text{жертва}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$.

Результаты исследований основных пожарных рисков R_1 , R_2 и R_3 представлены в таблице 1, в соответствии с которым риск R_1 находится в диапазоне 0,8–1,22 пожара на 1000 чел., но в 2015 г. достигает самого высокого показателя – 1,3. Риск R_2 в 2010 г. вырос до 9,8 жертв на 100 пожаров, в последние годы данный показатель постепенно убывает. Риск R_3 находится в диапазоне 2,72–3,09 жертв на 100 000 чел. в год.

В 2015 г. в Республике Казахстан численность населения составила 17,5 млн человек, произошло 14 452 пожара, при которых погибло 386 человек. Следовательно, из расчетов риск $R_1 = 0,82$, $R_2 = 2,67$, $R_3 = 2,20$. Получив расчеты, мы можем увидеть, что в Астане значения R_1 и R_3 выше, чем средний по республике, а значение R_2 находится на одном уровне.

Таблица 1 – Пожарные риски в Астане за 2005–2015 гг.

Пожарные риски	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
$R_1 \cdot 10^3$	1,16	0,81	1,08	1,15	1,06	1,07	0,8	1,22	0,99	0,99	1,3
$R_2 \cdot 10^2$	4,23	6,73	4,51	1,0	5,43	9,8	3,39	2,32	2,84	2,10	2,28
$R_3 \cdot 10^5$	4,91	5,45	4,9	1,16	5,78	4,46	2,72	2,82	2,82	2,09	3,09

Для построений и использования моделей процесса функционирования ПСГ необходимо проверить, насколько адекватно описывают модельные распределения реальные статистические распределения. В ходе проведенного исследования были проанализированы статистические распределения потоков вызовов ПСП и временные характеристики процесса их функционирования.

В работе показано, что распределение числа вызовов ПСП по суткам за 6 месяцев 2015 г. хорошо описывается распределением Пуассона (таблица 2 и рисунок 3).

Таблица 2 – Эмпирическое и теоретическое распределения числа вызовов ПСП в Астане за 6 месяцев 2015 г.

Месяц	Число выездов в сутки							Число суток	λ	R
	0	1	2	3	4	≥ 5				
Январь-июнь	Эмпир.	15	38	49	44	17	18	181	2,35	1,59
	Теорет.	17,26	40,56	47,65	37,32	21,92	10,32			

Примечание: λ – среднее число выз./сутки, R – критерий Романовского.



Рисунок 3 – Эмпирическое и теоретическое (пуассоновское) распределение числа вызовов ПСП города Астана за 6 месяцев в 2015 г.

Временные характеристики, в частности время обслуживания вызовов, хорошо описывается законом Эрланга.

На рисунке 4 представлена гистограмма эмпирического и теоретического распределений длительности времени обслуживания вызовов оперативными отделениями в 2015 г.

По результатам исследования был сделан вывод об удовлетворительном соответствии эмпирического и теоретического распределений.

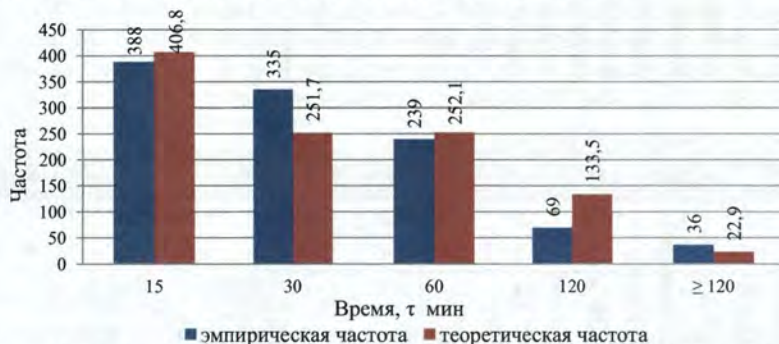


Рисунок 4 – Гистограмма эмпирического и теоретического распределений длительности времени обслуживания вызовов ПСП в городе

Далее были исследованы статистические закономерности привлечения пожарной техники для обслуживания вызовов. В таблице 3 и на рисунке 5 представлено распределение числа, выезжавших по вызову пожарных автомобилей в городе за 6 месяцев 2015 г.

Таблица 3 – Распределение числа вызовов на пожары, в зависимости от количества привлекавшихся для их обслуживания пожарных автомобилей

Количество ПА, l	Число вызовов (частота), n_l	Относительная частота, ω_l
1	24	0,0564
2	193	0,4530
3	99	0,2324
4	52	0,1221
≥ 5	58	0,1361
Всего	426	1,000



Рисунок 5 – Полигон распределения числа вызовов, произошедших в городе за 6 месяцев по количеству выезжавших пожарных автомобилей

Из таблицы 3 и рисунка 5 следует, что подавляющее число вызовов (около 70 % от общего числа вызовов) в городе обслуживается с привлечением не более трех пожарных автомобилей (т. е. два или три). Полученные результаты позволили использовать более сложные математические модели для проведения оценки ПСГ.

В работе детально изучено время прибытия пожарных подразделений при крупных пожарах, произошедших в Астане в различное время года. На рисунке 6 показан пример реального распределения времени прибытия оперативных отделений при двух крупных пожарах. Время прибытия требуемого количества оперативных отделений к месту вызова находилось в диапазоне от 5 (прибытие первых отделений) до 29 мин (прибытие последних отделений). Анализ показал, что время сосредоточения увеличивалось в зависимости от удаленности дислокации пожарных частей, скорости движения пожарных автомобилей (высокая загруженность дорог, гололед и др.). Полученные результаты позволили сравнить реальные данные с результатами в процессе компьютерного моделирования деятельности оперативных подразделений.

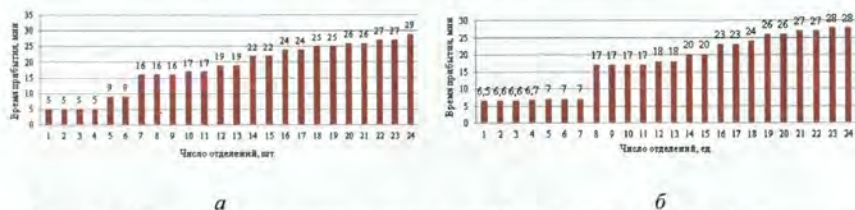


Рисунок 6 – Распределение реального времени прибытия различного числа оперативных подразделений при крупных пожарах:

а – распределение времени прибытия ПСП на вызов по тушению крупного пожара в двухэтажном общежитии в 2012 г.; *б* – распределение времени прибытия ПСП на вызов по тушению крупного пожара в новостроящемся многофункциональном комплексе в 2016 г.

В третьей главе «Компьютерное моделирование деятельности оперативных подразделений города Астаны» представлены общее описание компьютерной имитационной системы (КИС) КОСМАС (Компьютерная Система Моделирования Аварийных Служб), схема ее адаптации, применения и модернизации для Астанинского ПСГ.

Схема применения имитационной системы для исследования, оценки оперативной деятельности и проектирования развития ПСГ реализовывалась в четыре этапа.

На первом этапе происходила настройка (адаптация) системы на конкретную территорию и ПСГ, в ходе которой осуществлялся сбор, обработка, анализ информации, характеризующей параметры ПСГ, территории города и процесса функционирования ПСГ и ее ввод в КИС. На рисунке 7 представлен фрагмент работы КИС, адаптированной к условиям ПСГ города Астаны.

На следующем этапе производилась серия «имитационных прогонов» модели на компьютере, после этого проверялась адекватность модели реальному миру путем сравнения параметров функционирования исследуемой систе-

мы, полученных при моделировании, с параметрами функционирования реальной системы (за основу были взяты реальные статистические распределения за 2014–2016 гг.), а также производилась коррекция исходных данных. Проверка адекватности производилась на основании результатов серии «прогонов» имитационной модели на отрезке времени равном одному году по основным статистическим распределениям:

- распределение плотности потока вызовов во времени (по месяцам года, дням недели, часам суток);
- распределение плотности потока вызовов в пространстве (по территориальным единицам исследуемой территории);
- распределение плотности потока вызовов по «типам вызовов» (числу 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.).

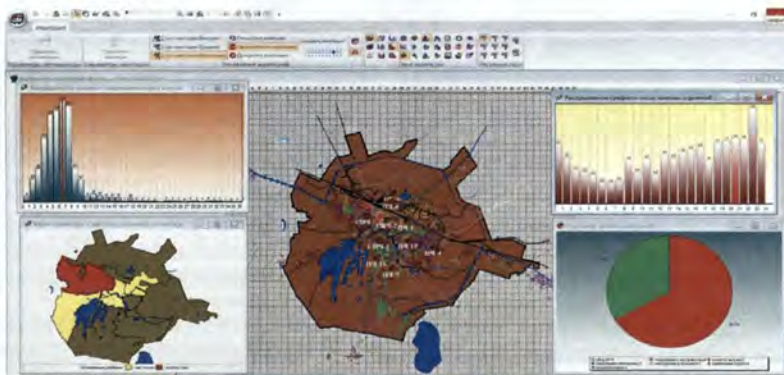


Рисунок 7 – Фрагмент работы КИС, адаптированной к условиям ПСС города Астаны

При сравнении реальных распределений с распределениями, полученными в результате моделирования, было установлено:

- расхождение по распределению во времени (по месяцам года, дням недели и часам суток) составляет в среднем 2–8 % (рисунок 8);
- расхождение по распределению плотности потока вызовов в пространстве (по районам обслуживания пожарных частей) составляет не более 4–9 %;
- расхождение распределений по времени прибытия к месту вызова составляет не более 6–8 % (рисунок 9);
- расхождение по времени занятости на месте вызова не более 4–6 % (рисунок 10).



Рисунок 8 – Распределение реальных данных с результатами моделирования числа вызовов по часам суток

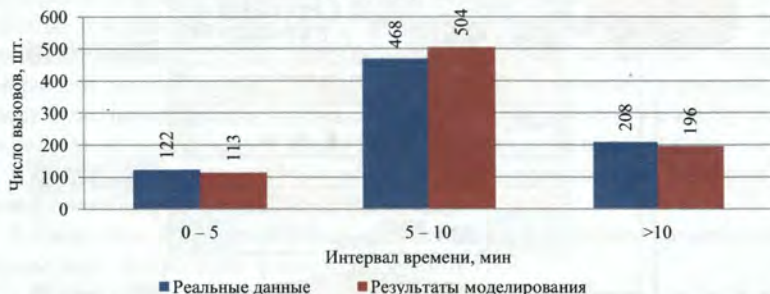


Рисунок 9 – Распределение реальных данных с результатами моделирования времени прибытия к месту вызова



Рисунок 10 – Распределение реальных данных с результатами моделирования времени занятости на месте вызова

Сравнение реальных данных с результатами моделирования подтвердило адекватность имитационной модели, что доказывает возможность ее использования для дальнейшего исследования.

На третьем этапе была произведена модернизация КИС КОСМАС. Для учета специфики функционирования объектовых ПСП была разработана имитационная модель процесса функционирования ПСП исследуемого объекта (в рамках общей модели функционирования ПСГ города).

На рисунке 11 показан укрупненный алгоритм работы имитационной модели оперативной деятельности ПСП объекта.

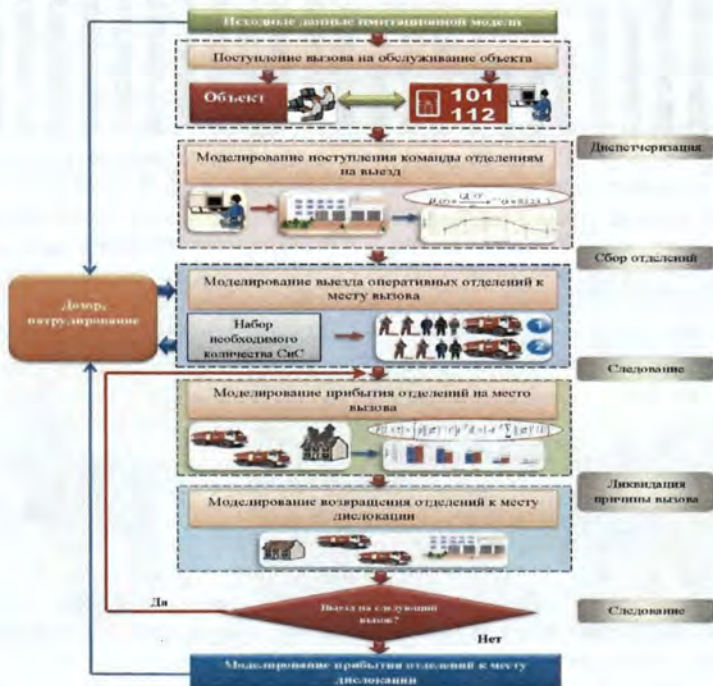


Рисунок 11 – Укрупненный алгоритм работы имитационной модели оперативной деятельности ПСП объекта

При поступлении сообщения о пожаре на пульт службы пожаротушения происходит моделирование процесса диспетчеризации. После идентификации полученной информации (время, место возникновения, тип вызова) моделируется сбор и выезд сил и средств, необходимых для реагирования на данное сообщение. Затем моделируется прибытие оперативных подразделений к месту вызова по каждому из выехавших пожарных автомобилей с учетом реальной конфигурации транспортной сети объекта и города.

Следующим шагом алгоритма является моделирование занятости на месте вызова, по истечении которого оперативное отделение возвращается на место дислокации и ожидает очередного вызова. В случае крупного пожара или одновременных вызовов происходит привлечение дополнительных сил и средств гарнизона.

Данная модель позволила значительно расширить возможности КИС КОСМАС для оценки возможностей ПСГ городов и территорий при реагировании на крупные пожары и ЧС.

На заключительном четвертом этапе проводились множественные имитационные эксперименты в целях исследования поведения системы при различных условиях ее функционирования.

В четвертой главе «Оценка возможностей пожарно-спасательного гарнизона по оперативному реагированию при ликвидации крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций» был разработан алгоритм оценки возможностей ПСГ по оперативному реагированию при ликвидации крупных пожаров и ЧС на основе технологий имитационного моделирования (рисунок 12).

Разработанный алгоритм обеспечивает оценку возможностей гарнизона, при этом выполняются следующие операции:

1. Для проведения оценки интересующих параметров процесса функционирования ПСГ необходимо иметь соответствующие статистические данные. Исходными источником статистических данных являются базы данных АСУ и диспетчерские журналы выездов ПСП по вызовам, а также различные отчетные документы. Эти данные позволяют определить реальный объем работы ПСГ и его динамику, распределение вызовов во времени и по территории города, закономерности использования пожарной техники, временные характеристики процесса функционирования (время следования подразделений к месту вызова, время работы на месте вызова, время занятости на одном вызове) и др.

2. Процесс адаптации КИС к исследуемой территории, параметрам и условиям функционирования ПСГ.

3. Настройка КИС и проверка адекватности результатов моделирования реальным данным процесса функционирования ПСГ.

4. Разработка сценариев для моделирования и планирование имитационных экспериментов.

5. Осуществляется выбор вариантов сценария для моделирования.

6. На основе выбранных сценариев осуществляется проведение имитационных экспериментов.

7. Интерпретация результатов моделирования. На основе детального анализа обработанных результатов накопленных в процессе моделирования подготавливаются выводы по проведенному моделированию и выбор оптимального варианта.

8. На заключительном этапе формулируются окончательные выводы и определяются управленческие решения для повышения эффективности работы ПСГ в случае возникновения крупных пожаров и ЧС.

Данный алгоритм использовался ПСГ Астаны (рисунок 12).

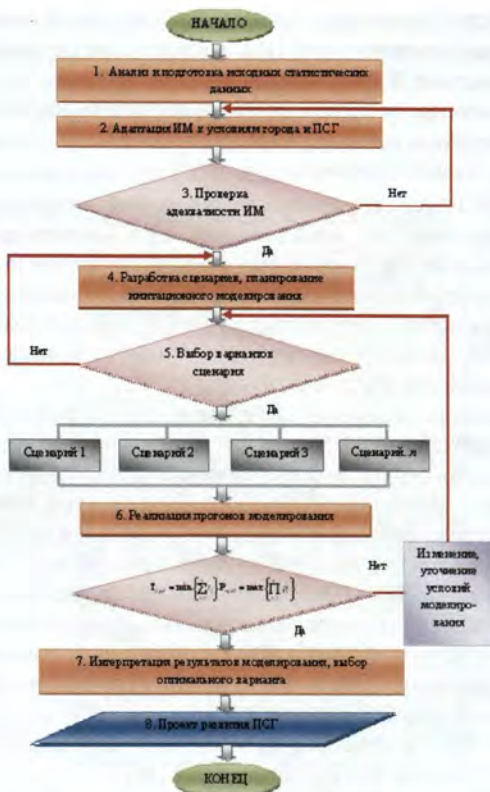


Рисунок 12 – Алгоритм проведения оценки возможностей гарнизона по оперативному реагированию при ликвидации крупных пожаров и ЧС на основе технологий имитационного моделирования

С помощью КИС КОСМАС произведена оценка возможностей прибытия сил и средств ПСГ к месту вызова при возникновении крупного пожара на объектах «ЭКСПО – 2017».

Для этого был разработан и проведен комплекс имитационных экспериментов, состоящий из трех серий (каждая по четыре прогона).

Предполагалось, что на объекте может возникнуть крупный пожар (взята наихудшая ситуация – ранг вызова 3) и в соответствии с расписанием выездов гарнизона по данному рангу пожара высылаются все ближайшие свободные оперативные отделения в количестве 23 единиц.

Оценка вероятности и времени прибытия производилась при следующих вариантах: 1) при текущих параметрах оперативной обстановки в городе в различные месяцы, дни недели, время суток; 2) при гипотетическом увеличении плотности потока вызовов, обслуживаемых ПСГ, в два раза (т. е. при резком увеличении объема оперативной работы); 3) при возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных ЧС в ближайших к объекту рай-

онах, требующих для своей ликвидации одновременного привлечения значительного числа сил и средств.

В результате моделирования были сделаны следующие выводы:

1. При текущих параметрах оперативной обстановки в городе время сосредоточения необходимого количества сил и средств к исследуемому району по рангу вызова 3 (23 оперативных отделений) в случае возникновения пожара будет находиться в интервале от 6 до 25 мин, при этом 50 % сил и средств смогут прибыть к месту вызова только через 16–18 мин. Следует учитывать, что все оперативные отделения соберутся в указанный интервал только в 71 % случаев, в других случаях это время окажется больше (рисунки 13–14).

2. При гипотетическом увеличении плотности потока вызовов в два раза время сосредоточения необходимого количества сил и средств в исследуемый район будет колебаться от 9 до 30 мин, при этом только в 44 % случаев все оперативные отделения соберутся в течение указанного интервала (за счет увеличения случаев одновременных вызовов). Для отдельных типов оперативных отделений возможны отклонения во времени прибытия до 25 %, связанные с их занятостью обслуживанием других вызовов (рисунки 15–16).

3. При возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных ЧС на исследуемом объекте и в соседних районах время сосредоточения необходимого количества сил и средств будет находиться в интервале от 10 до 30 мин, при этом для некоторых отделений возможны существенные отклонения времени прибытия (до 20 %), в то время как другие отделения вообще не смогут своевременно прибыть к месту вызова в силу своей занятости на других вызовах, т. е. вместо 23 отделений к месту вызова в указанные временные рамки прибьет меньшее число оперативных отделений (рисунки 17–18).

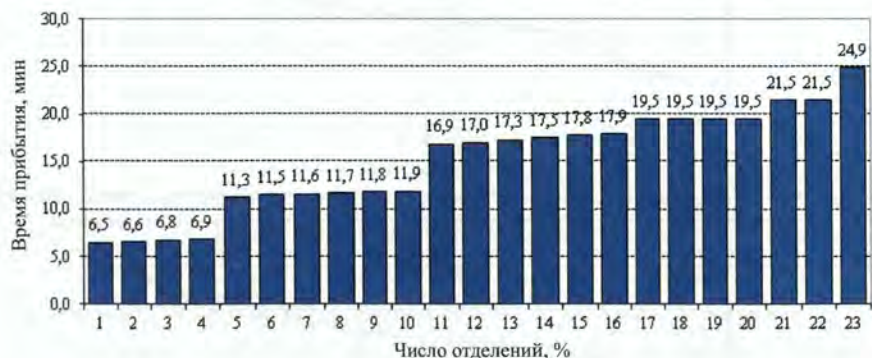


Рисунок 13 – Распределение времени прибытия для различного числа оперативных отделений к исследуемому объекту при текущих параметрах оперативной обстановки (по результатам моделирования)

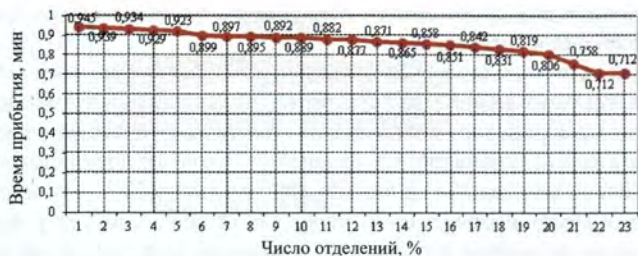


Рисунок 14 – Распределение вероятностей прибытия различного числа оперативных отделений к исследуемому объекту при текущих параметрах оперативной деятельности (по результатам моделирования)



Рисунок 15 – Распределение вероятностей прибытия различного числа оперативных отделений к исследуемому объекту при гипотетическом увеличении плотности потока вызовов в два раза (по результатам моделирования)



Рисунок 16 – Распределение времени прибытия к исследуемому объекту при гипотетическом увеличении плотности потока вызовов в два раза (по результатам моделирования)

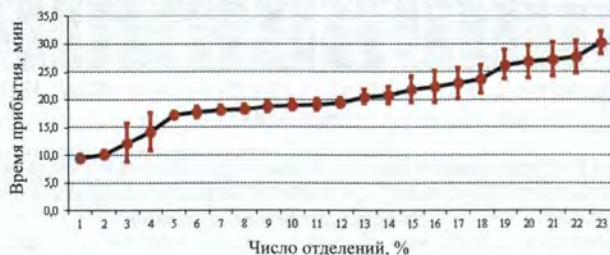


Рисунок 17 – Распределение времени прибытия к исследуемому объекту при возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных ЧС (по результатам моделирования)

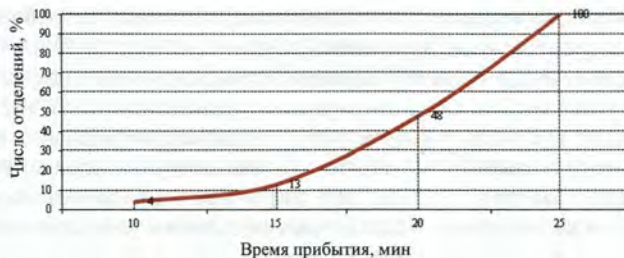


Рисунок 18 – Кумулята времени прибытия к исследуемому объекту при возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных ЧС (по результатам моделирования)

В результате проведенных экспериментов были разработан ряд рекомендаций по дислокации и реагированию ПСП в случае крупных пожаров в исследуемом городе, которые были внедрены в Астанинском ПСП.

На основе алгоритма оценки возможностей ПСП при реагировании на крупные пожары и ЧС разработана схема принятия решений по поддержке управления ПСП (рисунок 19).

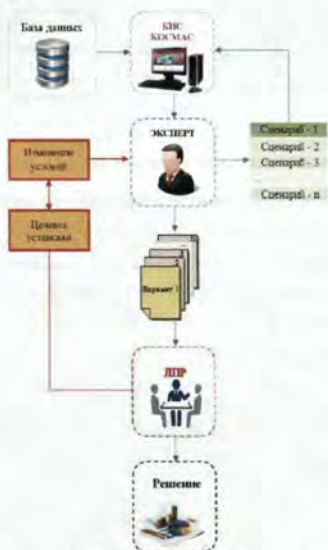


Рисунок 19 – Схема алгоритма принятия решений по поддержке управления ПСП

Учитывая, что работа с имитационной моделью предполагает большое количество проведения имитационных экспериментов, эксперт использует сценарии, состоящие из сформулированных задач в виде параметров процесса функционирования ПСП с учетом перспективного развития города, имея при этом свои критерии и ограничения. Следующий этап связан с определением вариантов управленческих решений (альтернатив), который можно подразделить на еще три этапа: результаты моделирования, поиск и нахождение альтернатив, выбор оптимального варианта. Если полученные результаты оказались неудов-

летворительными, то лицо, принимающее решение, может потребовать изменение условий в процессе моделирования.

Описанный выше процесс позволяет проводить индивидуальные исследования для решения большого спектра задач, однако один или несколько экспертов не могут удержать в голове все принципиально важные детали исследуемого объекта, к тому же во многих случаях доступ к определенным базам данных строго ограничен. Поэтому при разработке и планировании имитационных экспериментов желательно подключать компетентных специалистов и руководителей гарнизона с распределением полномочий, которое дает существенное преимущество на различных этапах исследования. На рисунке 20 приведен пример схемы организации коллективной работы по оценке возможностей ПСГ.



Рисунок 20 – Схема организации коллективной работы по оценке возможностей ПСГ

На основании результатов исследований, проведенных в данной работе, сформулирована одна из основных задач, стоящая перед руководителями ПСГ, а именно: создание эффективной системы дислокации сил и средств в соответствии с перспективным развитием инфраструктуры города. На рисунке 21 приведены зоны резерва развития города до 2030 года.



Рисунок 21 – Зоны резерва развития г. Астаны до 2030 года

С помощью технологий имитационного моделирования в работе произведена оценка вариантов развития сил и средств ПСГ.

Оценка численности и дислокации новых пожарных депо в городе производилась с учетом:

- развития инфраструктуры городской среды;
- изменения параметров оперативной обстановки;
- существующей сети пожарных депо;
- схемы размещения сети пожарных депо, предусмотренной департаментом по чрезвычайным ситуациям (ДСЧ) Астаны;

На рисунке 22 показаны исследуемые варианты размещения пожарных депо.

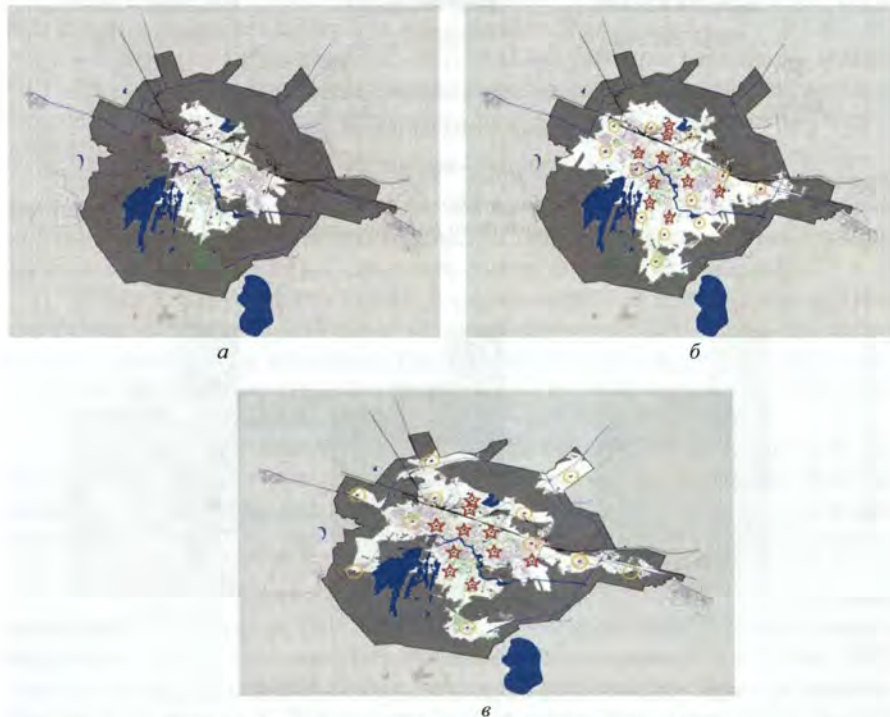


Рисунок 22 – Варианты размещения новых пожарных депо:

а – существующий вариант размещения пожарных депо; *б* – при реализации схемы новых пожарных депо ДЧС г. Астаны (желтые круги – новые пожарные депо); *в* – рекомендуемые места дислокации новых пожарных депо (желтые круги – новые пожарные депо)

Опираясь на полученные результаты имитационного моделирования, учитывающие перспективный план застройки территории города, был предложен вариант численности и размещения сил и средств ПСГ, который, с точки зрения развития службы, является наиболее рациональным, поскольку обеспечивает выполнение требований законодательства по оперативному реагированию при меньшем числе ресурсов службы (рисунок 23–24), чем вариант, предусмотренный ДЧС.

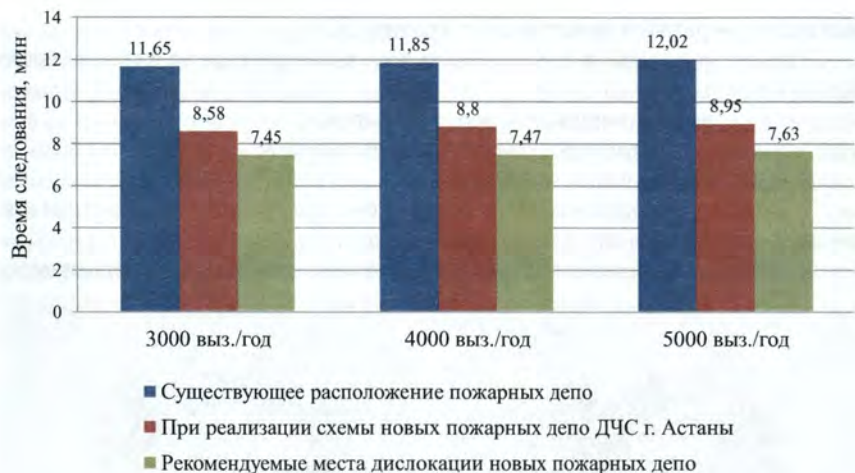


Рисунок 23 – Распределение времени следования ПСГ к местам вызовов (по результатам моделирования)

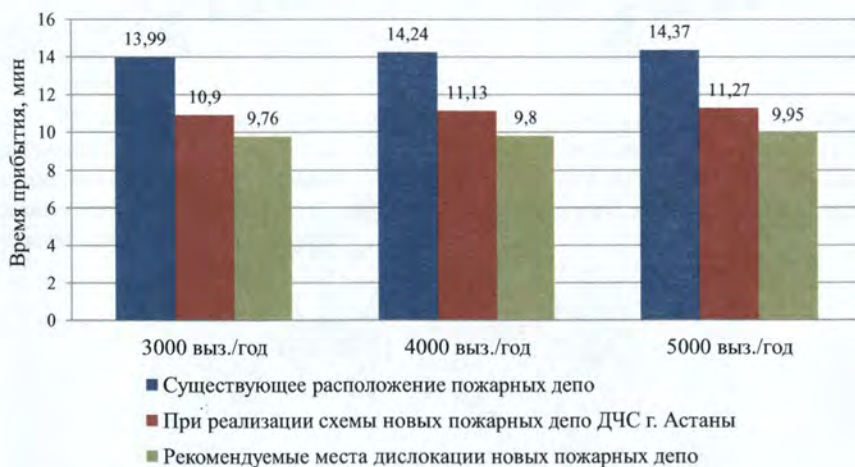


Рисунок 24 – Распределение времени прибытия ПСГ к местам вызовов (по результатам моделирования)

В приложении приведены акты внедрения диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Проведен анализ параметров оперативной обстановки и территориальных пожарных рисков в исследуемом городе, в результате которого установле-

но: ежегодное увеличение численности населения, числа пожаров и тяжести последствий от них; за последние 5 лет произошло увеличение времени прибытия первых ПСП к месту вызова на 22 %; риск человека столкнуться с пожаром за единицу времени, риск для человека погибнуть при пожаре и риск жителя города погибнуть в результате пожара выше, чем средний по республике.

2. Исследованы потоки вызовов ПСП, временные характеристики обслуживаемых вызовов и время сосредоточения сил и средств при крупных пожарах. В результате проведенного анализа установлено, что потоки вызовов ПСП на территории города хорошо описываются распределением Пуассона, а временные характеристики обслуживаемых вызовов распределением Эрланга, при этом время сосредоточения требуемого количества сил и средств при крупных пожарах находится в широких диапазонах от 5 до 29 минут.

3. Проведена адаптация КИС «КОСМАС» к условиям реального города и ПСГ. Результаты адаптации подтвердили адекватность имитационной модели. Погрешность результатов моделирования по основным статистическим распределениям не превышает 3–6 %.

4. Проведена модернизация КИС «КОСМАС» посредством разработки имитационной модели функционирования оперативных ПСП объекта. Данная имитационная модель значительно повысила точность результатов работы КИС по оценке возможностей ПСГ при реагировании на крупные пожары и ЧС.

5. Разработан алгоритм оценки возможностей ПСГ по оперативному реагированию на крупные пожары и ЧС. Особенностью полученного алгоритма является возможность проводить оценку оперативной деятельности подразделений любого ПСГ при крупных пожарах и ЧС, разрабатывать различные варианты ее совершенствования.

6. Разработаны сценарии моделирования функционирования ПСП объекта и города, которые позволили эффективно оценить возможности ПСГ по обеспечению необходимого количества сил и средств в случае возникновения крупных пожаров и ЧС при текущих и гипотетических условиях его функционирования.

7. Разработан проект развития ПСГ Астаны с учетом перспективного плана развития города до 2030 года. Показано что при рекомендуемом варианте дислокации сил и средств ПСГ временные характеристики прибытия ПСП к месту вызова будут эффективнее, чем при существующем варианте дислокации сил и средств на 31 % и при реализации схемы дислокации сил и средств, предусмотренной ДЧС Астаны на 12 %.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В научных изданиях, рекомендованных ВАК России

1. **Захаров, И.А.** Анализ обстановки с пожарами в городе Астана перед проведением международной выставки «Экспо – 2017». [Электронный ресурс] / И.А. Захаров, С.В. Соколов // Технологии техносферной безопасности. 2016. – Вып. 5 (69). Режим доступа <http://ipb.mos.ru/ttb/2016-5/> (дата обращения 05.06.2016).

2. **Захаров, И.А.** Анализ деятельности противопожарной службы города Астана [Электронный ресурс] / И.А. Захаров // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2. – С. 67–74. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2017-2/> (дата обращения 12.09.2017).

3. **Соколов, С.В.** Оценка возможностей противопожарной службы города Астаны по обеспечению необходимого количества сил и средств при возникновении пожара на объекте международного выставочного комплекса «ЭКСПО – 2017» [Текст] / С.В. Соколов, И.А. Захаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 53–58. DOI: 10.25257/FE.2017.2.53-58

В других научных изданиях

4. **Захаров, И.А.** Анализ пожарной обстановки в крупных городах Казахстана [Текст] / И.А. Захаров // Системы безопасности – 2016 : материалы 25-й Международной научно-технической конференции. – М., 2016. – С. 203–205.

5. **Захаров, И.А.** Экспертиза противопожарной службы города Астаны на основе компьютерных имитационных систем [Текст] / И.А. Захаров // Комплексные проблемы техносферной безопасности: сб. международной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2016. – Ч. III. – С. 49–52.

6. **Захаров, И.А.** Имитационное моделирование противопожарной службы [Текст] / И.А. Захаров // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – 2016. – № 3 (23) – С. 53–56.

7. **Захаров, И.А.** Совершенствование развития противопожарной службы города Астаны с использованием технологий имитационного моделирования. [Текст] / И.А. Захаров // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : сб. матер. 7-й Международной научно-практической конференции. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2016. – С. 85–87.

8. **Захаров, И.А.** Анализ использования пожарной техники в городе Астане [Текст] / И.А. Захаров, И.П. Максимов // Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы : сб. международной научно-практической конференции. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2017 – С. 109–112.

9. **Захаров, И.А.** Применение компьютерных технологий для оценки возможностей пожарно-спасательного гарнизона при крупных пожарах и чрезвычайных ситуациях [Текст] / И.А. Захаров // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: сб. 8-й международной научно-практической конференции. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2017 – С. 190–192.

2018535654

