

**Н. Н. БРУШЛИНСКИЙ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nbrus1934@yandex.ru)

**С. В. СОКОЛОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus-ssv@yandex.ru)

**Е. М. АЛЕХИН**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: k-post1@yandex.ru)

**Ю. И. КОЛОМИЕЦ**, канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus.stres@gmail.com)

**П. ВАГНЕР**, канд. техн. наук, заместитель начальника Академии пожарной службы Берлина (Германия, 13503, г. Берлин, Руппинер Чаусси, 268; e-mail: drpeterwagner@kabelmail.de)

УДК 614.735

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЖБ

Кратко изложены возможности компьютерного моделирования процесса функционирования экстренных и аварийно-спасательных служб. Описана история и приведены основные причины появления компьютерных имитационных систем. Представлено их краткое описание, а также возможности и процесс адаптации для конкретных служб. Приведен обзор применения этих систем для решения ряда задач различных экстренных и аварийно-спасательных служб в разных городах и регионах.

**Ключевые слова:** экстренные службы; оперативная деятельность экстренных служб; моделирование; имитационная модель; имитационная система.

**DOI:** 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16

### Предыстория создания имитационной системы "КОСМАС"

Основной принцип проектирования городских экстренных служб заключается в следующем: любая экстренная служба должна быть организована таким образом, чтобы в любой момент времени на любое возникшее в городе происшествие, в ликвидации последствий которого данная служба обязана принять участие, она могла своевременно отреагировать набором сил и средств (или подразделений) (emergency units), адекватным характеру возникшего события. При этом должны выполняться два основных ограничения:

1) прибытие оперативных подразделений данной службы к месту вызова должно укладываться в допустимые временные интервалы, обусловленные закономерностями развития и уровнем риска конкретного происшествия (пожара, травмы с большой потерей крови, обрушения дома, разрыва водопроводной трубы и т. д.);

2) общее количество оперативных подразделений данной службы в городе должно быть экономи-

чески оправданным, т. е. соответствовать приемлемому уровню риска, заданному для происшествия каждого типа.

Администрация города и руководство каждой экстренной службы города должны располагать определенным научным инструментарием для обоснования размеров и организации функционирования службы.

Разработка такого инструментария в виде математических моделей и расчетных методов, позволяющих решать вопросы проектирования экстренных служб, началась еще в середине 60-х годов в России, Великобритании, США. Был разработан целый ряд математических моделей для исследования различных аспектов оперативной деятельности служб пожарной охраны, медицинской помощи, полиции. Таким образом, на сегодняшний день это направление теоретически достаточно хорошо проработано, и математические модели нашли свое применение [1–12].

В то же время такие мощные средства, как имитационные модели, позволяющие исследовать поч-

ти все спектры деятельности экстренных служб и практически не имеющие теоретических ограничений, до конца прошлого века не имели широкого применения. Причины этого достаточно подробно были описаны еще в публикациях [5–7, 13, 14]. Отметим лишь основные из них: эти модели были предназначены для эксплуатации на больших ЭВМ, которых не имело большинство департаментов экстренных служб; работать с ними могли только специалисты в области программирования, к тому же они отличались высокой стоимостью.

И только с появлением имитационных систем на базе современных персональных компьютеров удалось перенести решение насущных проблем экстренных служб из научных лабораторий на местный городской уровень и значительно повысить их эффективность.

Такой имитационной системой является система “КОСМАС” (KOSMAS) (компьютерная система моделирования аварийных служб), первые версии которой были созданы авторами в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века [13–21].

Созданию этой системы предшествовало построение математической теории функционирования экстренных служб, разработанной в 70–80-е годы XX в. [11, 12] и опирающейся главным образом на теорию марковских случайных процессов. Основным недостатком этой теории является то, что она, вполне удовлетворительно описывая процесс функционирования экстренных служб во времени, не способна описать его в пространстве, что в данном случае чрезвычайно важно.

Попытки построить аналитические модели изучаемого процесса и во времени, и в пространстве привели к сложнейшим дифференциальным уравнениям с частными производными, точное решение которых невозможно, а численное решение непригодно для практического использования.

В связи с этим уже в середине 70-х годов прошлого столетия авторы начали создавать первые простейшие имитационные модели процесса функционирования экстренных служб. С быстрым ростом возможностей вычислительной техники совершенствовались и имитационные модели.

В результате в середине 90-х годов были разработаны первые современные версии системы “КОСМАС” [18, 19]. За последние 25 лет данная система была адаптирована для различных экстренных служб (пожарной, медицинской, газовой) и внедрена более чем в 40 городах и регионах России, Германии, Эстонии, Хорватии и Турции. Число городов и территорий, использующих систему “КОСМАС”, непрерывно растет. Эта система, хорошо известная специалистам многих стран мира, получила множество международных наград (дипломов и меда-

лей) и пока не имеет аналогов. В феврале 2008 г. авторам системы присвоено звание лауреатов премии РАЕН “Во славу и пользу Отечества” за разработку проблемно ориентированных имитационных систем для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов.

### Общее описание имитационной системы

Что же такое имитационная система “КОСМАС”? В общем виде это сложный комплекс математических моделей, использующих вероятностно-статистические закономерности функционирования экстренной службы и топографические параметры территории, которую она обслуживает [21].

В компьютерной терминологии это программный продукт, объединяющий в единую систему комплекс программ для компьютера и воспроизводящий алгоритмы, последовательно описывающие (имитирующие) все детали процесса функционирования экстренной службы. На рис. 1 представлена общая структура имитационной системы “КОСМАС”.

Данная имитационная система предназначена для исследования процесса функционирования подразделений экстренных служб города и экспертизы проектных, организационных и управленческих решений, связанных с деятельностью этих служб.

В имитационной системе “КОСМАС” город (территория) представляется в виде графа уличной сети и непрерывного пространства заданной конфигурации, на котором заданы места дислокации различных городских объектов, больниц, подразделений экстренной службы, районы их обслуживания, техника и персонал, размещенные на каждой станции, и т. п.

Уличная сеть в системе представляется в “векторном” виде. Каждому отрезку может быть присвоена своя скорость движения (которая может меняться в зависимости от времени суток) и направление движения. В качестве базового алгоритма поиска оптимальных маршрутов в транспортной сети используется алгоритм Дейкстры.

Ядром компьютерной системы является имитационная модель, в основе которой лежат статистические закономерности случайных процессов, присущих функционированию экстренных служб города.

В общем виде имитационная модель представляет собой программу для компьютера, описывающую в терминах языка программирования с различной степенью детализации все процессы, действия и события (в соответствии с функционированием конкретной экстренной службы), которые происходят с момента поступления вызова на центральный диспетчерский пункт экстренной службы города и

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (регулируемые параметры)

#### Параметры города:

- топография
- уличная сеть
- скорости движения
- основные объекты
- другие

#### Параметры экстренной службы:

- число депо (станций)
- дислокация депо
- районы обслуживания
- число подразделений
- типы подразделений
- распределение подразделений по депо
- варианты диспетчеризации
- расписание выездов
- графики дежурства
- численность персонала
- другие

#### Статистические параметры:

- распределение потока вызовов во времени (по месяцам, дням недели, часам суток) и в пространстве (по территории города)
- структура потока вызовов
- распределение временных характеристик: времени диспетчеризации, сбора и выезда, следования и ликвидации, причины вызова
- другие

### ЦЕЛЕВАЯ УСТАНОВКА



Программа  
проведения  
экспериментов

**МОДУЛЬ  
УПРАВЛЕНИЯ  
КОСМАС**

Обработка  
результатов

Анализ  
результатов

Варианты  
решений

### МОДЕЛИРУЮЩИЙ АЛГОРИТМ

Моделирование типа,  
места и времени вызова  
(запрос на обслуживание)

Моделирование времени и  
процесса диспетчеризации  
(выбор и высылка  
оперативных  
подразделений на вызов)

Моделирование времени  
и процесса сбора и выезда  
оперативных подразделений  
по вызову

Моделирование процесса  
следования оперативных  
подразделений к месту  
вызова

Моделирование времени  
и процесса ликвидации  
причины вызова

Моделирование  
специальных операций конкретной  
аварийной службы  
(доставка пострадавшего  
в больницу, реабилитация  
подразделения и др.)

Моделирование процесса  
следования подразделений  
к месту дислокации  
или на следующий вызов

Рис. 1. Общая структура имитационной системы “КОСМАС”

до возвращения оперативных подразделений к своим местам дислокации.

В модели этот ход событий определяется моделирующим алгоритмом, который при его реализации на компьютере посредством арифметических и логических операций воспроизводит процессы, происходящие в исследуемой системе, с сохранением основных временных и количественных соотношений.

При этом действия и процессы, занимающие в реальном масштабе времени часы и дни, воспроизводятся в течение нескольких секунд или минут (в зависимости от степени детализации описываемого процесса, периода имитации и быстродействия компьютера).

В процессе имитационных экспериментов система «КОСМАС» может решать весьма широкий спектр практически важных задач. Так, например, варьируя параметры системы (численность ресурсов службы, места их дислокации, границы районов выезда, варианты диспетчеризации, скорости движения автомобилей в разных частях города, плотность потоков вызовов в целом по городу и в отдельных его районах и т. д.), можно получать любые характеристики процессов функционирования экстренных служб и выбирать наиболее рациональные и экономичные варианты их организационных структур.

Весьма важным является то, что в ходе проведения имитационных экспериментов пользователь

имеет возможность наблюдать (контролировать) на экране компьютера весь процесс имитации (распределение вызовов по территории города и движение оперативных подразделений по ней), а также всевозможные информационные карты, графики и таблицы, характеризующие процесс функционирования экстренной службы. Таким образом, исследователи и все заинтересованные лица (руководители службы и администрация города) могут видеть влияние изменения тех или иных исходных параметров на процесс функционирования службы. На рис. 2–4 представлено несколько примеров имитации в системе «КОСМАС».

Система «КОСМАС» предназначена для ответов на вопросы типа «Что произойдет в городе, если: закрыть часть депо (станций) или, наоборот, построить несколько новых депо; изменить границы районов обслуживания; убрать (или добавить) несколько оперативных подразделений (на автоцистернах, машинах скорой помощи и др.); изменить численность и график дежурств персонала?» или «Смогут ли подразделения экстренной службы прибыть к какому-либо городскому объекту в нужном количестве и за определенное время в случае возникновения на нем аварийной ситуации?» и на многие другие подобные вопросы.

Обязательным требованием, предъявляемым к любой математической модели какого-либо процесса, является ее адекватность действительности, т. е. достаточно точное для практического исполь-

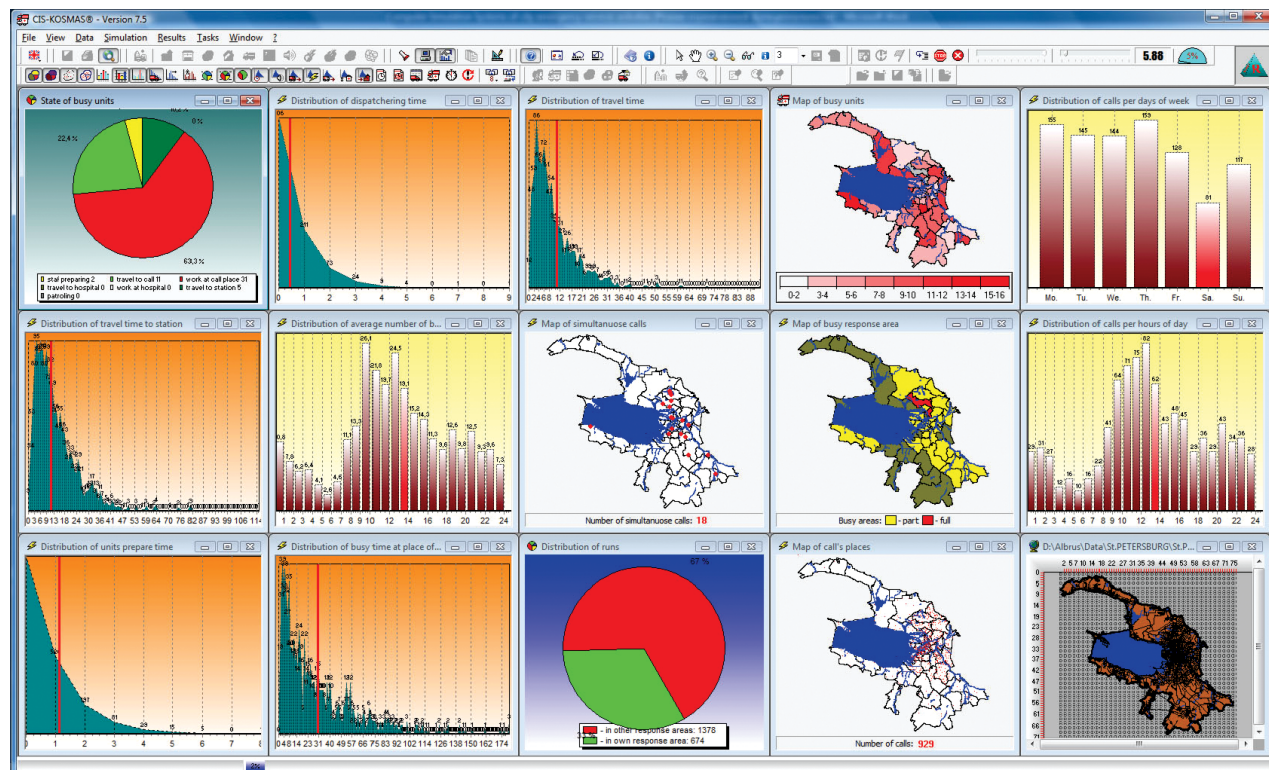


Рис. 2. Пример процесса имитации для г. Санкт-Петербурга

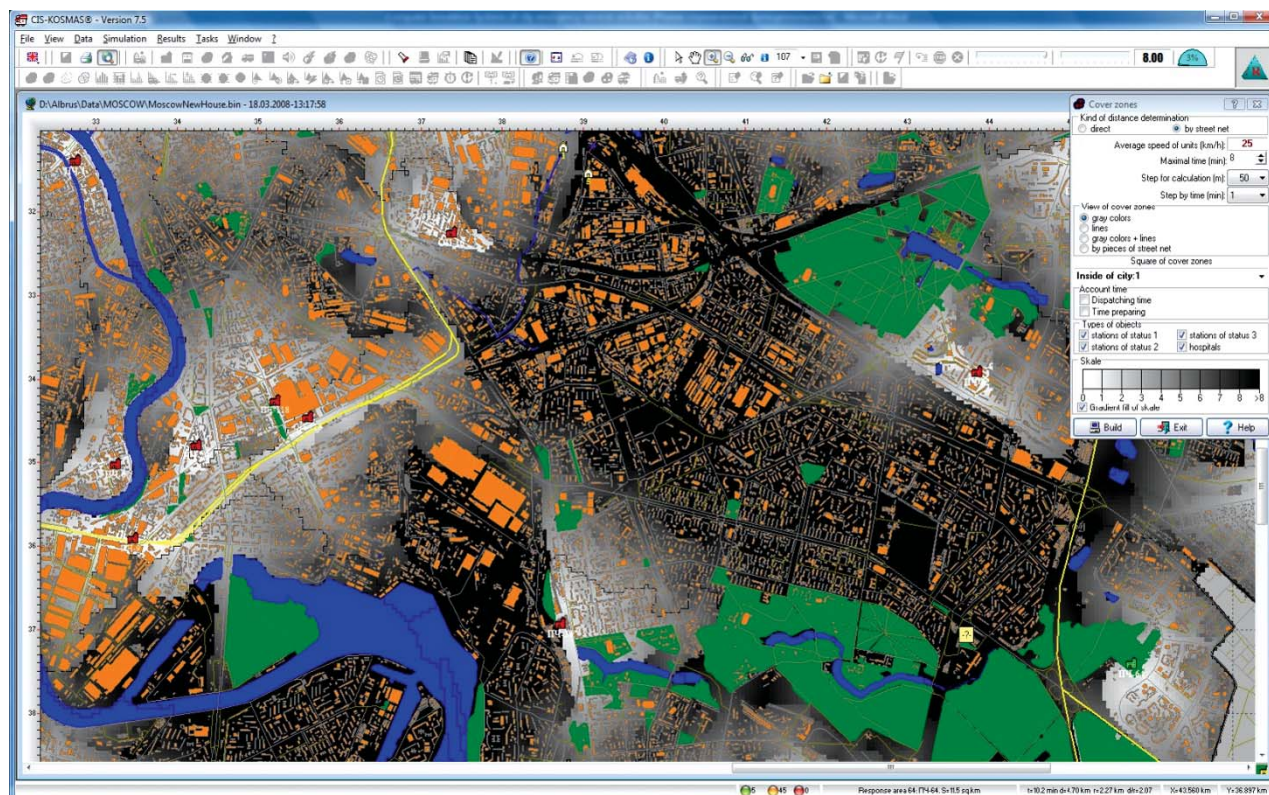


Рис. 3. Пример зон покрытия территории г. Москвы (фрагмент) пожарными подразделениями в темных зонах при времени следования более 8 мин

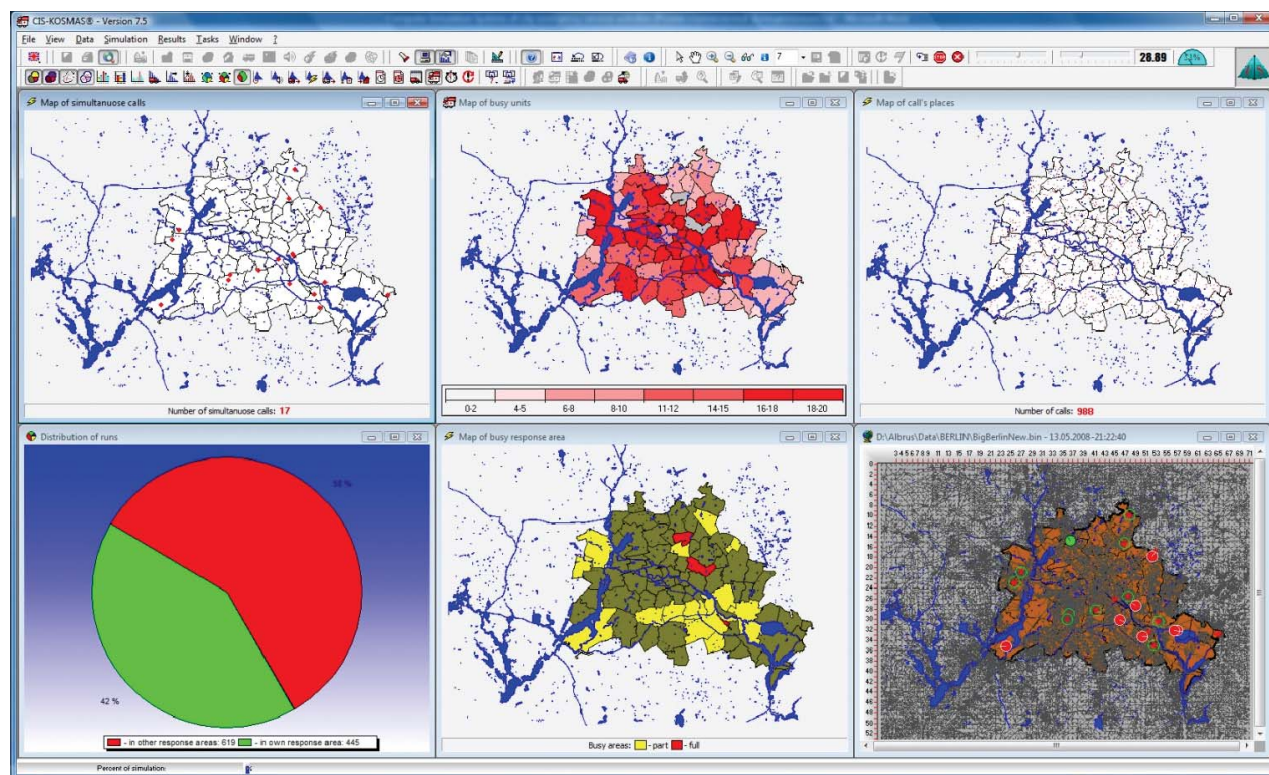


Рис. 4. Пример процесса имитации для г. Берлина

зования этой модели описание реального процесса. Проверка адекватности модели — обязательное условие адаптации системы к конкретной экстренной

службе. Исходя из опыта использования имитационной модели “КОСМАС”, можно утверждать, что она показывает весьма хорошие параметры устой-

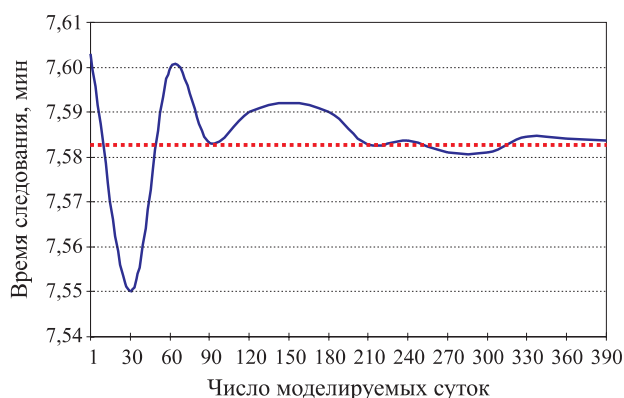


Рис. 5. Стабилизация значений времени следования в зависимости от числа моделируемых суток

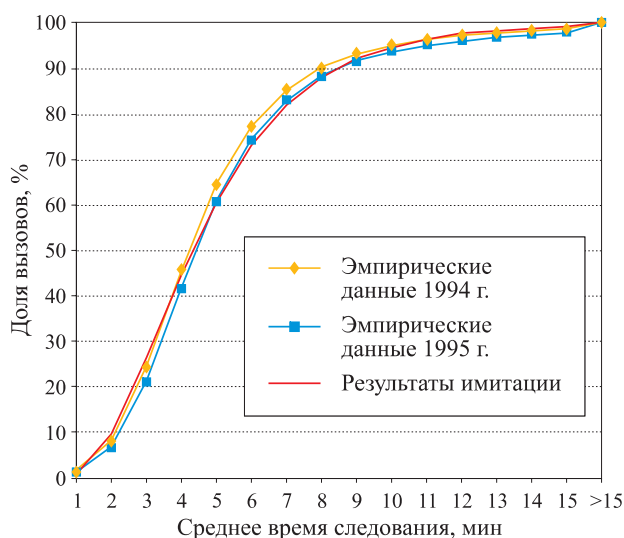


Рис. 6. Кумуляты времени следования автомобилей скорой помощи в Берлине

чивости результатов моделирования и адекватности. По основным моделируемым распределениям (распределение вызовов во времени и в пространстве, по их типам; распределение различных временных характеристик функционирования оперативных подразделений) расхождение между реальными данными и результатами моделирования составляет максимум 6–7 %. На рис. 5 на примере времени следования к месту вызова представлен график стабилизации значений параметра по результатам моделирования в зависимости от числа моделируемых суток, а на рис. 6 — кумуляты времени следования автомобилей скорой помощи в Берлине.

С более детальной и строгой проверкой адекватности имитационной модели, используемой в системе «КОСМАС», можно ознакомиться в работе [18].

### Возможности имитационной системы

Здесь представлены основные возможности, которые имитационная система «КОСМАС» предоставляет пользователю:

- вводить и изменять любые данные, характеризующие параметры города, экстренной службы и оперативной обстановки в городе;
- моделировать различные реальные и гипотетические ситуации, которые возникают или могут возникнуть в городе при изменении параметров городской среды, экстренной службы или оперативной обстановки;
- визуализировать процесс моделирования с предоставлением различной информации, характеризующей его;
- решать оптимизационные задачи (для конкретных условий) по определению мест дислокации новых депо, больниц, распределению техники по пунктам дислокации, определению вариантов диспетчеризации, определению графиков дежурств персонала и др.;
- автоматизировать проведение имитационных экспериментов;
- определять временные и вероятностные характеристики прибытия оперативных подразделений к месту возникновения различных по сложности ситуаций на городских объектах;
- исследовать различные варианты патрулирования оперативных подразделений по городу;
- исследовать и сравнивать различные варианты диспетчеризации оперативных подразделений;
- анализировать статистические данные, накопленные в процессе моделирования;
- производить расчет числа депо в зависимости от времени следования оперативных подразделений к месту вызова;
- определять зоны покрытия города подразделениями экстренной службы в зависимости от времени их следования;
- устанавливать оптимальные границы районов обслуживания подразделений экстренной службы;
- определять необходимое количество подразделений различных типов экстренной службы;
- проводить анализ зон риска городской территории;
- получать помощь в процессе работы с системой.

### Адаптация имитационной системы

Процесс адаптации имитационной системы для экспертизы деятельности и разработки проекта реорганизации той или иной экстренной службы в конкретном городе включает следующие этапы:

- сбор информации, характеризующей территорию, экстренную службу и процесс ее функционирования (в основном используются базы данных диспетчерских служб и данные географических информационных систем);

- анализ вероятностно-статистических закономерностей процесса функционирования экстренной службы;
- обработка исходных данных (приведение их в соответствие с требованиями системы) и ввод их в систему;
- проверка адекватности результатов моделирования и тестирование системы;
- сдача системы в эксплуатацию, обучение работе с системой.

Система открыта для модернизации, поэтому особенности, связанные с деятельностью конкретной службы или территорией, могут быть дополнительно учтены в системе на стадии адаптации.

Средняя продолжительность адаптации имитационной системы для конкретной экстренной службы города (территории) составляет 6–7 мес. Обучение персонала пользователей системы длится 2–3 дня.

Технические требования к персональному компьютеру следующие: оперативная память — не менее 2 Гбайт, требуемый объем памяти на жестком диске — не менее 500 Мбайт.

### Применение имитационной системы

За последние 25 лет накоплен достаточно большой опыт применения системы “КОСМАС” различными службами для решения десятков видов задач на разных территориях.

В основном система используется в городах и на территориях площадью от 100 до 3000 км<sup>2</sup> с числом пунктов дислокации от 5 до 300. Однако есть опыт применения системы и на гораздо больших территориях, например адаптация системы для газовой службы земли Бранденбург (18 тыс. км<sup>2</sup>, Германия), для Государственной пожарно-спасательной службы целой страны — Эстонии (43 тыс. км<sup>2</sup>).

Ниже приведены примеры лишь некоторых направлений, в которых система “КОСМАС” уже нашла свое применение для решения различных практических задач.

#### Разработка перспективных планов развития экстренных служб

В ходе разработки таких проектов осуществляется полномасштабное исследование деятельности экстренных служб города (территории), в результате которого на основе перспективных параметров развития города (территории) с помощью имитационной системы производится оценка сценариев развития экстренной службы и предлагаются будущие параметры по ее численности и размещению. Такие проекты были разработаны для пожарных служб Москвы и Санкт-Петербурга на период соответственно до 2020 и 2025 гг. Аналогичные работы были

выполнены для ряда германских городов (Берлин, Мюнхен, Гамбург, Франкфурт-на-Майне и др.), двух турецких провинций, одного из округов Хорватии.

#### Определение оптимальной численности и графиков дежурств персонала

Известно, что нагрузка на экстренные службы в течение недели и суток неодинакова, поэтому в ряде городов с целью экономии бюджетных средств производилась оптимизация численности персонала службы на различных временных интервалах. Имитационная система — весьма удобный инструмент для таких целей. С помощью ее оценивался риск сокращения персонала на различных временных интервалах и определялось необходимое распределение численности персонала для каждой станции (депо) по дням недели и часам суток. Такие исследования проводились в ряде городов Германии.

#### Оценка дислокации и патрулирования служб по оказанию помощи на автомагистралях

В данном случае речь идет о различных автомобильных обществах и фирмах, которые оказывают помощь на дорогах своим клиентам в случае аварий или поломок. Задача ставится таким образом: где и в каком количестве должны дислоцироваться или патрулировать дежурные автомобили для эффективного обслуживания своих клиентов? В системе предусмотрены различные алгоритмы патрулирования оперативных подразделений (изначально данный режим проектировался для полицейских служб), которые были доработаны для решения поставленной задачи. В остальном процесс функционирования схож с функционированием других экстренных служб. Работа по адаптации системы для решения таких задач была проведена по заказу одного европейского автомобильного общества.

#### Экспертиза и оценка возможностей экстренных служб

Возможность своевременного прибытия необходимого числа оперативных подразделений для спасения людей и ликвидации аварии во многих случаях оказывается весьма проблематичной, поскольку город живет своей жизнью. В нем в любой момент времени оперативные подразделения обслуживают вызовы (ликвидируют аварии, тушат пожары, в том числе крупные, спасают заболевших людей и т. д.), т. е. подразделения не могут постоянно находиться в местах своей постоянной дислокации. Возникает вопрос, смогут ли (и если да, то за какое время) прибыть к месту аварии все необходимые оперативные подразделения города и начать спасение людей и ликвидацию последствий возникшей аварийной ситуации?

Единственным способом корректно исследовать эту проблему, дать ответы на все вопросы и принять

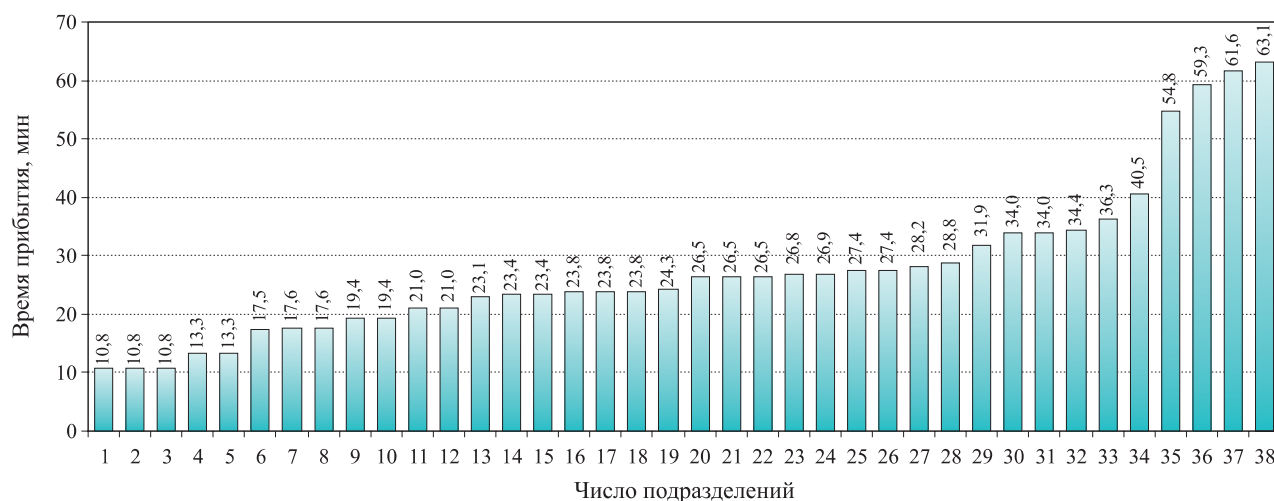


Рис. 7. Распределение времени следования к месту вызова различного числа подразделений

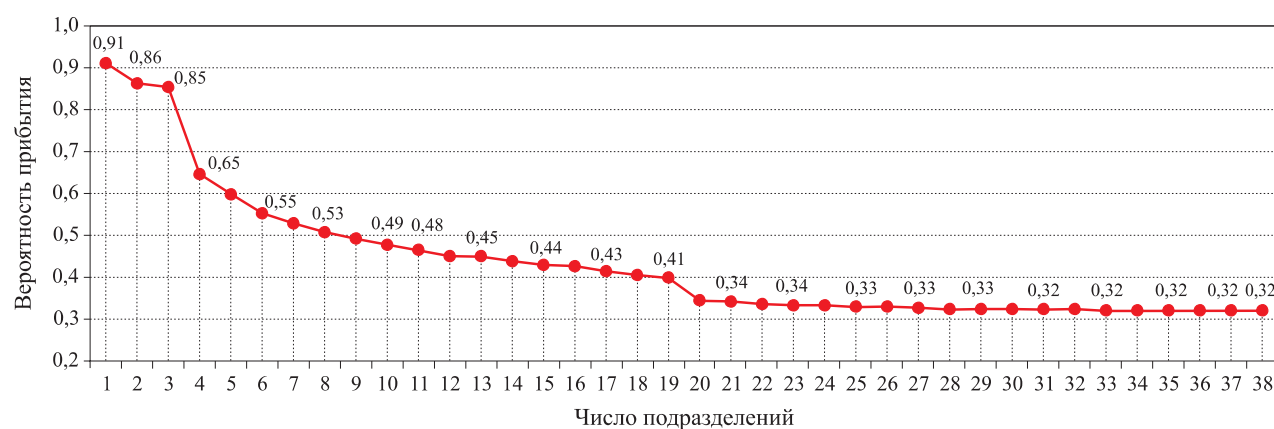


Рис. 8. Распределение вероятности прибытия к месту вызова различного числа подразделений

обоснованные управленческие решения является применение имитационных систем. Они позволяют без проведения многочисленных натурных экспериментов (а в данном случае это просто невозможно) оценивать возможность оперативных подразделений своевременно прибывать к местам возникновения аварий в самых различных реальных и гипотетических ситуациях.

Вот один из фрагментов эксперимента по оценке возможности пожарной службы г. Москвы прибыть на один из уникальных объектов в случае возникновения на нем чрезвычайной ситуации.

*Цель эксперимента* — определение времени и вероятности прибытия необходимого количества оперативных подразделений города к месту вызова.

*Условия моделирования.* Для оценки времени прибытия моделировалась авария, соответствующая самому высокому рангу вызова, по которому высылаются до 38 подразделений различного типа.

Принято условие, что при возникновении аварии к месту вызова будут высылаться все ближайшие свободные подразделения, независимо от того, где

они находятся — в местах своей дислокации или в пути следования.

Оценка вероятности и времени прибытия производилась:

- при текущих параметрах оперативной обстановки в городе в различные месяцы, дни недели, время суток;
- при гипотетическом увеличении плотности потока вызовов, обслуживаемых гарнизоном, в 2 раза;
- при возникновении ситуации одновременного обслуживания двух крупных аварий в районе дислокации объекта, требующих для своей ликвидации одновременного привлечения значительного числа оперативных подразделений;
- при изменении скоростных характеристик уличной сети города (возникновение транспортных пробок, перекрытие улиц) в районе дислокации объекта.

Приведем лишь один из результатов множества имитационных экспериментов. При текущих параметрах оперативной обстановки в городе время сосредоточения необходимого количества оперативных подразделений к исследуемому объекту в слу-

чае возникновения на нем аварии будет находиться в интервале от 10 до 63 мин (рис. 7). При этом оперативные подразделения смогут уложиться в указанный интервал только в 32 % случаев, а в остальных 68 % это время окажется больше (рис. 8).

#### Обучение персонала экстренных служб

На протяжении последних 15 лет в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России на факультете подготовки руководящих кадров существует целый курс “Математические методы и модели управления пожарной службой”, основанный на применении методов имитационного моделирования. В ходе этого курса слушатели с помощью имитационной системы решают различные игровые задачи (реальные и гипотетические), связанные с деятельностью экстренных служб города. Использование имитационной системы благодаря наглядности значительно ускоряет понимание того,

как те или иные управленческие решения могут повлиять на функционирование службы.

#### Заключение

В рамках настоящей статьи, конечно, невозможно осветить все аспекты, касающиеся особенностей разработки имитационной системы, ее возможностей и применения. Система постоянно модернизируется с учетом пожеланий специалистов, которые ее используют. Со временем открываются совершенно новые задачи, которые можно решать с помощью имитационной системы и о которых разработчики даже не подозревали.

Можно утверждать, что будущее именно за имитационными системами, которые все больше входят в различные сферы деятельности человека в XXI веке. Система “КОСМАС” является именно такой технологией XXI века.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н. К вопросу о математическом обосновании количества пожарных частей в городах // В сб.: “Труды Высшей школы МООП СССР”. — Вып. 17. — М.: Стройиздат, 1967.
2. Savas E. S. Simulations and cost-effectiveness analysis of New York's Emergency Ambulance Service // Management Science. — 1969. — Vol. 15, No. 12. — P. B-608–B-627. DOI: 10.1287/mnsc.15.12.B608.
3. Carter G. M., Ignall E. J. A simulation model of fire department operations: Design and preliminary results // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. — 1970. — Vol. 6, Issue 4. — P. 282–293. DOI: 10.1109/TSSC.1970.300303.
4. Kolesar P., Blum E. H. Square root laws for fire engine response distances // Management Science. — 1973. — Vol. 19, No. 12. — P. 1368–1378. DOI: 10.1287/mnsc.19.12.1368.
5. Walker Warren E. Applying systems analysis to the fire service // Fire Engineering. — 1975. — Vol. 128, No. 8.
6. Chaiken J. M. Transfer of emergency service deployment models to operating agencies // Management Science. — 1978. — Vol. 24, No. 7. — P. 719–731. DOI: 10.1287/mnsc.24.7.719.
7. Walker W. E., Chaiken J. M., Ingall E. J. (eds.). Fire department deployment analysis. — New York: Elsevier North Holland, Inc., 1979.
8. Lewis R. J. The application of microcomputers to fire station planning // International Fire Chief. — 1986. — Vol. 52. — P. 18–21.
9. Frankel L. S. Police/fire consolidation in municipalities: 10000 and over // Urban Data Service. — 1978. — Vol. 10, No. 10. — P. 1–8.
10. Chelst K. R. Police-fire merger: a preimplementation analysis of performance and cost // Journal of Urban Affairs. — 1987. — Vol. 9, No. 2. — P. 171–188. DOI: 10.1111/j.1467-9906.1987.tb00473.x.
11. Брушлинский Н. Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы. — М.: Стройиздат, 1981. — 95 с.
12. Брушлинский Н. Н., Кафидов В. В., Козлачков В. И. и др. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства. — М.: Стройиздат, 1988. — 413 с.
13. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Rechnergestützte Feuerwehr-Entwicklungsplanung. “Brand-schutz” Deutsche Feuerwehr-Zeitung, Germany, Juli, 1993 (in German).
14. Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Компьютерные имитационные системы для деятельности экстренных служб города // Программные продукты и системы. — 1994. — № 4. — С. 27–32.
15. Brushlinsky N. N., Nitzschke M., Sokolov S. V., Wagner P. Feuerwehren in Millionenstaedten. — Stuttgart: Kohlhammer, 1995. — 307 p. (in German).
16. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V. Computer simulation systems for study and evaluation of city emergency services operations // Pirozbetki. — 1996. — No. 5 (in Greece).
17. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning // Fire International. — November 1996. — No. 11 — P. 32–33.

18. *Алехин Е. М., Белых А. В., Брушлинский Н. Н., Коломиец Ю. И., Соколов С. В., Вагнер П.* О проверке адекватности математических моделей процесса функционирования аварийно-спасательных служб // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1997. — Вып. 9.
19. *Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Коломиец Ю. И., Соколов С. В., Вагнер П.* Автоматизированное проектирование систем обеспечения безопасности больших городов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. — 1997. — Вып. 7.
20. *Brushlinsky N. N., Sokolov S. V.* Computer simulation systems for examination, studying and design of city emergency services activities // Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference, University of Ulster, 4–5 September 2000.
21. *Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Коломиец Ю. И., Соколов С. В., Вагнер П.* Безопасность городов: имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : Изд-во “ФАЗИС”, 2004. — 172 с.

*Материал поступил в редакцию 25 мая 2016 г.*

**Для цитирования:** *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Коломиец Ю. И., Вагнер П.* Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 8. — С. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16.

English

## COMPUTER SYSTEMS SIMULATING ACTIVITIES OF MUNICIPAL EMERGENCY SERVICES

**BRUSHLINSKIY N. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: nbrus1934@yandex.ru)

**SOKOLOV S. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: albrus-ssv@yandex.ru)

**ALEKHIN E. M.**, Candidate of Technical Sciences, Main Science Assistant of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: k-post1@yandex.ru)

**KOLOMIETS Yu. I.**, Candidate of Technical Sciences, Science Assistant of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: albrus.stres@gmail.com)

**WAGNER P.**, Dr. Ing., Vice-Chief of Berlin Fire and Rescue Academy (Berliner Feuerwehr und Rettungsdienst Akademie) (Ruppiner Chaussee, 268, Berlin, 13503, Germany; e-mail address: drpeterwagner@kabelmail.de)

### ABSTRACT

Municipal emergency services (fire, ambulance, police and others) are indispensable, and at the same time quite expensive elements of the city infrastructure. That is why issues related to justification of the required headcount, technical equipment, deployment locations, appraisal of these services' capabilities remain extremely relevant. An administration of any city will constantly face these challenges when generating a municipal development plan or when optimizing a municipal budget.

Computer simulation systems remain a reliable tool, and, as a matter of fact, the only tool that can be used to assess consequences of reducing or increasing headcount of these services and of changing their parameters.

This article contains a short summary of the simulation system called KOSMAS, which was developed by the authors of the article (an international project team) and derived from work experience gained through designing such systems over the last 25 years.

This system provoked a great deal of interest among specialists of various emergency services operating in many countries of the world. This system was used to solve tasks of designing and restructuring fire-fighting, ambulance and gas services in Russia, Germany, Turkey and Croatia.

**Keywords:** emergency service; emergency service activities; modeling; simulation model; simulation system.

## REFERENCES

1. Brushlinsky N. N. About mathematical justification of number of fire stations for cities. In: *Works of Higher School MOOP USSR*. Moscow, Stroyizdat, 1967, issue 17 (in Russian).
2. Savas E. S. Simulations and cost-effectiveness analysis of New York's Emergency Ambulance Service. *Management Science*, 1969, vol. 15, no. 12, pp. B-608–B-627. DOI: 10.1287/mnsc.15.12.B608.
3. Carter G. M., Ignall E. J. A simulation model of fire department operations: Design and preliminary results. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 1970, vol. 6, issue 4, pp. 282–293. DOI: 10.1109/TSSC.1970.300303.
4. Kolesar P., Blum E. H. Square root laws for fire engine response distances. *Management Science*, 1973, vol. 19, no. 12, pp. 1368–1378. DOI: 10.1287/mnsc.19.12.1368.
5. Walker Warren E. Applying systems analysis to the fire service. *Fire Engineering*, 1975, vol. 128, no. 8.
6. Chaiken J. M. Transfer of emergency service deployment models to operating agencies. *Management Science*, 1978, vol. 24, no. 7, pp. 719–731. DOI: 10.1287/mnsc.24.7.719.
7. Walker W. E., Chaiken J. M., Ingall E. J. (eds.). *Fire department deployment analysis*. New York, Elsevier North Holland, Inc., 1979.
8. Lewis R. J. The application of microcomputers to fire station planning. *International Fire Chief*, 1986, vol. 52, pp. 18–21.
9. Frankel L. S. Police/fire consolidation in municipalities: 10000 and over. *Urban Data Service*, 1978, vol. 10, no. 10, pp. 1–8.
10. Chelst K. R. Police-fire merger: a preimplementation analysis of performance and cost. *Journal of Urban Affairs*, 1987, vol. 9, no. 2, pp. 171–188. DOI: 10.1111/j.1467-9906.1987.tb00473.x.
11. Brushlinsky N. N. *Modeling of fire service activities*. Moscow, Stroyizdat, 1981. 95 p. (in Russian).
12. Brushlinsky N. N., Kafidov V. V., Kozlachkov V. I. et al. *System analysis and fire safety problems of national economic*. Moscow, Stroyizdat, 1988. 413 p. (in Russian).
13. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. *Rechnergestutzte Feuerwehr-Entwicklungsplanung. "Brandschutz"* Deutsche Feuerwehr-Zeitung, Germany, Juli, 1993 (in German).
14. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V. Simulation systems for modelling of emergency services operations. *Programmnyye produkty i sistemy (Software & Systems)*, 1994, no. 4, pp. 27–32 (in Russian).
15. Brushlinsky N. N., Nitzschke M., Sokolov S. V., Wagner P. *Feuerwehren in Millionenstaedten*. Stuttgart, Kohlhammer, 1995. 307 p. (in German).
16. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V. Computer simulation systems for study and evaluation of city emergency services operations. *Pirozbetki*, 1996, no. 5 (in Greece).
17. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning. *Fire International*, November 1996, no. 11, pp. 32–33.
18. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Kolomiets J. I., Wagner P. Verification of the mathematical model of the emergency services activities. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh (Safety Problems in Emergency)*, 1997, issue 9 (in Russian).
19. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Kolomiets J. I., Wagner P. Computer-aided design of safety systems of large cities. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh (Safety Problems in Emergency)*, 1997, issue 7 (in Russian).
20. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V. Computer simulation systems for examination, studying and design of city emergency services activities. In: *Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference*, University of Ulster, 4–5 September 2000.
21. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Kolomietz J. I., Wagner P. *Safety of the cities: simulation modeling of urban processes and systems*. Moscow, FASIS Publ., 2004. 172 p. (in Russian).

**For citation:** Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Alekhin E. M., Kolomiets Yu. I., Wagner P. Computer systems simulating activities of municipal emergency services. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 8, pp. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.6-16.