

Е.М. Алехин¹, Н.Н. Брушлинский¹, П. Вагнер², Ю.И. Коломиец¹, С.В. Соколов¹
(Россия, Германия)

(¹Академия ГПС МЧС России, ²Берлинская пожарно-спасательная академия;
e-mail: k-post1@yandex.ru

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСТРЕННЫХ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ СЛУЖБ В ГОРОДАХ

Представлены результаты многолетнего исследования по обоснованию и проектированию важнейшей подсистемы инфраструктуры современных городов – экстренных и аварийно-спасательных служб.

Ключевые слова: экстренные и аварийно-спасательные службы, статистический анализ, математические модели, моделирование.

E.M. Alekhin, N.N. Brushlinsky, P. Wagner, J.I. Kolomietz, S.V. Sokolov **SOLVING THE PROBLEM OF ORGANIZATIONAL DESIGNING OF EMERGENCY SERVICES IN THE CITIES**

It presents the results of a long-term comprehensive study on feasibility and designing of the most important subsystem of the infrastructure of the modern cities – emergency services.

Key words: emergency services, statistical analysis, mathematical models, modeling.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 27 марта 2016 г.

1. Актуальность проблемы

Проблема возникла в конце XIX века, когда на Земле насчитывалось 1,6 млрд чел., а в городах проживали только 13 % землян. Она приобрела особую остроту в середине XX столетия, когда на планете жили уже 3 млрд чел. и 30 % из них – в городах. В это время проблему активно начали решать в России, США, Великобритании, Германии и других странах (но удалось её решить исчерпывающим образом только в России).

В мае 2015 года на Земле насчитывали 7,3 млрд чел., из которых больше половины жили в городах, часть которых является гигантскими мегаполисами со многими миллионами жителей в каждом.

На всемирной конференции в Японии было констатировано, что в XXI веке наиболее опасными для проживания станут именно крупные города и мегаполисы, представляющие собой концентрацию многочисленных и разнообразных опасностей (журнал "Итоги", 8 февраля 2005 года, с. 16).

К этим опасностям относятся пожарная, радиационная, химическая, информационная, социально-экономическая (включая правонарушения, террористические акты) и многие другие. Для противостояния этим опасностям создают специальные сложные системы обеспечения безопасности и устойчивого функционирования всех городских процессов и систем (противопожарные службы, поисково-спасательные отряды, службы скорой и неотложной медицинской помощи, службы общественной безопасности, аварийно-ремонтные службы и др.).

Все эти службы очень дорого стоят и ложатся серьезным бременем на расходные части городских бюджетов (как правило, весьма напряженных). Например, содержание одной бригады скорой помощи (спецавтомобиль с экипажем) в городах Германии составляет 0,5-0,8 млн евро в год, а содержание всех ЭАСС ежегодно составляет десятки процентов бюджета любого города.

Поэтому проблема проектирования каждой ЭАСС (обоснование её рациональных размеров, структуры и оснащённости) является чрезвычайно актуальной и не имевшей удовлетворительных решений до недавнего времени.

Чтобы решить эту проблему администрация города и руководство каждой ЭАСС должны располагать определенным научным инструментарием. Для разработки такого инструментария необходимо, прежде всего, детально изучить, во-первых, процесс возникновения в городе деструктивных событий разного рода; во-вторых, процесс реагирования на них подразделений соответствующих ЭАСС. Это изучение двух указанных сложных процессов предполагает проведение крупномасштабных исследований деятельности ЭАСС в различных городах и моделирование этих процессов.

2. Основные принципы проектирования ЭАСС городов

Авторами настоящей статьи разработаны следующие принципы проектирования ЭАСС городов: каждая ЭАСС должна быть организована таким образом, чтобы в любой момент времени на любое возникшее в городе деструктивное событие, в ликвидации последствий которого данная ЭАСС обязана принять участие, она могла своевременно отреагировать набором сил и средств, адекватным характеру возникшего события. При этом должны выполняться два основных ограничения:

- прибытие сил и средств данной службы к месту вызова должно укладываться в допустимые временные интервалы, обусловленные закономерностями развития и уровнем риска конкретного деструктивного события (пожара, обрушения дома, разрыва водопроводной трубы, травмы с большой потерей крови и т.д.);
- общее количество сил и средств данной службы в городе должно быть экономически оправданным, то есть соответствовать допустимым уровням рисков, заданным для деструктивных событий каждого типа.

3. Основные этапы решения проблемы

3.1. Статистический анализ процессов функционирования ЭАСС

В результате многолетнего (более 30 лет) исследования, которое продолжается и в настоящее время, была изучена деятельность различных ЭАСС примерно 700 городов и населенных пунктов многих стран мира на всех континентах планеты. Это позволило приступить к формированию уникального банка данных о деятельности ЭАСС мира, в частности, удалось впервые сформиро-

вать мировую пожарную статистику (все члены авторского коллектива являются руководителями или сотрудниками Центра пожарной статистики Международного Технического Комитета по предотвращению и тушению пожаров, членами которого являются более 40 стран мира).

Наиболее полно была изучена деятельность пожарно-спасательных служб, а также служб скорой и неотложной медицинской помощи. Кроме этих служб, была исследована деятельность ряда подразделений милиции (полиции), аварийных водопроводной и газовой служб, служб технической помощи, газоспасательной службы и некоторых других.

Все эти службы функционируют в сущности по одной и той же схеме, в одном и том же режиме, оперативно реагируя на возникающие на территории города (объекта) в случайные моменты времени различные деструктивные события.

Поэтому можно сказать, что все ЭАСС образуют специфический класс сложных социально-экономических систем, процесс функционирования которых является однотипным сложным пространственно-временным случайным процессом.

В заключение заметим, что собранные статистические данные позволили детально изучить комплекс условий, в которых протекает деятельность ЭАСС, объем и структуру выполненной ими работы, тенденции их изменений, принципы использования специальной техники, комплекс временных характеристик процессов функционирования ЭАСС и многое другое.

При анализе и обобщении полученных результатов использовались разнообразные методы математической статистики. На этом этапе исследования предметной области моделирования были выявлены общие для всех ЭАСС городов мира статистические закономерности, объективно присущие процессам их функционирования и различающиеся только значениями их параметров. Это обстоятельство позволяло перевести анализ процессов функционирования ЭАСС на строго научную основу и переходить к математическому моделированию этих процессов.

3.2. Математическое моделирование процессов функционирования ЭАСС [1, 2]

Для краткости и наглядности ограничимся графическими зависимостями основных интересующих нас процессов и их математическим описанием.

На рис. 1а изображен поток вызовов подразделений ЭАСС, который хорошо описывается законом Пуассона; на рис. 1б показано время обслуживания вызовов подразделениями ЭАСС – оно моделируется распределением Эрланга того или иного порядка; на рис. 1в изображены выезды подразделений ЭАСС по вызовам и здесь можно ограничиться эмпирическими распределениями вероятностей (для каждой службы – своими).

Эти элементарные зависимости позволили построить более сложные зависимости процессов функционирования ЭАСС. Например, на рис. 2 представлен граф состояний ЭАСС для пяти однотипных отделений некоторых ЭАСС (небольшой город на 40-50 тыс. жителей).

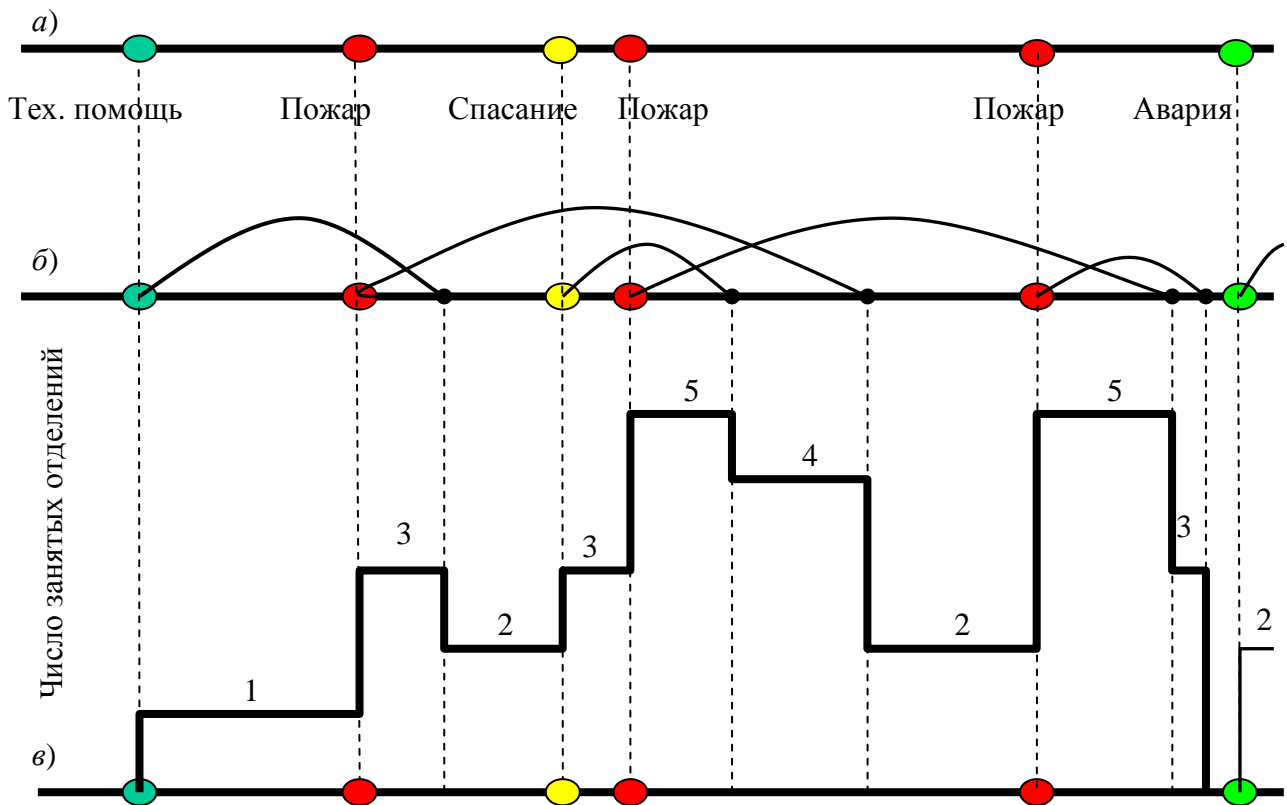


Рис. 1. Графические зависимости потока вызовов (а), времени обслуживания вызовов (б) и работы подразделений ЭАСС (в)

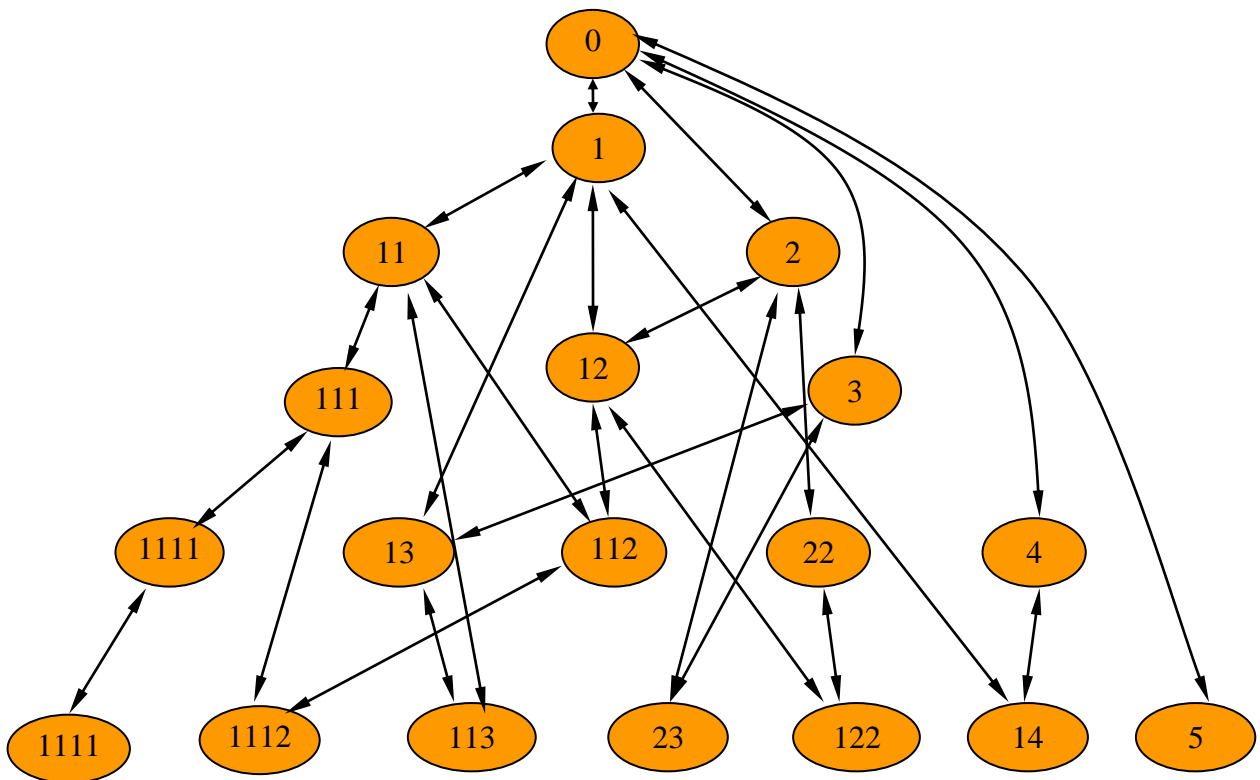


Рис. 2. Граф состояний ЭАСС для пяти отделений

Из рис. 2 видно насколько сложен процесс функционирования ЭАСС даже для пяти подразделений, а в любом крупном городе их десятки.

Мы показали, что для этого процесса (при условии, что выполнены все вышеуказанные предпосылки) справедливы формулы

$$P_0 = e^{-\lambda \cdot \tau_{\text{ср.зан}}};$$
$$P_j = \frac{\lambda \cdot \tau_{\text{ср.зан}}}{j} \cdot \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) a_{j-i} p_i \quad (j = 1, 2, 3, \dots),$$

где P_j – вероятность того, что в любой момент времени в городе одновременно заняты обслуживанием вызовов j специальных автомобилей данного типа;

λ – среднее число вызовов (выездов) в единицу времени;

$\tau_{\text{ср.зан}}$ – средняя продолжительность обслуживания одного вызова, ед. времени;

a_r – вероятность того, что по вызову одновременно выедут r однотипных специальных автомобилей.

Кроме указанных формул были получены ещё десятки формул, которые в совокупности открыли путь к научно обоснованному нормированию числа подразделений разного типа любой ЭАСС в городах [1, 2].

3.3. О пригодности и недостаточности аналитических моделей для практического использования

Все вышеупомянутые аналитические зависимости (формулы) прошли многократную и многолетнюю проверку на практике в десятках (более сотни) городов и показали свою адекватность реальным процессам функционирования их различных ЭАСС. Это позволило, например, впервые создать научно обоснованные нормативы по организации противопожарных служб в городах России (они используются также и в странах СНГ и Балтии).

Однако, этих зависимостей недостаточно для разработки качественных оргпроектов различных ЭАСС городов. Дело в том, что все аналитические зависимости описывают исследуемые процессы только во времени, но они протекают и в пространстве, на обширных территориях городов, городских систем и образований. Без учёта пространственных характеристик любое описание процессов функционирования ЭАСС оказывается существенно неполным.

Попытки построить пространственно-временные аналитические зависимости исследуемых процессов привели к системам сложных дифференциальных уравнений с частными производными, точные решения которых получить невозможно, а их численные решения непригодны для практического использования.

Единственным возможным способом дальнейшего исследования изучаемых процессов является ***имитационное моделирование***.

Авторам в 1990-е годы удалось построить компьютерную имитационную систему "КОСМАС" (Компьютерная Система Моделирования Аварийных Служб), которая и позволила довести решение исследуемой проблемы до конца (рис. 3). Для обеспечения необходимой информацией системы "КОСМАС" пришлось дополнительно создать специальную информационную систему "СТРЭС" (Статистика Работы Экстренных Служб).

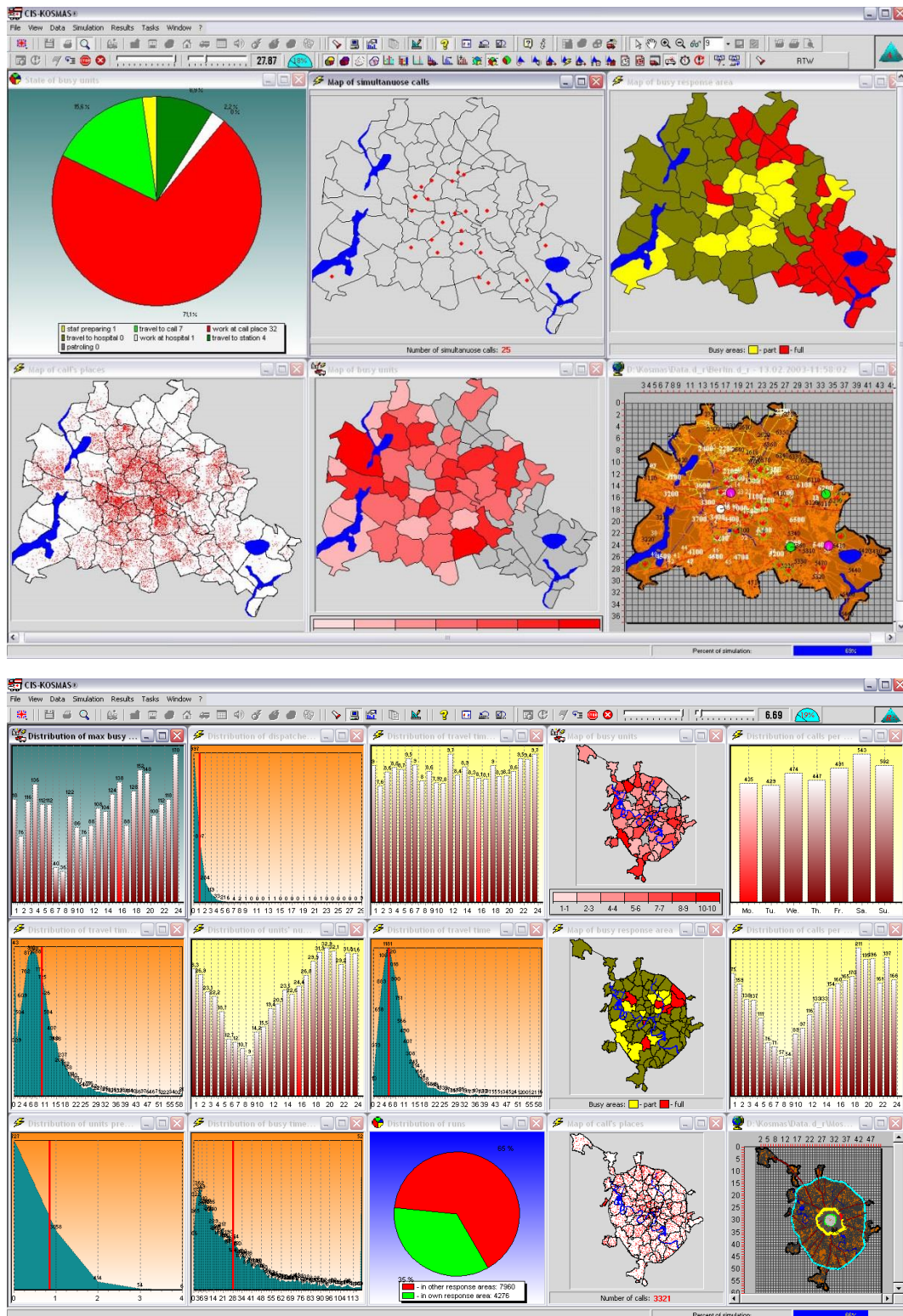


Рис. 3. Процесс имитации

3.4. Результаты исследований

В процессе исследований 1985-2015 гг. получены следующие основные результаты:

- Построена теория организации, функционирования и управления ЭАСС городов, основанная на комплексе оригинальных математических моделей.
- Создана компьютерная технология исследования, экспертизы и проектирования ЭАСС городов – имитационная система "КОСМАС".
- Создана компьютерная технология сбора, обработки и анализа данных, характеризующих процесс функционирования ЭАСС городов – система "СТРЭС".
- Создана мировая пожарная статистика, методология её сбора и анализа, а также технология её обработки (как "побочный" результат).

Всё вышеизложенное позволяет считать, что за последние 30 лет полностью (теоретически, технологически и практически) решена актуальная научно-техническая проблема проектирования ЭАСС в городах, которая давно интересует специалистов всего мира.

3.5. Новизна работы, международное признание

Ни отечественных, ни зарубежных аналогов пока не существует, хотя этой проблемой занималась большая группа специалистов "Rand Corporation" (США), Международного института прикладного системного анализа (Вена, Австрия), Великобритании, Германии, Нидерландов и др. Первые публикации об этих исследованиях появились в середине 1960-х годов и практически исчезли в начале 1990-х годов, не осветив нужных результатов.

Причины неудач всех указанных групп специалистов заключаются в следующем: во-первых, никому не удалось построить нужные для решения проблемы аналитические зависимости изучаемых процессов; во-вторых, никто не смог создать необходимые имитационные модели, без которых нельзя получить полное решение проблемы.

В 2002 году система "КОСМАС" награждена дипломом Международной выставки "Средства спасения-2002", в этом же году на Международной выставке изобретений в Сеуле награждена дипломом и серебряной медалью, а авторы системы в 2002 году стали лауреатами Премии МЧС России за научные и технические разработки.

Международная премия на международной выставке – Interschutz-2005 в Германии (2005 год) получена за разработку теории функционирования экстренных и аварийно-спасательных служб.

Коллективу авторов в 2007 году присуждено звание Лауреат РАЕН "Во славу и пользу отечества" за цикл работ по созданию проблемно-ориентированных имитационных систем для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов.

3.6. Внедрение результатов в практику

Проблемы оргпроектирования систем ЭАСС в городах и регионах, решение которых выполняется с использованием компьютерных систем "СТРЭС" и "КОСМАС", за последние годы решены (и решаются) для более чем 40 городов и территорий России, Германии, Турции, Эстонии, Кувейта, Хорватии и др.

Литература

1. **Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Алехин Е.М. и др.** Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. М.: ФАЗИС, 2004. 172 с.
2. **Брушлинский Н.Н., Соколов С.В.** Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: учебник. М.: Академия МЧС России, 2011. 173 с.