

Моделирование условий и процесса функционирования противопожарной службы



Основные вопросы лекции:

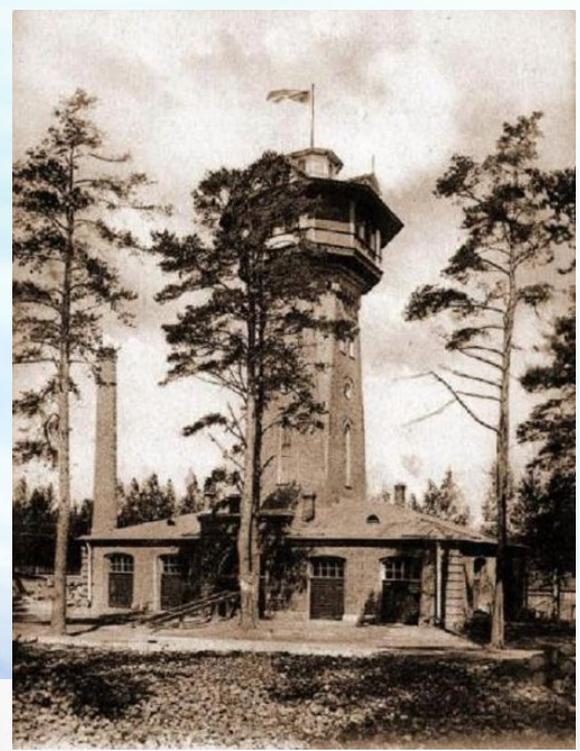
1. Исторические аспекты возникновения и организации противопожарных служб в городах
2. Системный подход к оперативной обстановке.
3. Моделирование потока вызовов пожарных подразделений.
4. Математическое описание временных характеристик процесса функционирования противопожарной службы.
5. Моделирование возникновения одновременных вызовов.
6. Оргпроектирование систем противопожарной защиты.
7. Определение необходимого числа оперативных отделений различных типов для города
8. Определение необходимого числа пожарных депо для города
9. Компьютерные технологии проектирования

Александр I издал указы о создании профессиональной пожарной охраны:

24 июня 1803 года на базе 11 полицейских частей в Санкт-Петербурге и 31 мая 1804 года на базе 20 полицейских частей в Москве

Указами предписывалось:

- 1. Всех обывателей от содержания пожарных служителей освободить, и как ночных стражей, так и пожарных служителей ни от кого не требовать и никого не наряжать.**
- 2. Для отправления ночной стражи и содержания пожарных служителей составить особенную из отставных солдат, к фрунтовой службе не способных, команду, на содержание коей, по сделанным в Комитете штатам и положению, производить ежегодно по 129 293 рублей для Санкт-Петербурга и 169084 рублей для Москвы**





Пречистенский полицейский дом



Мещанский полицейский дом



Пятницкий полицейский дом



Рогожский полицейский дом



Тверской полицейский дом



Сокольнический полицейский дом (Пожарная часть
№12)



Пожарная часть
№12

Основной принцип проектирования противопожарной службы

С точки зрения городской среды (клиентов обслуживания) любая система обслуживания населения характеризуется (оценивается) временем и качеством обслуживания. Время обслуживания складывается из времени подготовки системы к обслуживанию и времени непосредственного обслуживания.

Для систем экстренного обслуживания особую роль играет время подготовки к обслуживанию (время диспетчеризации, сбора и выезда, следования, боевого развертывания), т.к. именно от него во многом зависит время непосредственного обслуживания и его качество.

Отсюда вытекает и основной принцип проектирования.

Системы экстренного обслуживания населения в городе должны быть организованы таким образом, чтобы в любой момент времени на любую возникшую в городе деструктивную ситуацию, требующую участия этих служб, они могли немедленно отреагировать набором сил и средств, соответствующих характеру данной ситуации.

При этом должны выполняться два основных ограничения:

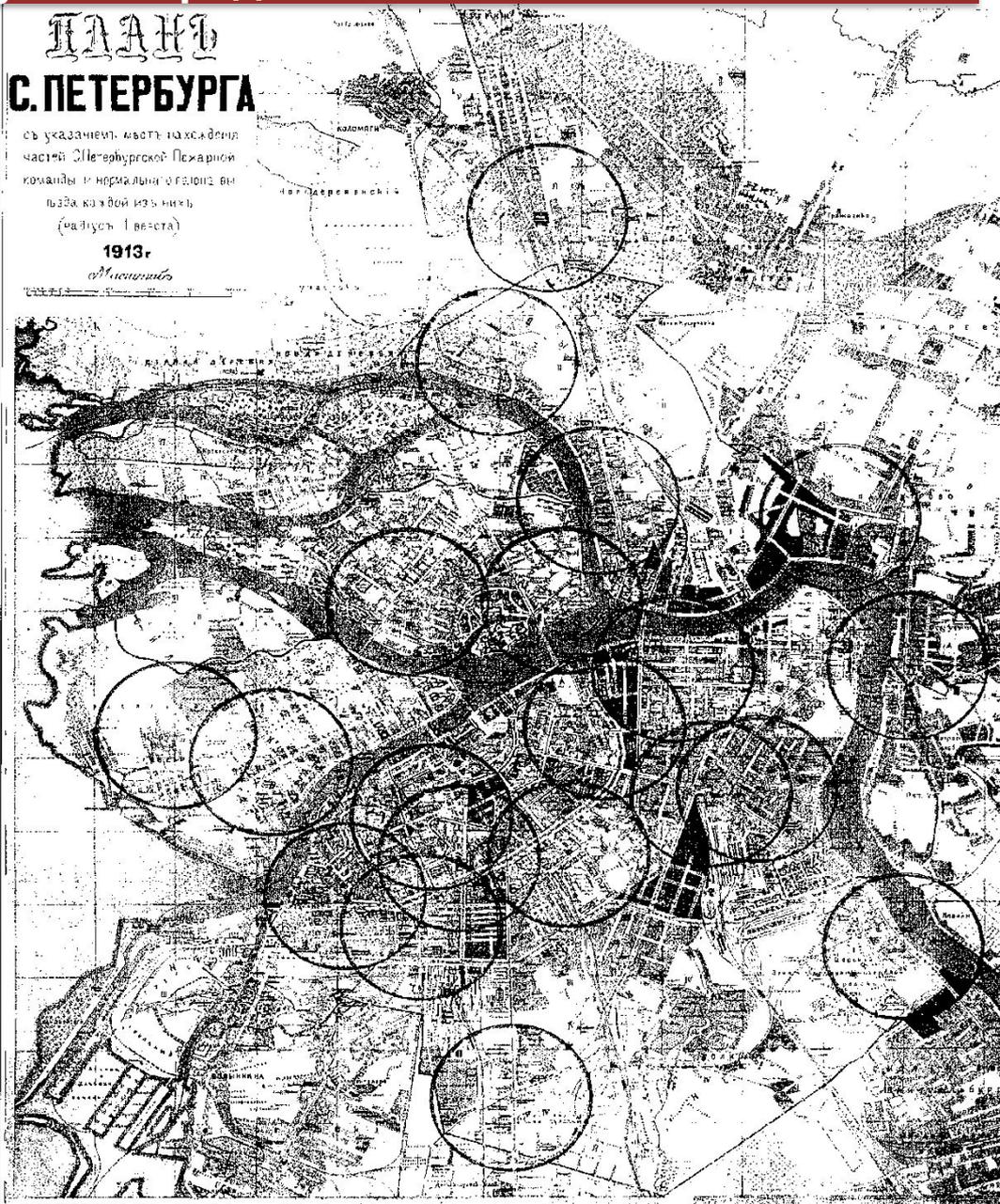
- **прибытие сил и средств** к месту вызова должно быть **своевременным** (т. е. укладываться в допустимые временные интервалы, определяемые, в частности, физико-химическими закономерностями развития пожара);
- общее **количество сил и средств** в городе должно быть **экономически оправданным**.

Исторические аспекты возникновения и организации противопожарных служб в городах

В 1925 г. известный российский специалист брандмайор Н. Казанский опубликовал статью в журнале “Пожарное дело” о существовавших в России принципах размещения пожарных частей в городах. Пожарные депо должны были быть расположены в городе таким образом, чтобы обслуживаемые ими районы имели форму круга с радиусом, равным **одной версте (1,07 км.)**. Такое расстояние конный пожарный обоз мог проехать за 4 мин., а общее нормативное время от момента вызова до момента прибытия к месту вызова **не должно было превышать 10 мин.**

В начале 1926 г. российская пожарная охрана уже располагала пожарными автомобилями, для которых радиус обслуживания был увеличен до 2,5 верст (при том же нормативном значении времени прибытия и с учётом средней скорости движения пожарного автомобиля, равной 30 верст/час). Наконец, в 1930 г. ВСНХ РСФСР совместно с НКВД РСФСР и НКПС установили районы выезда для городских пожарных команд с **радиусом 1,5 км при наличии конных обозов и до 3 км при наличии пожарных автомобилей**. Последний норматив в качестве единственного параметра для обоснования числа пожарных депо в городах действовал до 2009 г., т.е. более 80 лет!

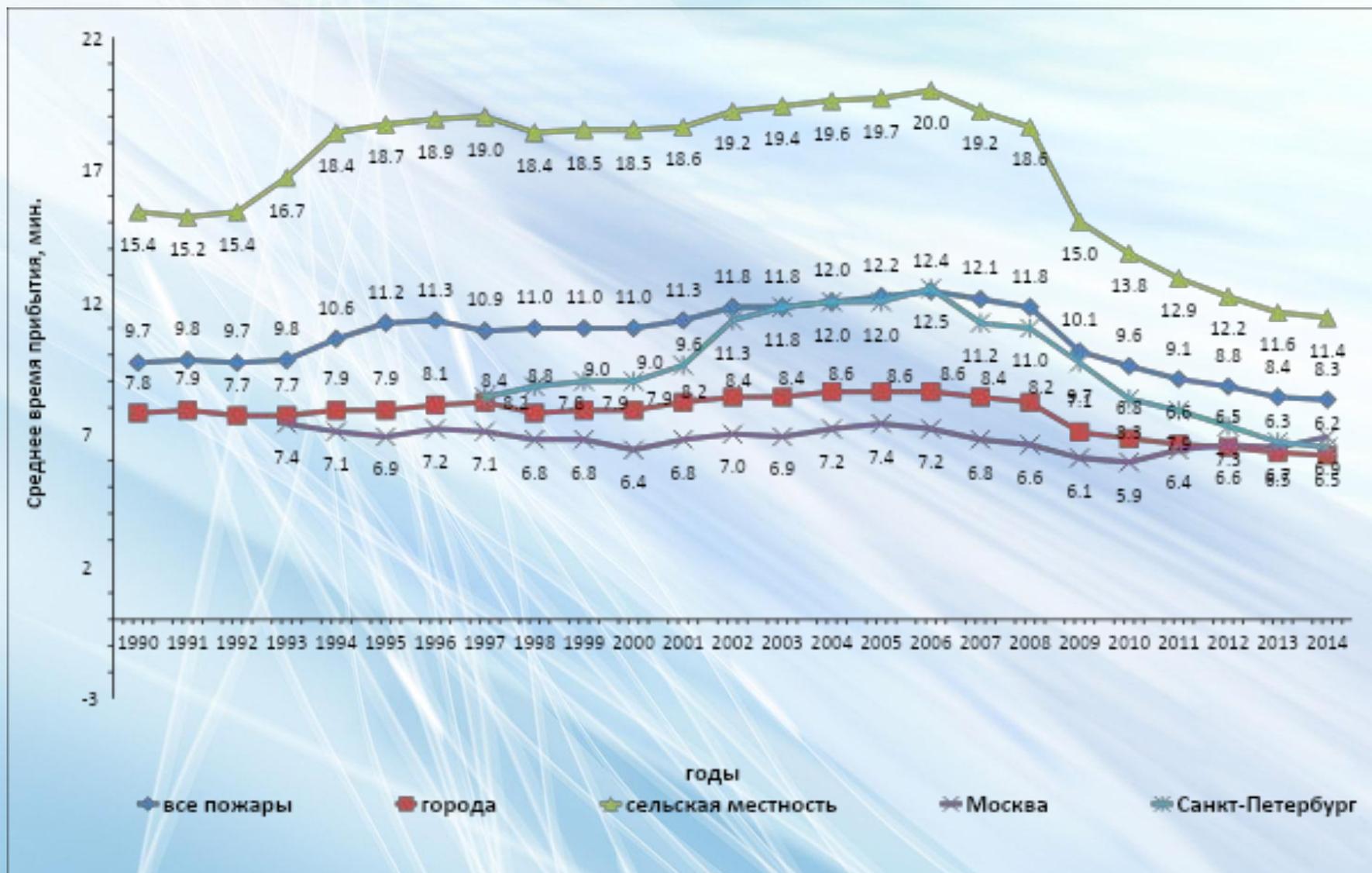
В начале 1950-х годов к этому нормативу был добавлен ещё один, касающийся числа пожарных автомобилей.



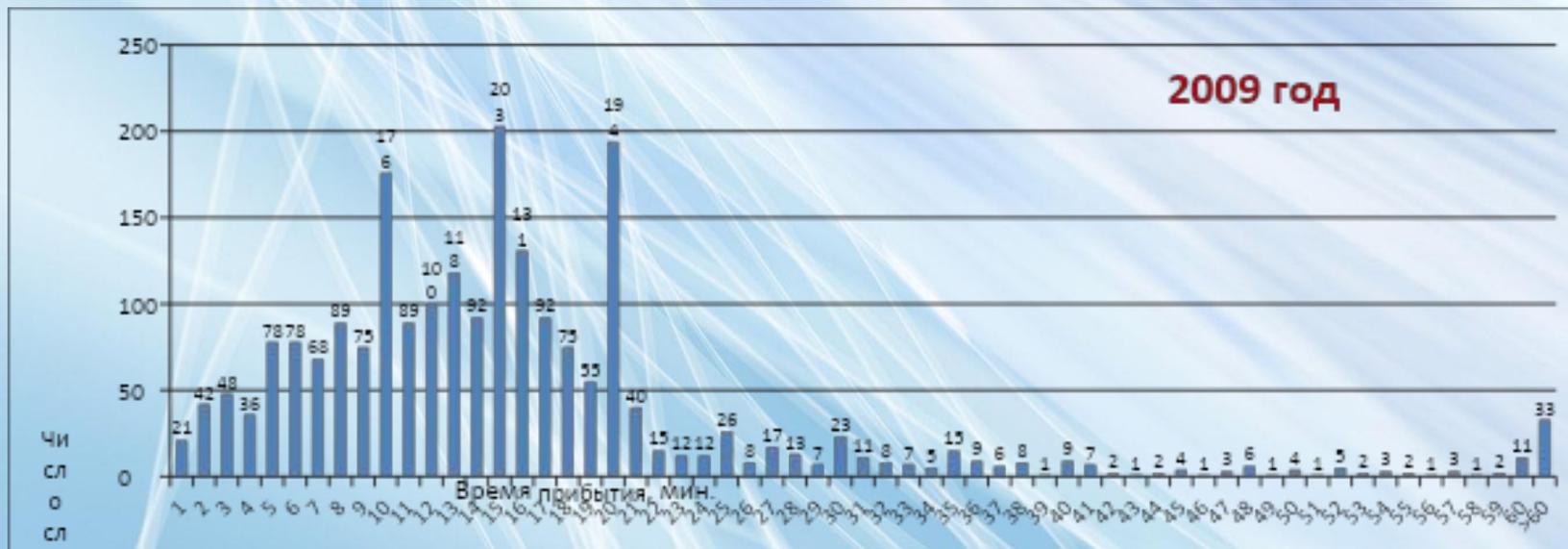
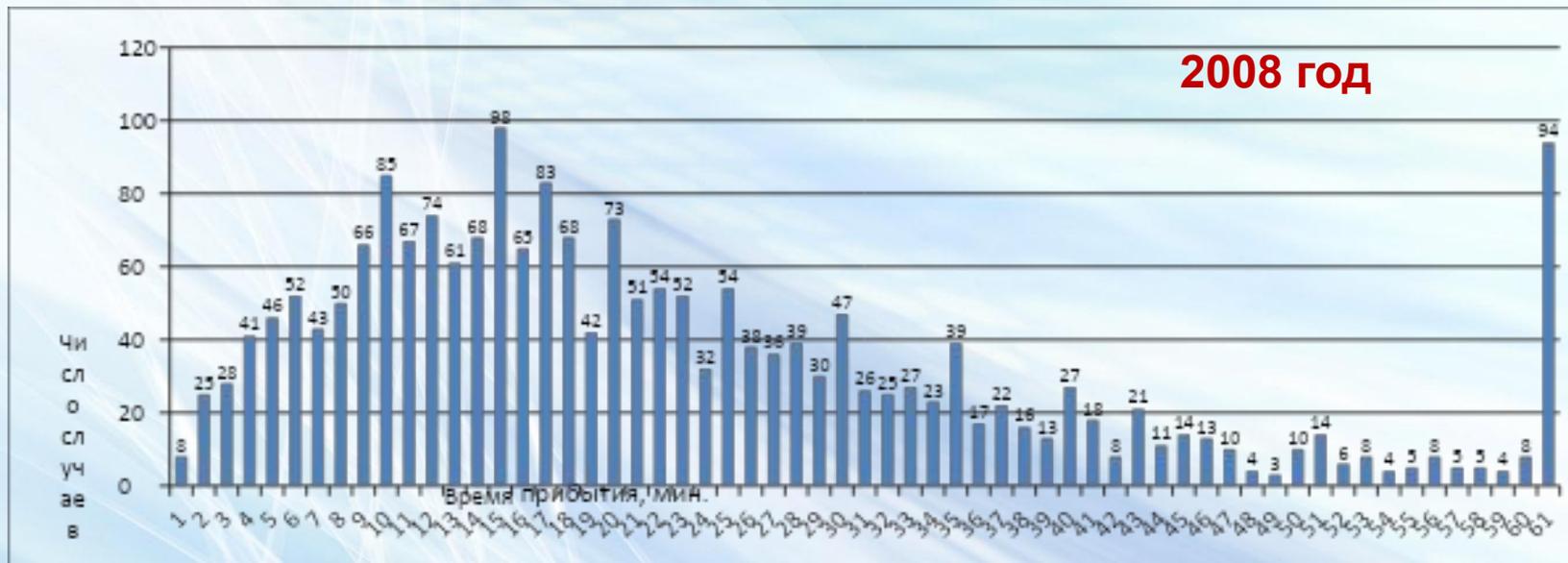
Эволюция отечественных нормативов по организации противопожарных служб в городах

№ п/п	Год	Документ, кто создал впервые	Нормы	Срок действия	Уровень обоснованности
1	1930	ВСНХ, НКВД, НКПС РСФСР	Радиус выезда депо $R_0 = 3$ км	До 2009 года	Элементарный, использование простейших физических соображений
2	1951	НСП-102-51	1 пожарный автомобиль на 5 тыс. чел. (но не менее двух)	До 1989 г.	Эмпирический подход, основанный на интуиции и опыте специалистов пожарной охраны
3	1989	СНиП 2.07.01-89 (градостроительство)	Нормирование основных пож. автомобилей и радиус выезда R_0 пожарного депо	До 1994 г.	Добротное научное обоснование на базе математического моделирования
4	1991 1995	ВСН-1-91 СПАСР МВД РФ НПБ-101-95 (нормы проектирования объектов пожарной охраны)	Нормирование специальных пожарных автомобилей и числа (и типов) пожарных депо	До 2009 года	На базе математического моделирования (аналитические модели)
5	1995	Федеральный Закон «О пожарной безопасности» №69 – ФЗ от 21 декабря 1994 года	Нормирование численности личного состава противопожарной службы (1 пож. на 650 чел.)	До 2005 года	Эмпирический подход. На основе существующей практики и опыта.
6	1994	СНиП 2.07.01-89*	Нормирование $R_0 = 3$ км	До 2009 года	См.п.1
7	2009	Технический регламент о требованиях пожарной безопасности	Время прибытия не более 10 мин. в городах не более 20 мин. в сельской местности	До настоящего времени	Аналог зарубежных норм и правил

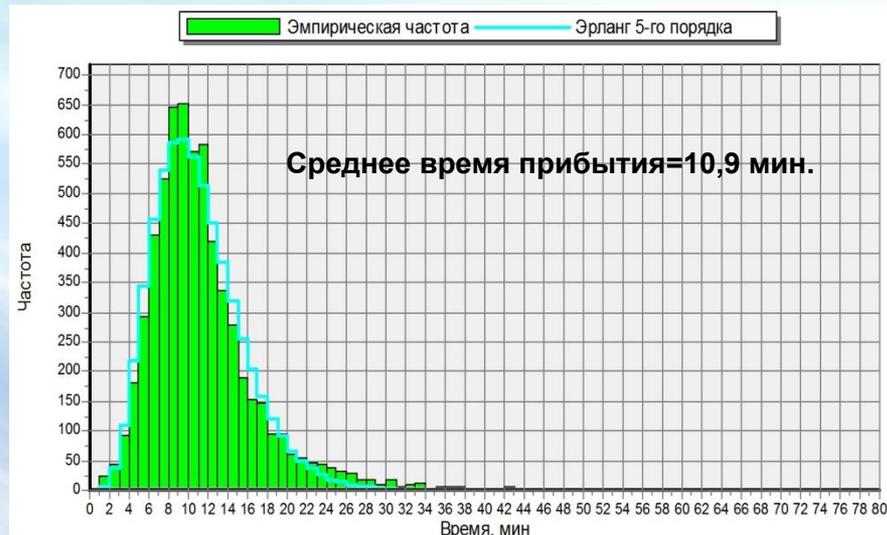
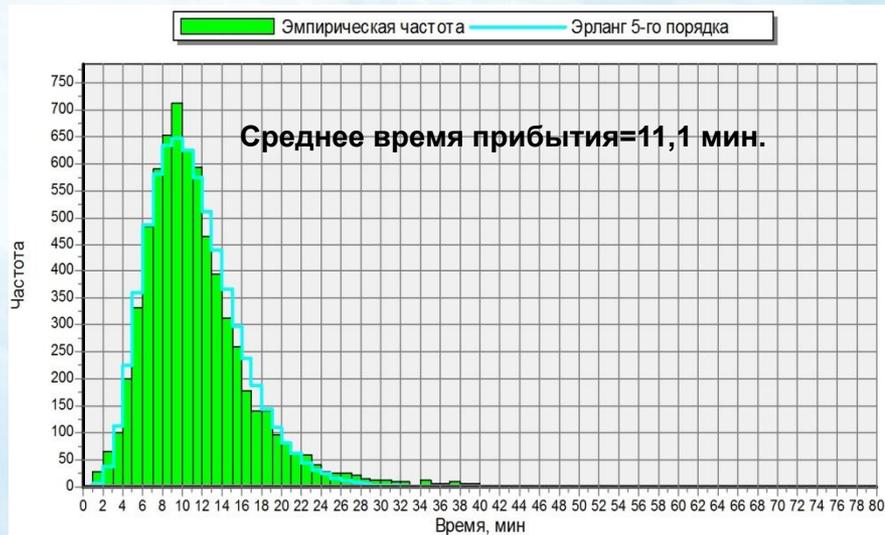
Динамика среднего времени прибытия первого подразделения



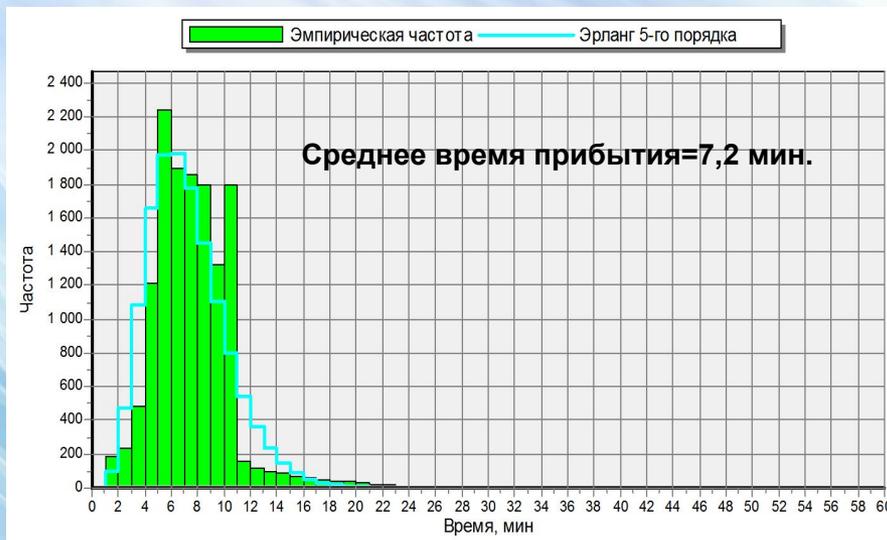
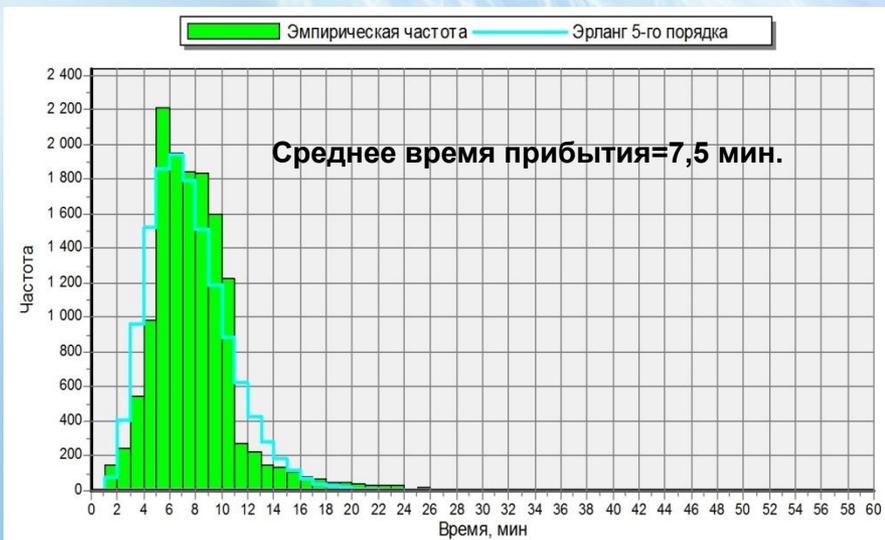
Распределение времени прибытия в одном из субъектов федерации



Эмпирическое и теоретическое распределения времени прибытия на пожары первого пожарного подразделения в 2007 и 2008 годах



Эмпирическое и теоретическое распределения времени прибытия на пожары первого пожарного подразделения в 2012 и 2013 годах



№ n/n	Страна	Некоторые рекомендации по оперативному реагированию на вызовы			
1	Австралия	время сбора и выезда для подразделений профессиональной пожарной охраны - до 1 мин, добровольной - от 2 до 5 мин. максимальное время прибытия в городах - 10 мин, в сельской местности - 15 мин.			
2	Бельгия	время прибытия к месту вызова - 6 мин (среднее значение)			
3	Великобритания	Максимальное время прибытия определяется в зависимости от зоны риска (мин.):			
		Районы	первый автонасос	второй автонасос	третий автонасос
		Центр крупного города (зона риска А)	5	5	8
		Центр города (зона риска В)	5	8	
Пригород (зона риска С)	8-10				
Сельские районы (зона риска D)	20				
		В удаленных сельских районах нормативное время прибытия не устанавливается			
4	Германия	в некоторых землях желаемое время прибытия составляет: в городах – 5-8 мин, в сельской местности – 8-15 мин.			
5	Греция	время прибытия составляет 10 мин. в городах и 30 мин в сельской местности			
6	Дания	время прибытия не больше 10 мин. в городах и 15 м. в сельской местности			
7	Ирландия	время прибытия не больше 10 мин. в городах и 20 (и более) мин - в сельской местности			
8	Норвегия	время прибытия в городах не должно превышать 10 мин. В сельских районах оно устанавливается применительно к местным объектам повышенной опасности (больницам и т.п.). В зависимости от категории района (городской центр, сельский район) время прибытия варьируется в пределах 5-10, 10-15, 15-30 мин.			
9	США	8 - минутное время прибытия в 90% случаев для профессионалов в городах, от 9 мин для добровольцев в сельской местности			
10	Финляндия	время прибытия - 10 мин. для густонаселенных районов с высокой потенциальной опасностью и 20 мин. для остальных районов (в малонаселенных время не нормируется).			
11	Франция	время прибытия не должно превышать 10 мин. в городах и 20 мин. в сельской местности			
12	Швеция	максимальное время прибытия в 10, 20 или 30 мин. рекомендовано для наиболее опасных, опасных и менее опасных районов (городских и сельских).			
13	Чехия	профессиональные пожарные должны выехать по сигналу тревоги не позднее, чем через 2 мин., добровольные - 10мин. Общее время прибытия к месту вызова не должно превышать 15-20 мин.			
14	Эстония	максимальное время прибытия в городах - 6 мин., в сельской местности - 15 мин.			

Рекомендации по времени прибытия профессиональной службы в городах США (Standart.... NFPA 1710, 2010 год)



1. получение вызова - не более **40 сек.** в **99 %** всех случаев
2. обработка вызова и передача в диспетчерский центр пожарной службы - не более **30 сек.** в **95 %** всех случаев
3. диспетчеризация - не более **90 сек.** в **99 %** всех случаев
4. сбор и выезд - не более **80 сек.** в **90 %** всех случаев
5. время следования первого подразделения – не более **240 сек** в **90 %** всех случаев

Время с момента получения вызова до прибытия первого подразделения не более **8 мин.** в **90%** всех случаев



Рекомендации по времени прибытия добровольцев в сельской местности США (Standart.... NFPA 1720, 2008 год)



Защищаемая зона	Демографический параметр	Минимальная численность персонала	Время прибытия, мин.	Процент случаев, %
Городская территория	>1000 чел./миля ²	15	9	90
Городская территория	500-1000 чел./миля ²	10	10	80
Сельская местность	<500 чел./миля ²	6	14	80
Удаленные поселения	расстояние > 8 миль	4	Не нормируется	

Организация пожарной охраны в населенных пунктах США

Численность населения	Число департаментов (гарнизонов)	Численность профессионалов	Численность добровольцев	Всего	Средняя численность гарнизона	Доля проф./добр., %
1 000 000 и более	16	40850	300	41150	2572	99,3 / 0,7
от 500 000 до 999 999	42	35900	6400	42300	1008	84,8 / 15,2
от 250 000 до 499 999	62	25850	2100	27950	450	92,5 / 7,5
от 100 000 до 249 999	265	52950	2550	55500	210	95,5 / 4,5
от 50 000 до 99 999	525	43300	7350	50650	95	85,5 / 14,5
от 25 000 до 49 999	1307	49050	23200	72250	55	67,9 / 32,1
от 10 000 до 24 999	3585	56500	71550	128050	30	44,1 / 55,9
от 5 000 до 9 999	4387	21600	104000	125600	29	17,2 / 82,8
от 2500 до 4 999	5791	1050	174450	184500	31	0,5 / 99,5
до 2500	14118	9900	391400	401300	28	2,5 / 97,5
Всего	30100	345950	783300	1129250	37	30,6 / 69,4

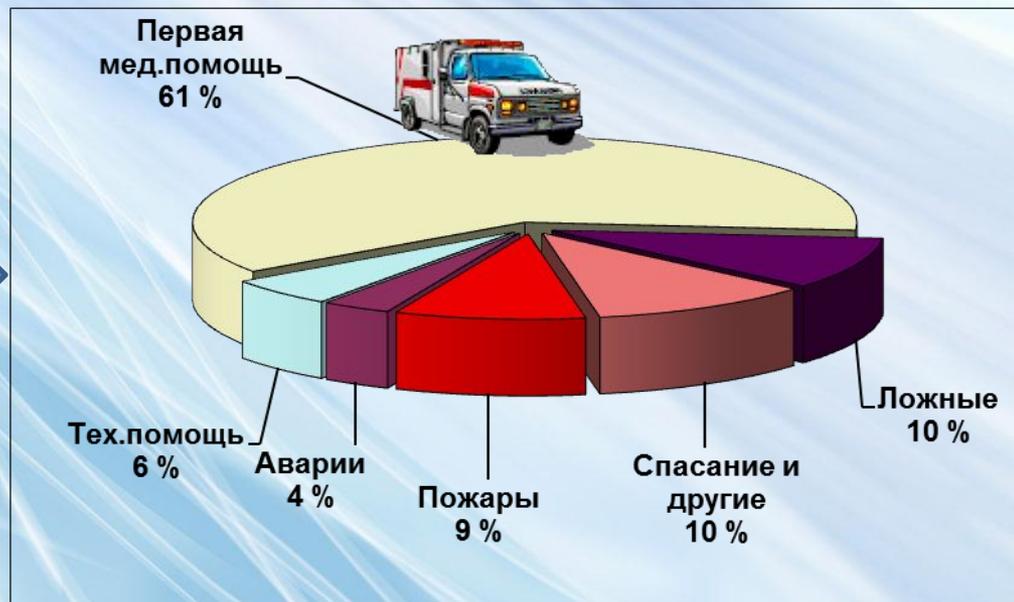
Распределение пожарных депо по населенным пунктам США

Численность населения	Доля гарнизонов США (%) с числом пожарных депо:					
	1-5 депо	6-9 депо	10-19 депо	20-29 депо	30 и более депо	Всего
1 000 000 и более	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
от 500 000 до 999 999	0,0	0,0	1,4	17,1	71,4	100,0
от 250 000 до 499 999	0,0	0,0	49,1	35,1	15,8	100,0
от 100 000 до 249 999	10,6	38,5	43,6	5,0	2,3	100,0
	нет депо	1 депо	2 депо	3 депо	4 и более депо	Всего
от 50 000 до 99 999	0,0	0,9	4,3	14,1	80,7	100,0
от 25 000 до 49 999	0,0	15,0	23,2	26,7	35,1	100,0
от 10 000 до 24 999	0,0	45,9	30,4	13,3	10,4	100,0
от 5 000 до 9 999	0,0	69,5	20,4	6,6	3,5	100,0
От 2500 до 4 999	0,0	79,6	15,1	3,6	1,6	100,0
до 2500	0,5	87,3	9,9	1,6	0,8	100,0

Некоторые общие правила и подходы к организации пожарно-спасательных служб (ПСС) в странах мира

- как правило, обеспечение пожарной безопасности является функцией региональных (муниципальных) органов власти, вследствие этого ПСС находятся в юрисдикции местных органов при ведомственной принадлежности ПСС, в основном, МВД;
- в большинстве своем ПСС являются многофункциональными, оказывающими множество видов услуг (не только экстренной помощи);
- во многих странах мира за отдельные услуги (в том числе оказания экстренной помощи) ПСС взимается плата;
- режим несения службы: для пожаротушения, как правило, сутки через двое, редко сутки через сутки и сутки через трое; для оказания первой медицинской помощи (в виду большой загрузки) графики дежурств по 8, 12 или 14 часов;
- подготовка персонала ПСС (пожарного) ведется на базе средне-технического образования независимо от того, готовится профессионал или доброволец;
- среднее число жителей на 1 профессионального работника 2000 чел., среднее соотношение численности профессиональной и добровольной службы 1:10 (по 55 странам Европы, Америки и Азии);

Обобщенная структура выездов пожарно-спасательных служб в странах мира (2007-2012)



Для исследования разнообразных организационно-управленческих ситуаций, требующих принятия решения, специально создана концепция оперативной пожарной обстановки, в которой реализован системный подход.

Под оперативной (пожарной) обстановкой в городе (регионе) понимают сложившийся в нем в тот или иной период (момент) времени комплекс объективных внутренних или внешних по отношению к пожарной охране условий, способствующих или препятствующих возникновению, развитию и ликвидации пожаров (и иных деструктивных ситуаций, в ликвидации последствий которых должна принимать участие пожарная охрана) и определяющих возможные масштабы их социально-экономических последствий.

Цель анализа пожарной обстановки	выявление возможностей наиболее эффективного выполнения пожарной охраной своих задач
Задача анализа пожарной обстановки	изучение влияния тех или иных внутренних или внешних факторов на эффективность решения пожарной охраной своих задач
Анализ пожарной обстановки	оценка различных ее вариантов, которые соответствуют возможным проявлениям факторов, включенных в изучение
Оценка пожарной обстановки	оценка ожидаемых результатов деятельности пожарной охраны в определенных условиях

Пожарную охрану можно рассматривать как **сложную динамическую систему**, призванную выполнять вполне определенные функции, связанные с предупреждением и тушением пожаров. Для выполнения этих функций **пожарная охрана располагает соответствующими материальными и трудовыми ресурсами** (силами и средствами).

Основными элементами понятия оперативной обстановки в городе являются:

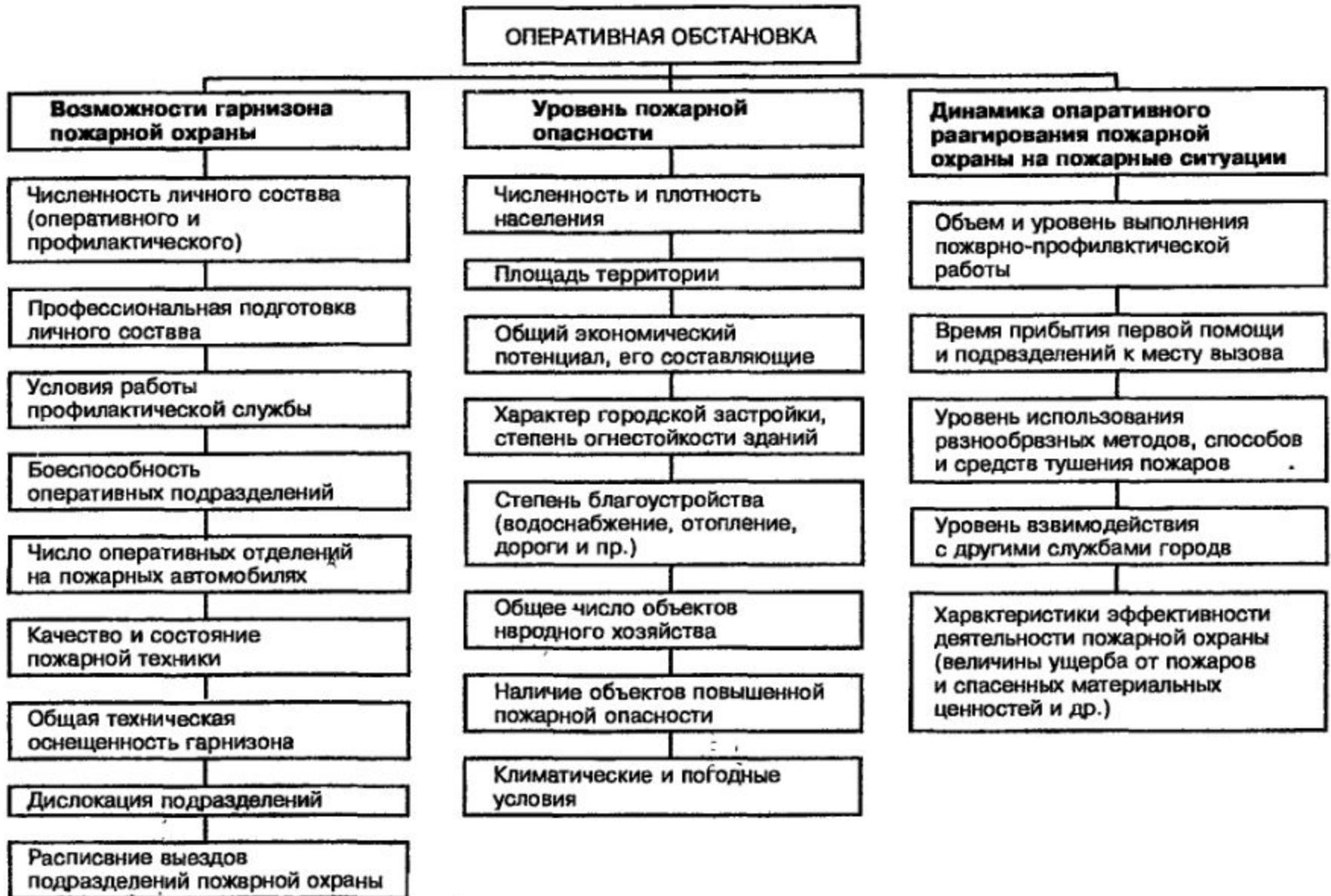
- **возможности гарнизона** пожарной охраны города (характеристики системы);
- **уровень пожарной опасности города** (характеристики среды);
- **динамика оперативного реагирования** гарнизона пожарной охраны на пожароопасные ситуации (взаимодействие системы и среды).

Оценка пожарной обстановки

Индикаторы уровня пожарной опасности – характеризуют результаты профилактической работы (например, **общее число пожаров**).

Индикаторы уровня противопожарной защиты – характеризуют результаты оперативной деятельности (например, **материальный ущерб от пожаров, количество погибших и пострадавших людей**).

Исходные данные для анализа пожарной обстановки



Структурная схема процесса анализа пожарной обстановки



Понятие оперативной обстановки является сложным и многогранным, зависящим от большого числа различных по характеру факторов. Все эти **многочисленные факторы** оказывают влияние на общую оценку оперативной обстановки в городе, уровня его пожарной опасности и на разработку планов мероприятий по дальнейшему совершенствованию системы противопожарной защиты города и обеспечению его пожарной безопасности.

Вся совокупность факторов находит достаточно объективное отражение в нескольких весьма емких по содержанию параметрах, поддающихся количественной оценке и позволяющих найти количественные закономерности оперативной деятельности пожарной охраны. Такими параметрами являются:

- 1) частота боевых выездов подразделений пожарной охраны;**
- 2) продолжительность выездов;**
- 3) число оперативных отделений, выезжающих по вызову.**

Эти параметры являются **основными**. К ним можно добавить много других, например, расходы различных огнетушащих средств и т. д.

Чем больше значение каждого перечисленного параметра, тем напряженнее оперативная обстановка в городе, и наоборот.

Изучение и анализ элементов, факторов и параметров оперативной обстановки помогают определить конкретные пути воздействия на нее с целью разрядки и уменьшения степени ее напряженности.

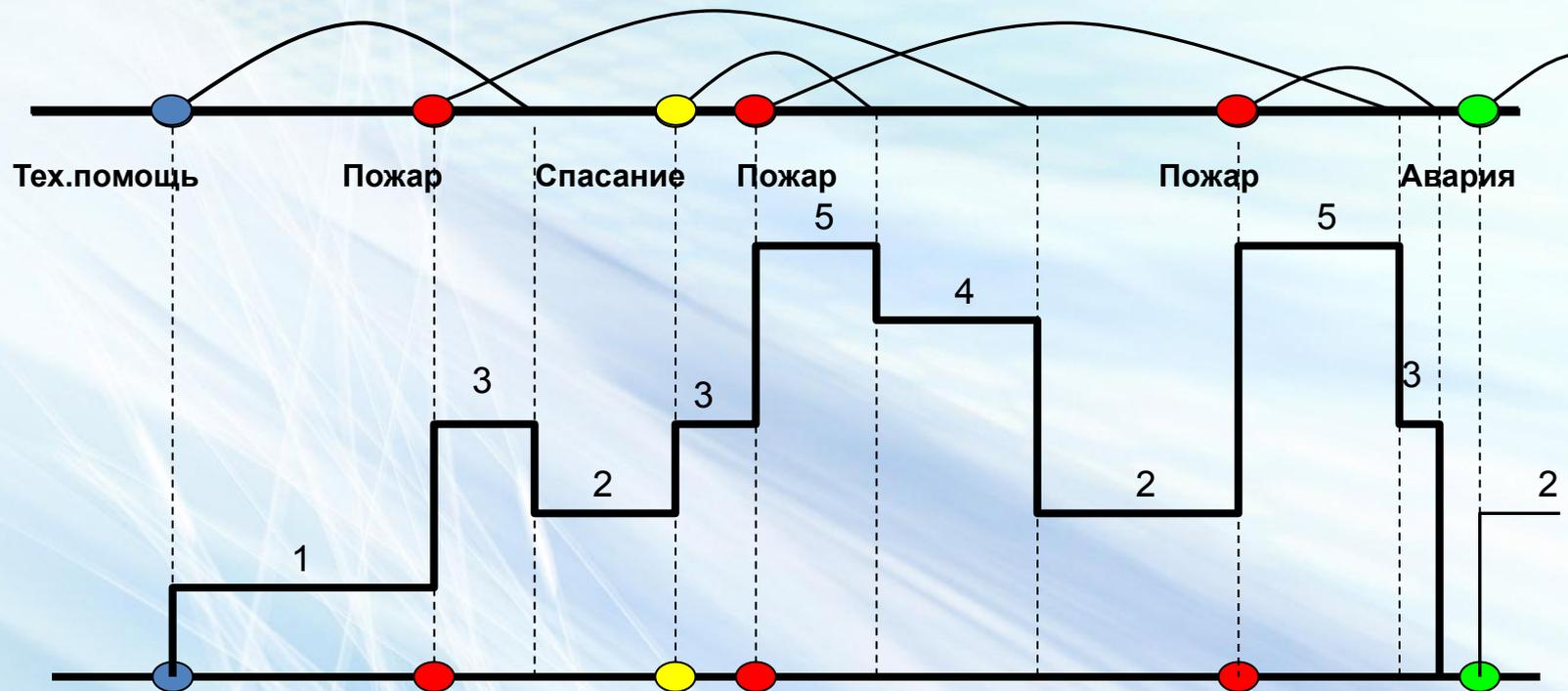
Особенности процесса функционирования экстренных служб и параметры, его характеризующие:

- вероятностный характер поступления вызовов для обслуживания во времени и пространстве (параметры потоков вызовов, поступающих в разное время и из разных районов города);
- вероятностный характер использования подразделений экстренных служб различных видов и количества при обслуживании вызовов (числовые характеристики соответствующих распределений);
- вероятностный характер всех временных характеристик процесса функционирования ППС (числовые характеристики соответствующих законов и функций распределения);
- вероятностный характер распределения по территории города мобильных оперативных подразделений во времени;
- топографические особенности конкретного города, его уличную сеть, скоростные характеристики движения специальных автомобилей и многое др;

Вопрос 3. Моделирование потока вызовов пожарных подразделений

Под **потоком вызовов пожарных подразделений** будем понимать **последовательность сообщений** о пожарах, загораниях, авариях, других деструктивных событиях, поступающих одно за другим в какие-то случайные моменты времени на диспетчерский пункт службы, за которыми следуют выезды пожарных подразделений к местам вызовов.

Построим **графическую модель** потока вызовов. На оси времени точками изобразим моменты поступления вызовов.



Из этой модели следует, что процесс поступления вызовов пожарных подразделений на диспетчерский пункт протекает **неравномерно** и носит **вероятностный характер**.

Поток вызовов носит случайный характер, так как невозможно сколько-нибудь точно предсказать момент поступления очередного вызова пожарных подразделений, а также моменты поступления всех последующих за ним вызовов.

Большой интерес представляет **простейший поток** вызовов (событий), который обладает **тремя свойствами**:

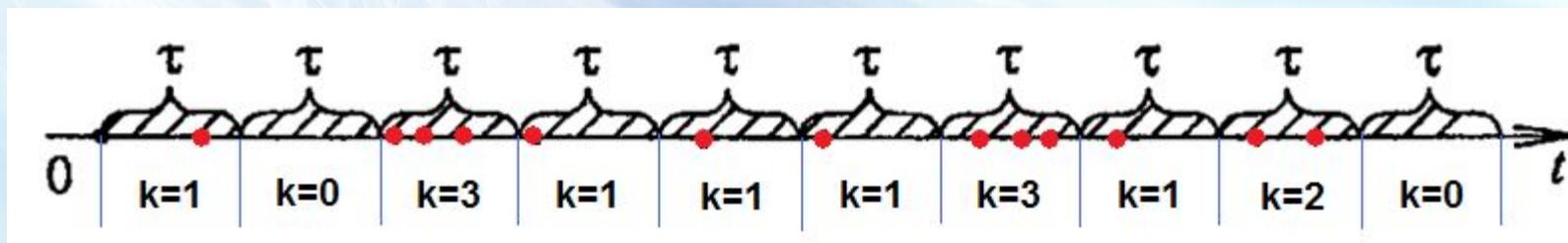
- 1) **ординарность** – вызовы поступают по одному и на малом интервале времени поступление двух и более вызовов маловероятно;
- 2) **отсутствие последействия** – вызовы происходят независимо друг от друга;
- 3) **стационарность** – характеристики потока являются неизменными во времени величинами.

Существует **два способа** изучения и математического описания потока случайных событий.

1-й способ:

с помощью вероятностного распределения дискретной случайной величины k (число событий, возникающих на интервале времени заданной продолжительности τ)

Разделим всю временную ось на **равные промежутки** времени произвольной протяженности τ .



Введем в рассмотрение случайную величину k - число вызовов пожарных подразделений за промежутки времени τ .

Число k является дискретной случайной величиной и может принимать следующие значения: $0, 1, 2, \dots$

Нас будет интересовать закон распределения вероятностей $P_k(\tau)$ того, что за время τ поступят k вызовов пожарных подразделений ($k=0, 1, 2, \dots$).

Для любого фиксированного значения $\tau > 0$ имеет место соотношение:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k(\tau) = 1$$

При таком способе математической моделью простейшего потока является **закон распределения Пуассона**:

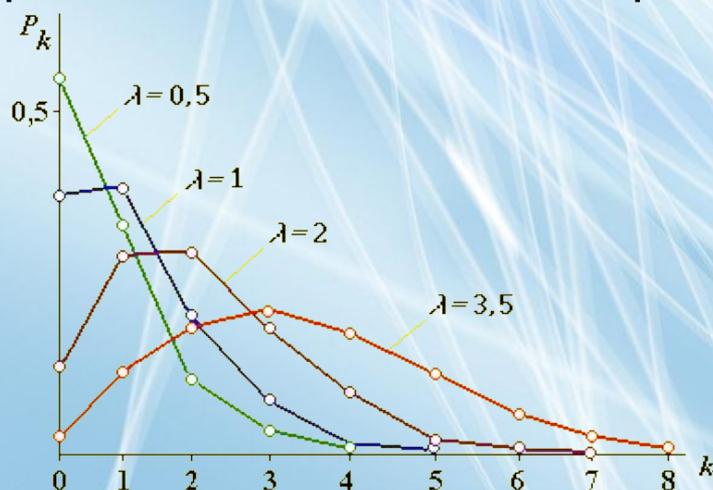
$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

где: λ – параметр распределения Пуассона - **плотность (интенсивность) потока вызовов**, которая определяется как среднее число вызовов за единицу времени.

Потоки случайных событий, описываемые этим распределением, называют **пуассоновскими**.

Математическое ожидание $M(X)$ и дисперсия $D(X)$ случайной величины X , подчиняющейся распределению Пуассона с параметром λ , равны значению этого параметра:

$$M(X) = D(X) = \lambda$$

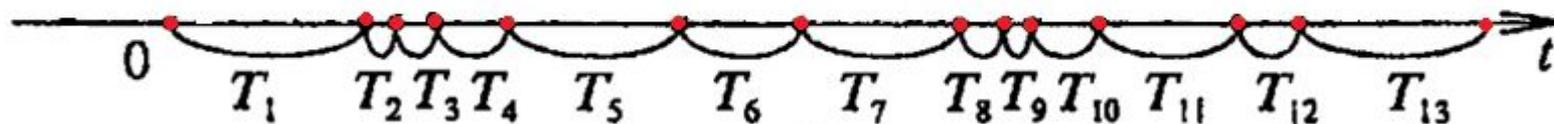


На рисунке показаны многоугольники распределения случайной величины X , распределенной по закону Пуассона, соответствующие различным значениям параметра λ .

2-й способ:

с помощью вероятностного распределения непрерывной случайной величины T (длительность интервала времени между последовательными событиями в потоке)

Соединим каждую пару точек (соседние, смежные моменты вызовов) **дугой**, обозначающей промежуток времени T между каждыми двумя вызовами пожарных подразделений.



Введем в рассмотрение длительность промежутка времени T между соседними вызовами. Это **непрерывная случайная величина**, которая может принимать любое неотрицательное значение от 0 до ∞ .

Нас будет интересовать функция распределения $F(\tau) = P\{T < \tau\}$, т. е. вероятность того, что промежуток времени T между соседними вызовами окажется меньше произвольного значения τ .

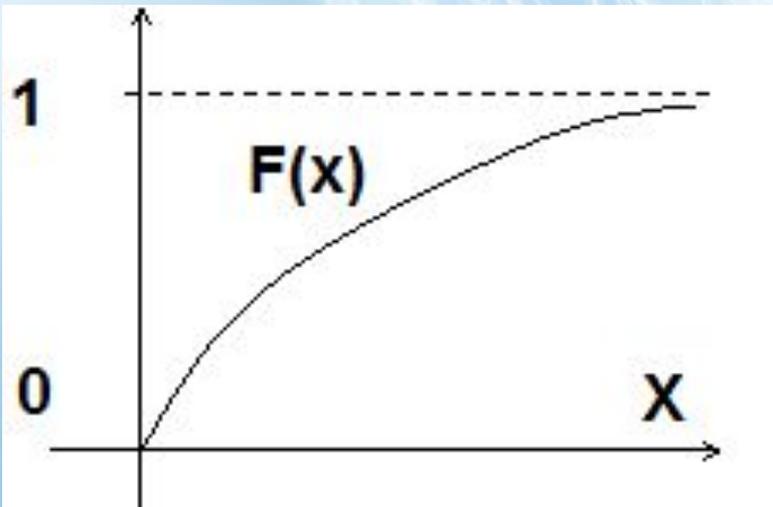
При таком способе математической моделью простейшего потока является **показательный закон распределения**:

$$P\{T \geq \tau\} = e^{-\lambda\tau}$$

$$P\{T < \tau\} = 1 - e^{-\lambda\tau}$$

где: λ – параметр - **плотность (интенсивность) потока вызовов**, которая определяется как среднее число вызовов за единицу времени и вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{N}{T_{\text{набл}}} \left[\frac{\text{событий}}{\text{ед. времени}} \right]$$



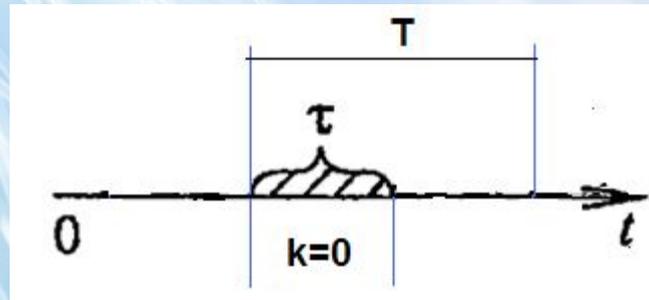
В случае показательного распределения математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение равны:

$$M(X) = \sigma(X) = 1/\lambda$$

На рисунке представлено **показательное распределение**.

Таким образом, есть все основания полагать, что **математическими моделями потока вызовов** пожарных подразделений могут служить либо **закон Пуассона** (если рассматривать число вызовов, поступающих за какой-то промежуток времени), либо **показательный закон распределения** (если рассматривать промежутки времени между соседними вызовами).

Покажем, что **оба способа описания идентичны**. Действительно, промежуток времени T между последовательными событиями превзойдет заданное значение лишь в том случае, когда за это время не произойдет ни одного вызова.



$$P_{k=0}(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^0}{0!} e^{-\lambda\tau} = e^{-\lambda\tau} = P\{T \geq \tau\}$$

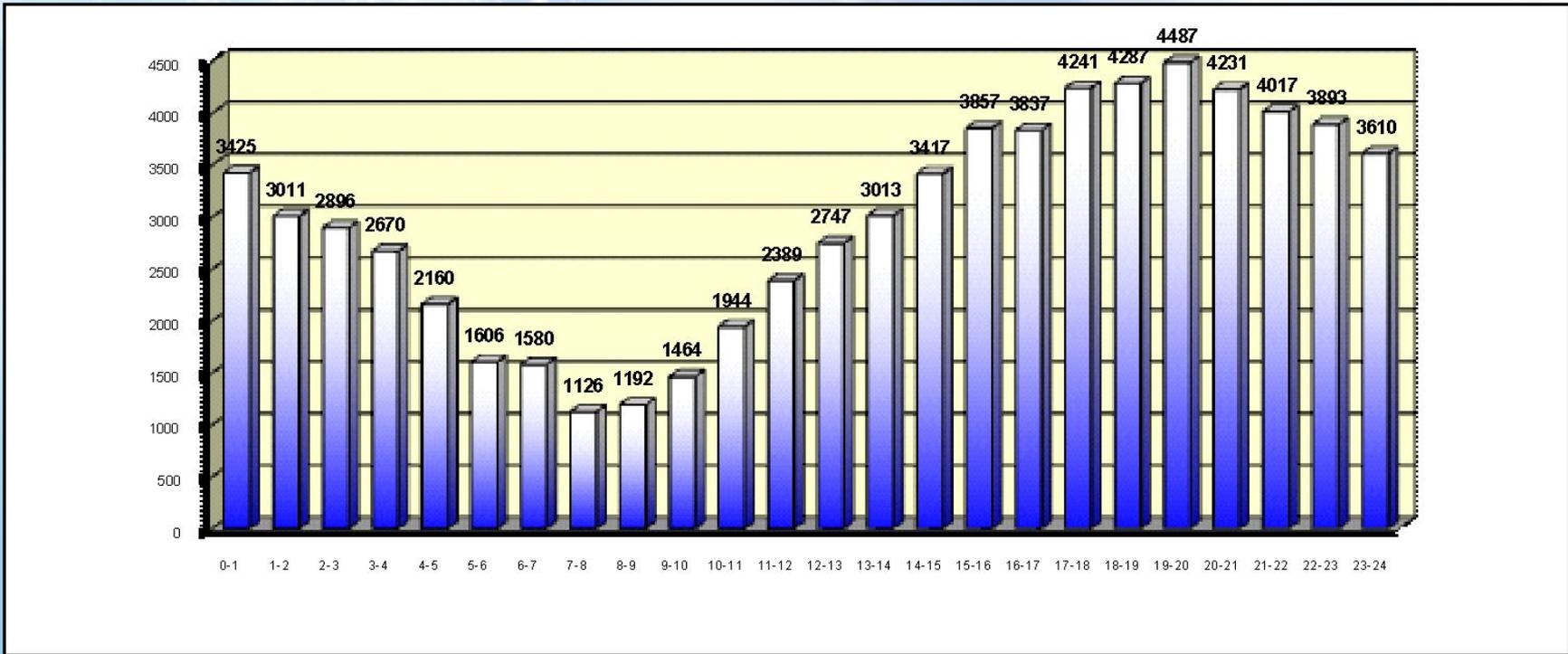
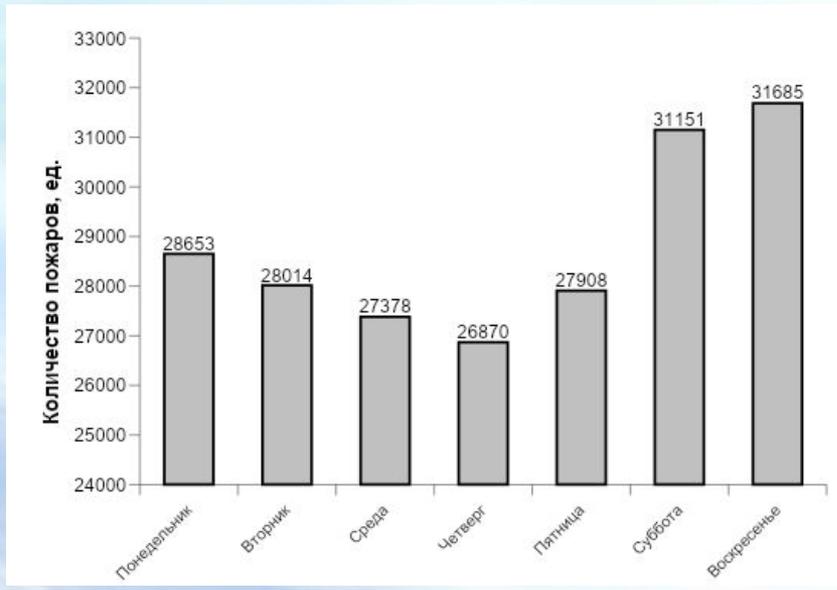
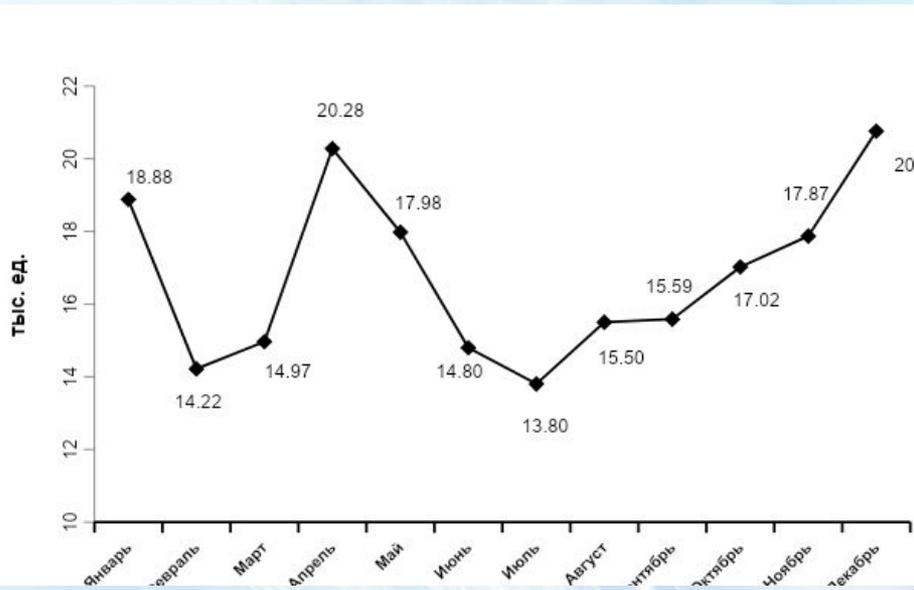
Реальные потоки вызовов в городах являются нестационарными. Плотность потока вызовов изменяется по времени суток, по месяцам года и по дням недели.

Для всех городов имеется общая закономерность влияния периода времени суток на плотность потока вызовов. Во второй половине суток поступает в 2,5 раза больше вызовов, чем в первой половине. Наиболее напряженным является период времени от 16 часов до полуночи, а наименее напряженным – от 4-х часов ночи до 8-ми часов утра.

Изменение плотности потока вызовов по времени суток является более значительным, чем по месяцам года, и в первую очередь именно изменение по времени суток следует учитывать для уточнения математического описания потока.

Наряду с общим потоком вызовов пожарных подразделений в городе представляет интерес изучение его составляющих по таким признакам, как:

- 1) объекты вызовов;
- 2) причины вызовов;
- 3) объем привлекаемых сил и средств ГПС, которые обслуживали вызов.



Вопрос 4. Математическое описание временных характеристик процесса функционирования противопожарной службы

Основными временными характеристиками процесса функционирования противопожарной службы, отражающими ее реакцию на поступающие вызовы, являются:



t_1 - момент возникновения ЧС;

t_2 - момент обнаружения ЧС;

t_3 - момент сообщения о ЧС на диспетчерский пункт ППС

t_4 - момент поступления команды на выезд;

t_5 - момент выезда подразделений ППС к месту вызова;

t_6 - момент прибытия подразделений ППС на место вызова;

t_7 - момент отъезда подразделений ППС с места вызова;

t_8 - момент прибытия подразделений ППС на место дислокации;

t_9 - момент постановки подразделений ППС в боевой расчет.

**Основные среднестатистические показатели
оперативного реагирования и тушения пожаров в 2007-2011 гг.**

Наименование показателя	2007	2008	2009	2010	2011
1	2	3	4	5	6
Среднее время сообщения о пожаре, мин					
Все пожары	5.62	5.1	4.13	3.61	3.25
Пожары в городах	4.08	3.77	3.05	2.77	2.54
Пожары в сельской местности	8.24	7.29	5.74	4.84	4.28
Среднее время прибытия первого пожарного подразделения, мин					
Все пожары	11.89	11.57	10.12	9.57	9.08
Пожары в городах	8.19	8.02	7.08	6.83	6.63
Пожары в сельской местности	18.71	17.93	15.03	13.83	12.89
Среднее время подачи первого ствола, мин					
Все пожары	-	-	1.58	1.44	1.33
Пожары в городах	-	-	1.64	1.5	1.37
Пожары в сельской местности	-	-	1.3	1.2	1.17
Среднее время свободного горения, мин					
Все пожары	17.39	16.71	16.05	14.8	13.8
Пожары в городах	12.41	11.93	11.96	11.22	10.69
Пожары в сельской местности	26.75	25.31	22.25	20.02	18.48
Среднее время локализации пожара, мин					
Все пожары	14.8	13.79	11.34	11.53	10.49
Пожары в городах	13.18	12.49	9.85	10.01	9.37
Пожары в сельской местности	16.52	15.07	12.94	13.04	11.55
Среднее время ликвидации открытого горения, мин					
Все пожары	29.19	27.2	13.82	13.94	12.59
Пожары в городах	21.15	20.07	10.08	10.1	9.38
Пожары в сельской местности	34.83	31.95	18.11	18.25	16.29
Среднее время тушения пожара, мин					
Все пожары	43.18	40.5	25.37	25.7	23.32
Пожары в городах	33.02	31.34	19.85	20.09	18.85
Пожары в сельской местности	52.47	48.13	31.43	31.64	28.13
Среднее время ликвидации последствий пожара, мин					
Все пожары	-	-	28.27	31.28	29.9
Пожары в городах	-	-	19.75	21.45	20.93
Пожары в сельской местности	-	-	36.77	39.66	37.75
Среднее время занятости на пожаре, мин					
Все пожары	-	-	54.59	57.86	54.29
Пожары в городах	-	-	40.58	42.36	40.67
Пожары в сельской местности	-	-	70.75	74.02	68.47
Среднее время обслуживания вызова, мин					
Все пожары	-	-	64.65	67.28	63.26
Пожары в городах	-	-	47.63	49.16	47.24
Пожары в сельской местности	-	-	85.47	87.53	81.16

Все временные характеристики оперативной деятельности ППС с вероятностно-статистической точки зрения являются непрерывными случайными величинами и могут быть описаны соответствующими законами распределения (как правило, распределениями Эрланга 0-4 порядка).

Закон Эрланга является обобщением показательного закона распределения. Его плотность имеет следующее аналитическое выражение:

$$f(t) = \mu \frac{(\mu t)^r}{r!} e^{-\mu t} \quad (t \geq 0; r = 0, 1, 2, \dots)$$

Вопрос 5. Моделирование возникновения одновременных вызовов

С точки зрения напряженности оперативной обстановки одним из основных параметров, характеризующих ее является число **одновременных вызовов**.

В случайные моменты времени в городе (на объекте) возникают пожары (или любые другие деструктивные события, на которые обязана оперативно реагировать противопожарная служба). Их ликвидация занимает какое-то случайное по продолжительности время, после чего данный вызов снимается с контроля, так как его обслуживание заканчивается. Следовательно, в любой момент времени t противопожарная служба города может с некоторой вероятностью $p_m(t)$ находиться в одном из состояний E_m ($m = 0, 1, 2, \dots$):

E_0 - в системе нет ни одного вызова пожарных подразделений;

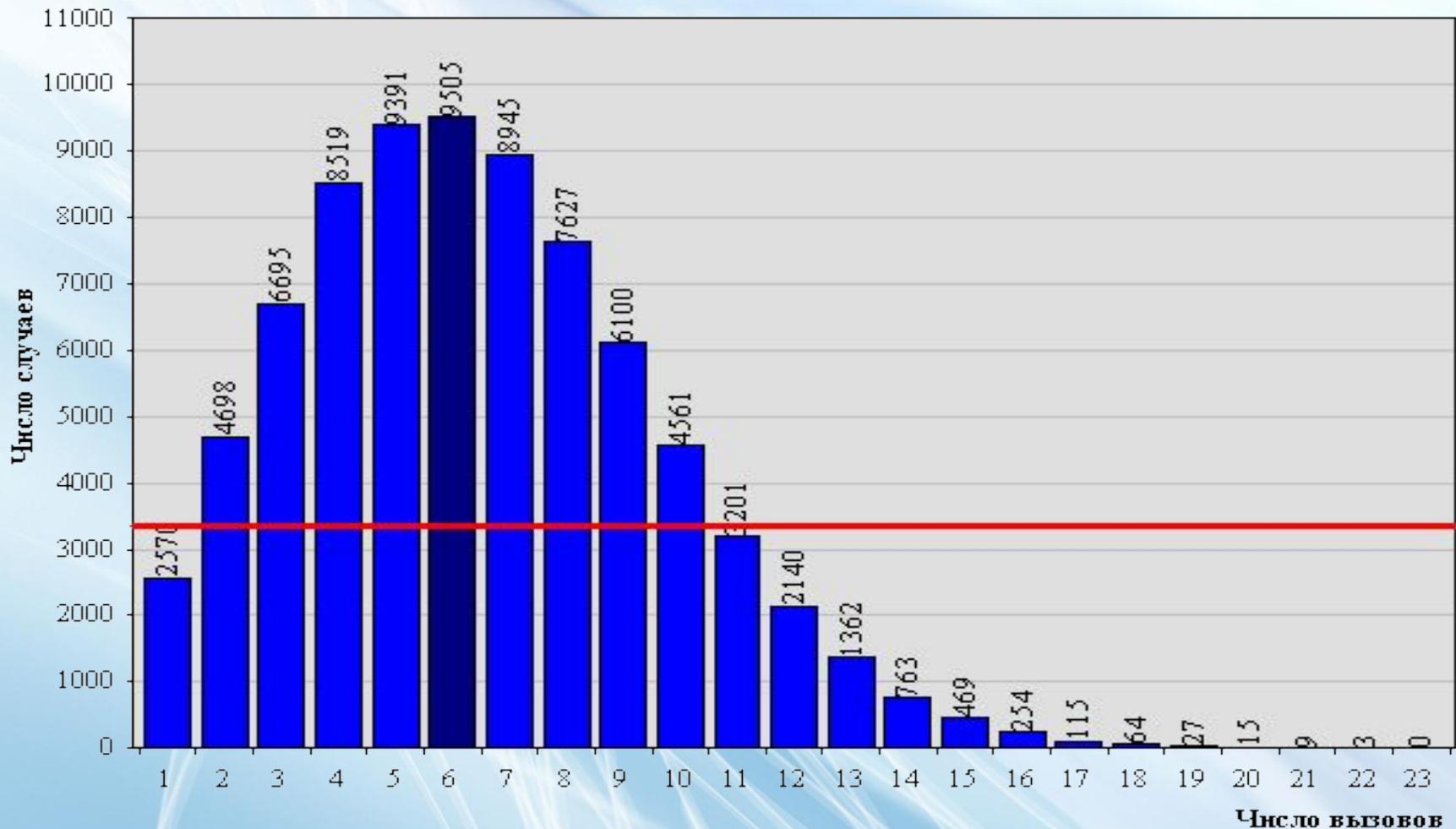
E_1 - в системе обслуживается один вызов;

.....

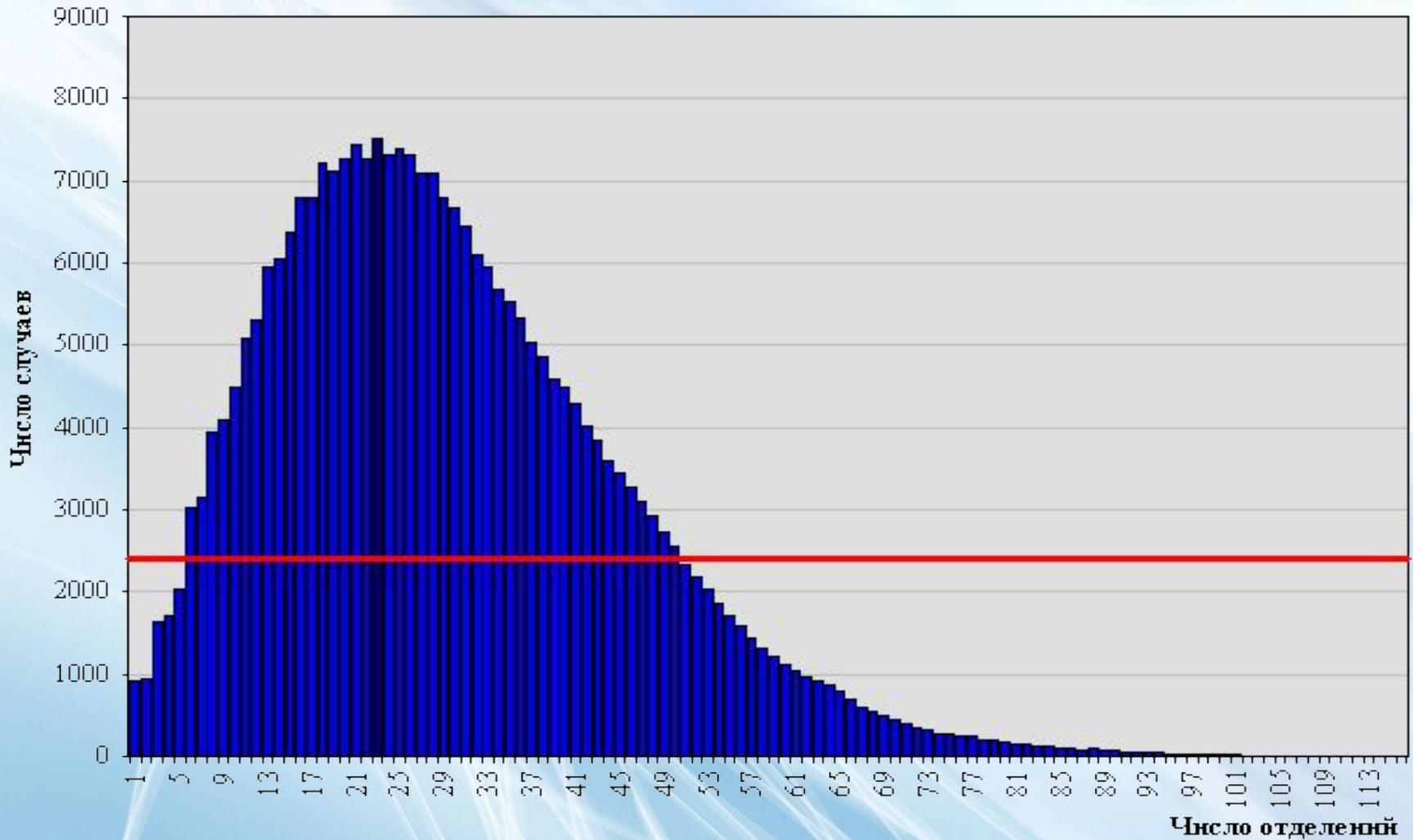
E_m - в системе обслуживаются m вызовов одновременно;

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda \tau_{\text{обсл.}})^k}{k!} e^{-\lambda \tau_{\text{обсл.}}} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Распределение числа одновременно обслуживаемых вызовов



Распределение числа одновременно занятых отделений



**Распределение пожаров по количеству единиц пожарной техники,
одновременно использовавшейся при тушении в 2007-2011 гг.**

Число единиц пожарной техники	Количество пожаров									
	2007		2008		2009		2010		2011	
	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%	ед.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	52957	24.91	48591	24.05	47384	25.26	45211	25.18	43401	25.75
2	73771	34.70	69658	34.48	65523	34.93	61367	34.18	59805	35.49
3	32469	15.27	30925	15.31	28135	15.00	27504	15.32	25152	14.93
4	14179	6.67	13458	6.66	11797	6.29	12381	6.90	11257	6.68
5	6760	3.18	6526	3.23	5799	3.09	5863	3.27	5320	3.16
6	3564	1.68	3371	1.67	2980	1.59	3266	1.82	2755	1.63
7	1810	0.85	1794	0.89	1727	0.92	1824	1.02	1520	0.90
8	1208	0.57	1206	0.60	1100	0.59	1177	0.66	1057	0.63
9	685	0.32	728	0.36	624	0.33	596	0.33	585	0.35
10	491	0.23	548	0.27	454	0.24	427	0.24	374	0.22
11	362	0.17	354	0.18	292	0.16	336	0.19	308	0.18
12	199	0.09	204	0.10	193	0.10	226	0.13	201	0.12
13	152	0.07	154	0.08	117	0.06	157	0.09	109	0.06
14	110	0.05	87	0.04	83	0.04	106	0.06	73	0.04
15	62	0.03	77	0.04	49	0.03	57	0.03	65	0.04
более 15	195	0.09	248	0.12	170	0.09	178	0.10	167	0.10
не использовались	23613	11.11	23730	11.75	21144	11.27	18857	10.50	16372	9.72

Вопрос 6. Оргпроектирование систем противопожарной защиты

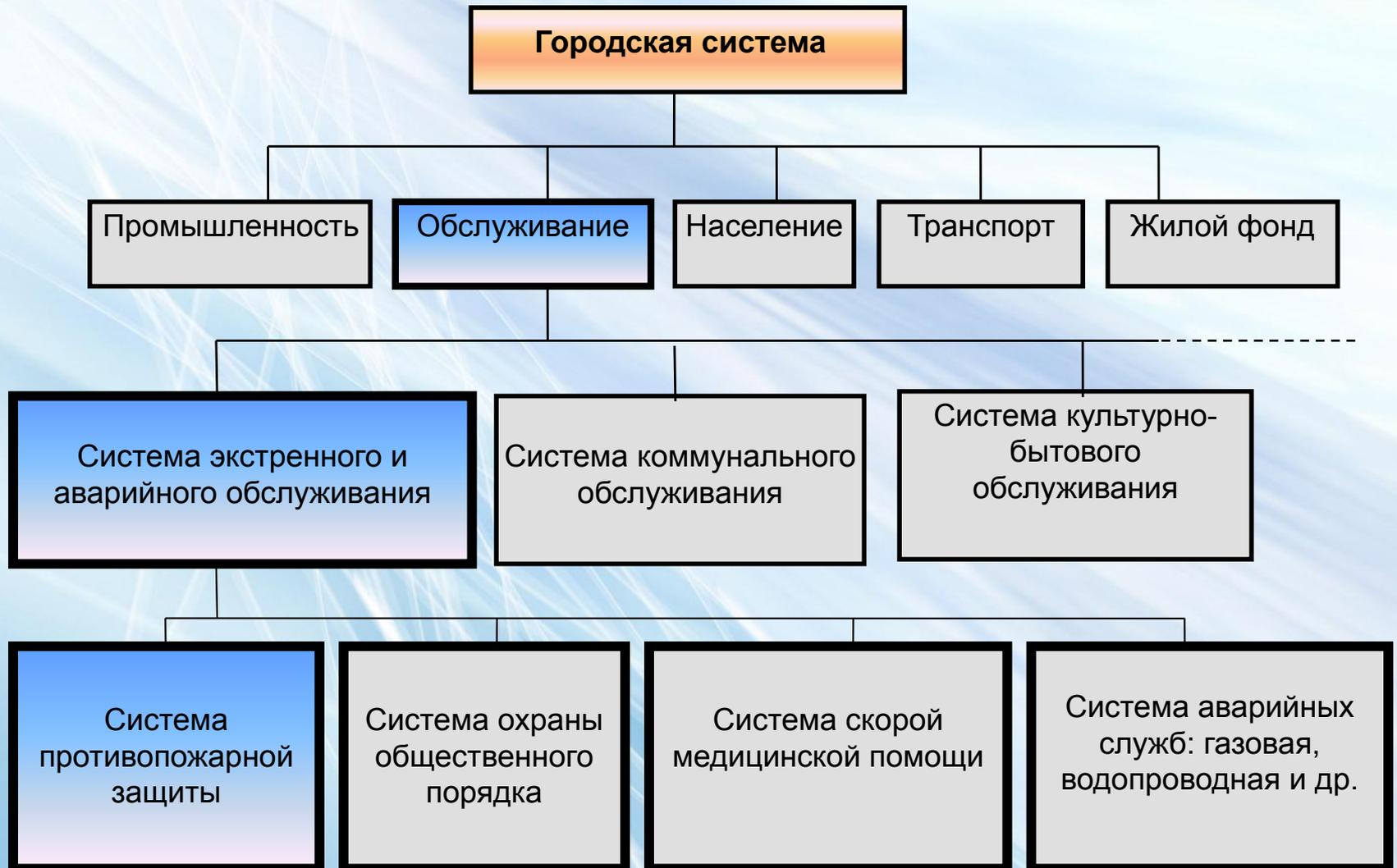
Организационное проектирование – это процесс разработки проектов организации разнообразных социально-экономических систем (к которым относится и пожарная охрана).

В результате оргпроектирования создается соответствующая **документация** (нормативная, проектная и пр.), определяющая основные организационные характеристики, количественные параметры, принципы формирования системы и управления ею.

К ним относятся:

- организационные структуры системы в целом и ее подсистем;
- количество объективно необходимых системе подсистем, блоков и отдельных элементов;
- варианты пространственного размещения всех компонентов системы;
- информационное, кадровое, материально-техническое и финансовое обеспечение всех структур системы;
- вопросы технологии управления на всех иерархических уровнях системы, включая порядок выполнения всех типов управленческих процедур, использование рациональных форм документов, применение организационной и вычислительной техники и пр.

Фрагмент структурно-функциональной организации городской системы



Организационное проектирование в пожарной охране представляет собой разработку проектов организационной структуры и организации функционирования пожарной охраны страны в целом, отдельных гарнизонов, органов, подразделений, аппаратов управления.

Под системой противопожарной защиты города понимают совокупность организационных и инженерных мероприятий, а также технических средств, предназначенных для уменьшения вероятности развития пожаров, а также их ликвидации с минимальными социально-экономическими последствиями.

Элементы системы противопожарной защиты города

Технические средства АСС

Мобильные средства
(автомобили,
вертолеты,
катера, поезда и др.)

Техническое и
специальное
оборудование

Средства связи
и управления силами
и средствами

Инженерные системы и решения

Пункты
дислокации
техники и их
типы

Центры управления
силами и
средствами
Станции технической
поддержки

Подъезды,
проезды и другие
архитектурно-
планировочные
решения

Системы
сигнализации
и оповещения

Организационные мероприятия

Организация
службы

Обеспечение
взаимодействия с
другими службами
города.

Разработка и
реализация норм,
правил, инструкций
по обеспечению
безопасности

Привлечение
сил
общественности

Центральным вопросом оргпроектирования системы обеспечения пожарной безопасности города, который связывает, объединяет все другие вопросы и требует наиболее тщательного, самостоятельного рассмотрения, является проектирование гарнизона пожарной охраны города.

Основой структуры противопожарной службы города является сеть пожарных депо, рационально распределенных по территории города, с размещенной в них разнообразной и в достаточном количестве пожарной техникой и личным составом. Проблема заключается в обосновании требуемого городу числа депо и пожарной техники всех типов.

С точки зрения пожарной безопасности, город должен быть спланирован и построен таким образом, чтобы в нем были созданы все условия, затрудняющие возникновение и распространение пожаров и облегчающие их ликвидацию.

Типичная организационная структура противопожарных служб в крупных городах мира



Основной принцип проектирования организационной структуры противопожарной службы (ППС) города

С точки зрения городской среды (клиентов обслуживания) любая система обслуживания населения характеризуется (оценивается) временем и качеством обслуживания. Время обслуживания складывается из времени подготовки системы к обслуживанию и времени непосредственного обслуживания.

Для систем экстренного обслуживания особую роль играет время подготовки к обслуживанию (время диспетчеризации, сбора и выезда, следования, боевого развертывания), т.к. именно от него во многом зависит время непосредственного обслуживания и его качество.

Отсюда вытекает и основной принцип проектирования.

Системы экстренного обслуживания населения в городе должны быть организованы таким образом, чтобы в любой момент времени на любую возникшую в городе деструктивную ситуацию, требующую участия этих служб, они могли немедленно отреагировать набором сил и средств, соответствующих характеру данной ситуации.

При этом должны выполняться два основных ограничения:

- **прибытие сил и средств** к месту вызова должно быть **своевременным** (т. е. укладываться в допустимые временные интервалы, определяемые, в частности, физико-химическими закономерностями развития пожара);
- общее **количество сил и средств** в городе должно быть **экономически**

Основные задачи проектирования ППС

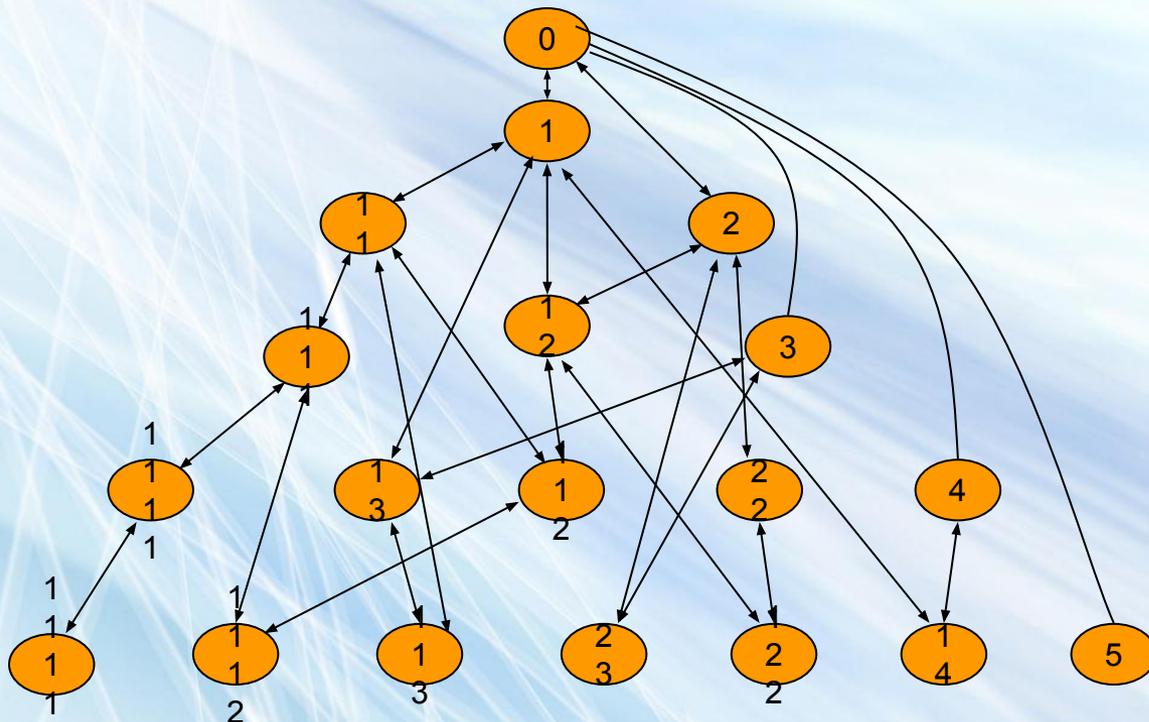
Из данного принципа определяются основные задачи проектирования и управления экстренными службами, которые в общем случае заключаются:

- 1) в определении необходимого количества сил и средств для обслуживания поступающих вызовов;
- 2) в определении мест их размещения на территории города;
- 3) в выработке стратегии и тактики их функционирования.

В условиях постоянных динамических процессов, происходящих в городской среде, найти “глобальный оптимум” в решении таких задач не представляется возможным, однако применение гибких методов проектирования с помощью современных компьютерных технологий может привести к разумным путям их решения.

Вопрос 7. Определение требуемого числа оперативных отделений любых типов для города

Граф состояний оперативных отделений



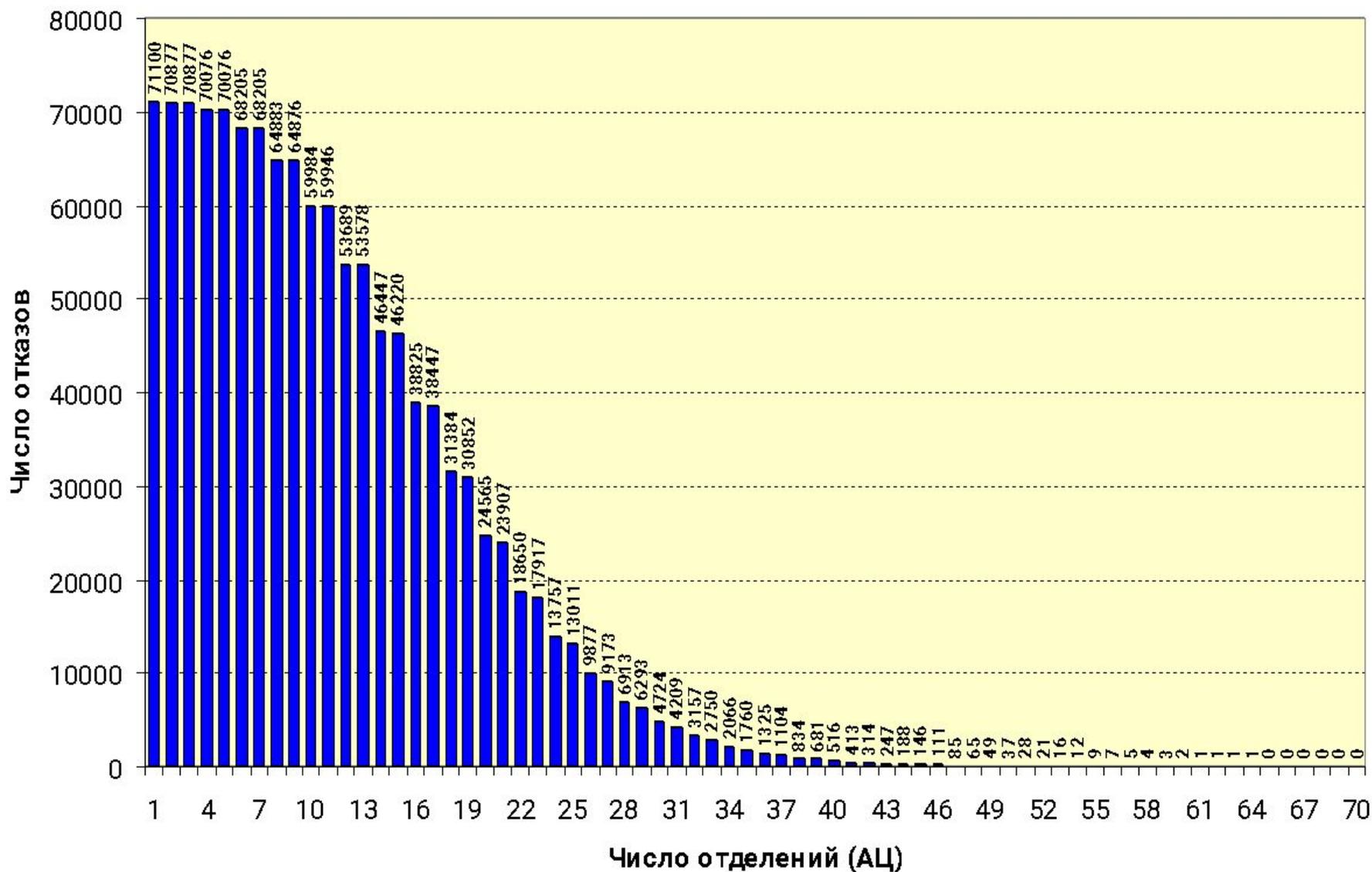
$$P_j = \frac{\alpha}{j} \sum_{i=1}^j i a_i P_{j-i} \quad (j = 1, 2, 3, \dots)$$

$$P_{>N} = 1 - \sum_{j=0}^N P_j \leq \varepsilon,$$

где – $\alpha = \lambda t_{\text{ср}}$ – приведенная плотность потока вызовов (λ – интенсивность потока вызовов, $t_{\text{ср}}$ – средняя продолжительность одного вызова)

a – частота использования того или иного (i) числа отделений на вызовах

Распределение числа отказов в выезде АЦ в Москве



Вопрос 7. Определение необходимого числа пожарных депо для города

$$N_{\partial} = \frac{\alpha^2 \gamma^2 S}{\bar{v}^2 \bar{\tau}_{сл}^2} + \beta \lambda \bar{\tau}_{обс}$$

где: S – площадь территории города, кв. км;

γ – среднее для города значение коэффициента непрямолинейности

\bar{v} - ~~средний скорост~~ среднее значение скорости движения пожарных автомобилей по территории города, км/ч (25-30);

$\bar{\tau}_{сл}$ - среднее время следования пожарных автомобилей к месту вызова (задаваемый параметр) (5-6мин.);

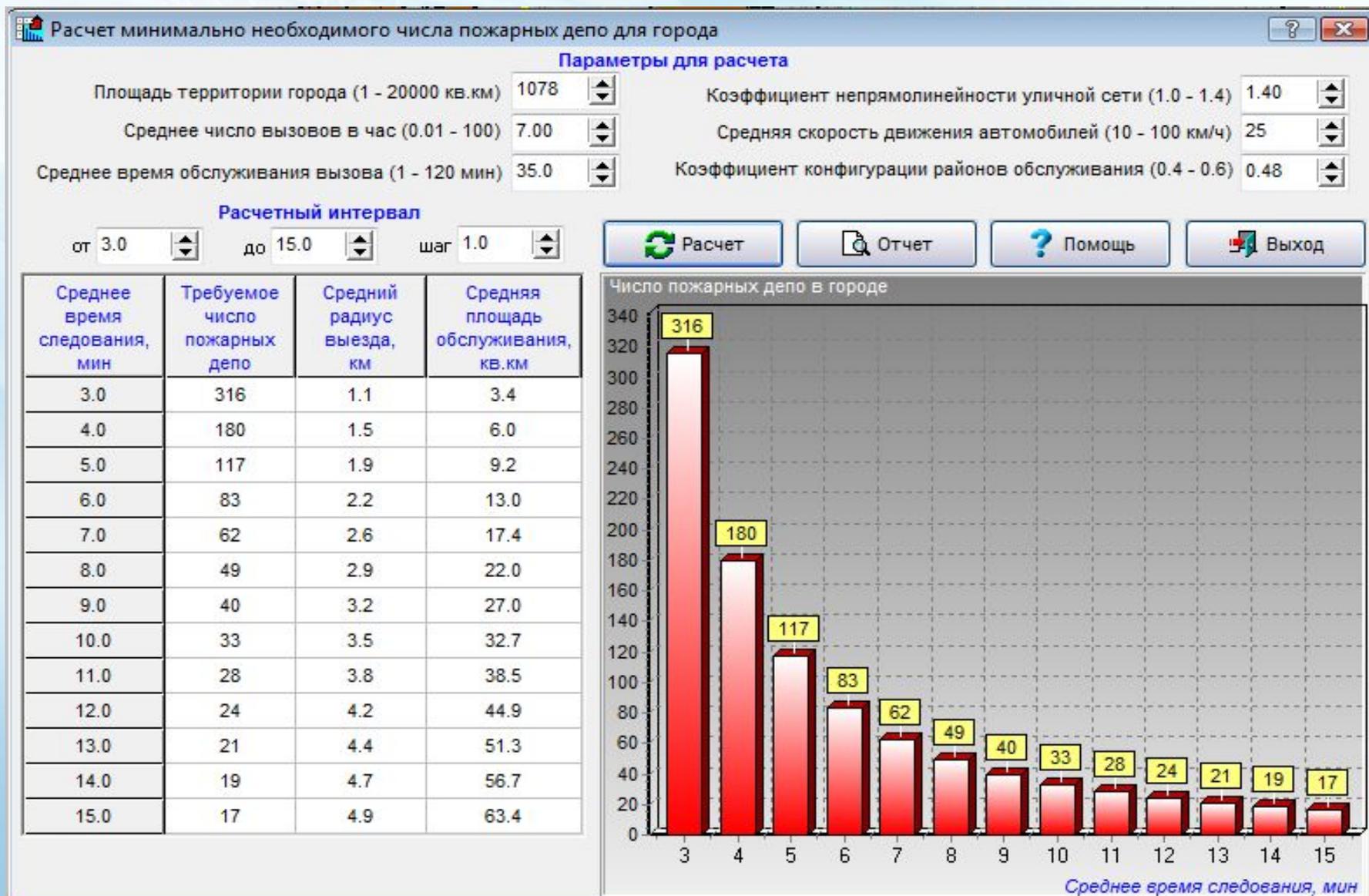
α - коэффициент, учитывающий конфигурацию районов обслуживания подразделений – гипотетический многоугольник: $\alpha=0,48$;

β - универсальный коэффициент: $\beta=1,5$;

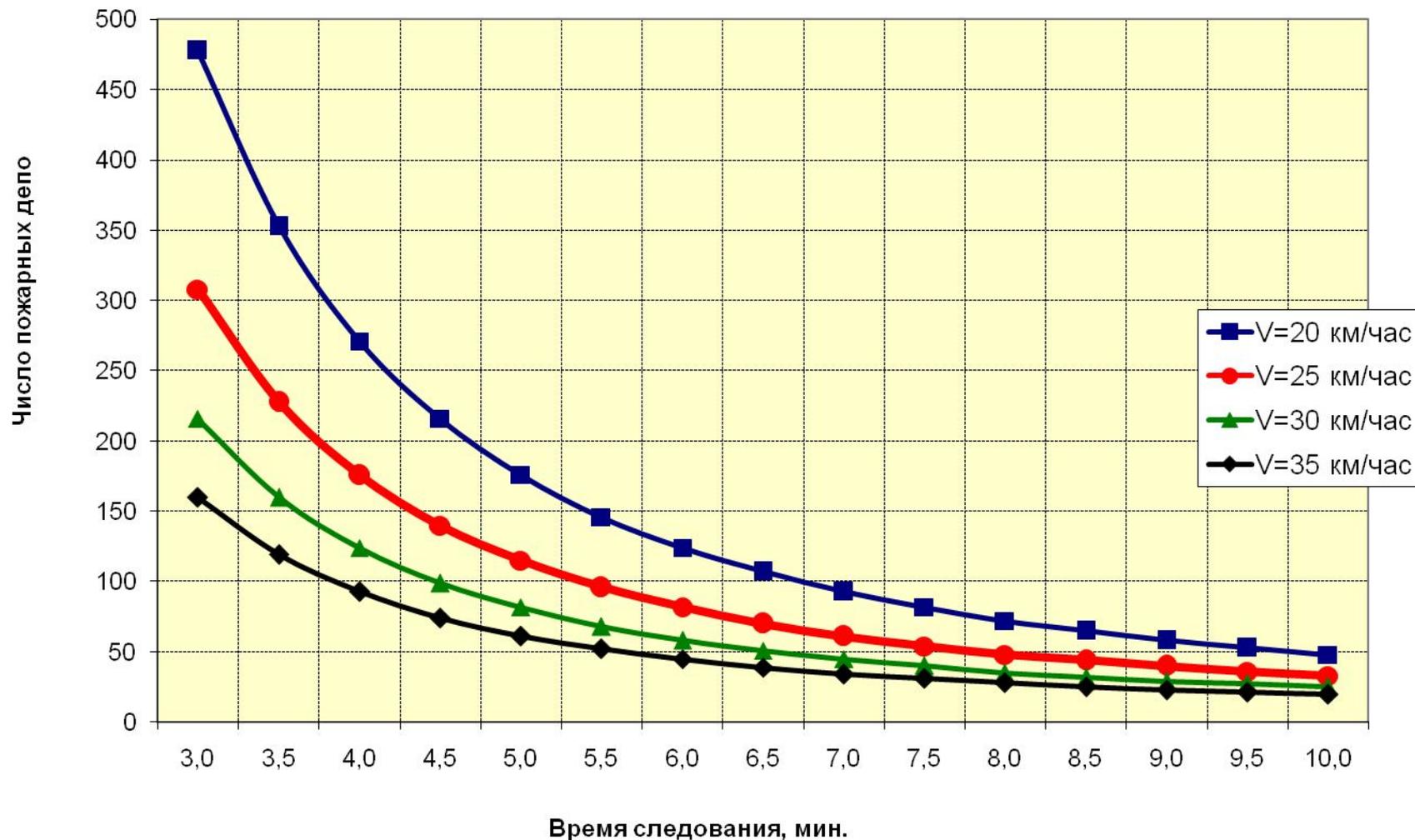
λ - плотность потока вызовов;

$\bar{\tau}_{обс}$ - среднее время обслуживания вызова.

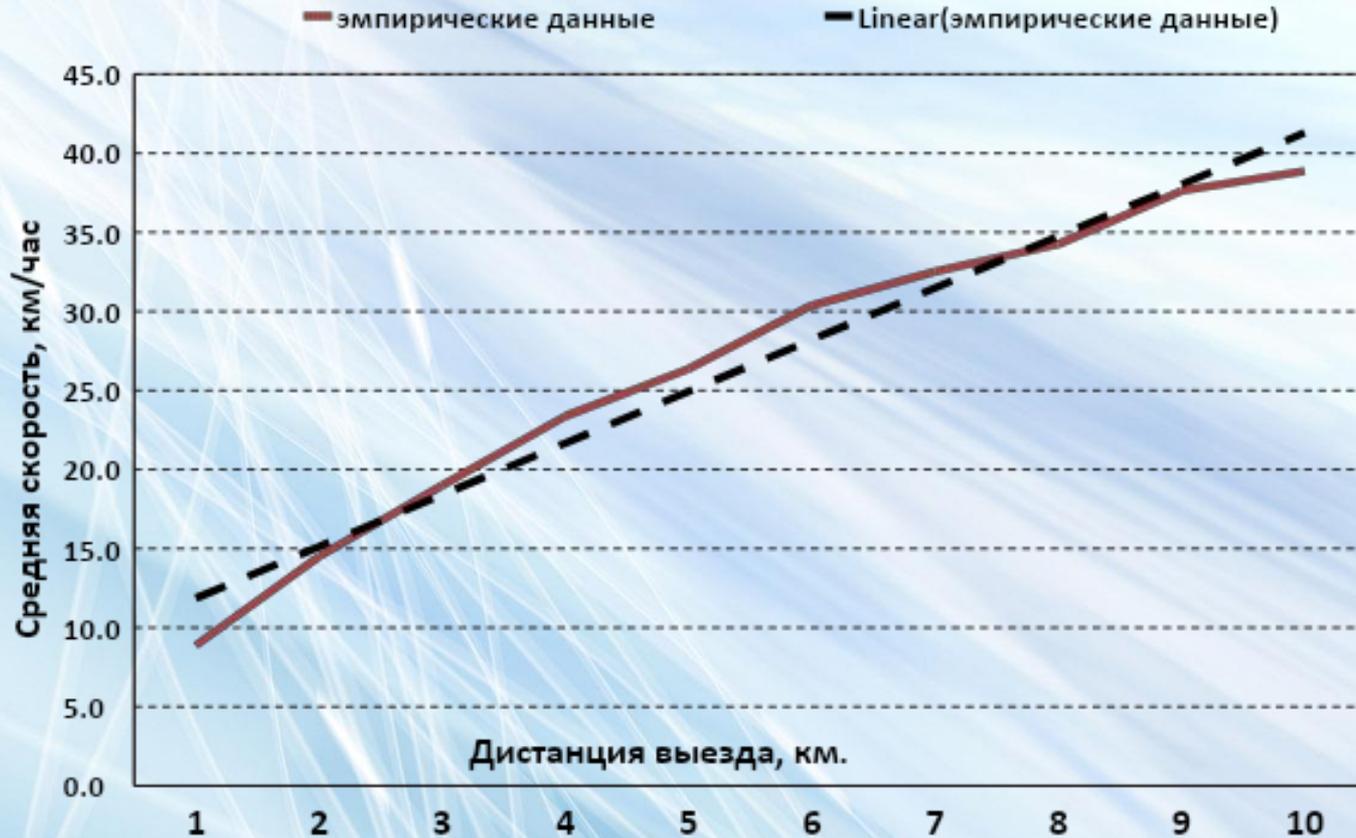
Расчет требуемого количества пожарных депо для города Москвы



Зависимость числа пожарных депо от времени следования пожарных подразделений к месту вызова при различной средней скорости движения по городу



Распределение средней скорости движения в зависимости от дистанции выезда (средние значения для 2006-2013 г.г.) в Санкт-Петербурге



СШ А



Германия



Абу Даби



Пуэрто Рико

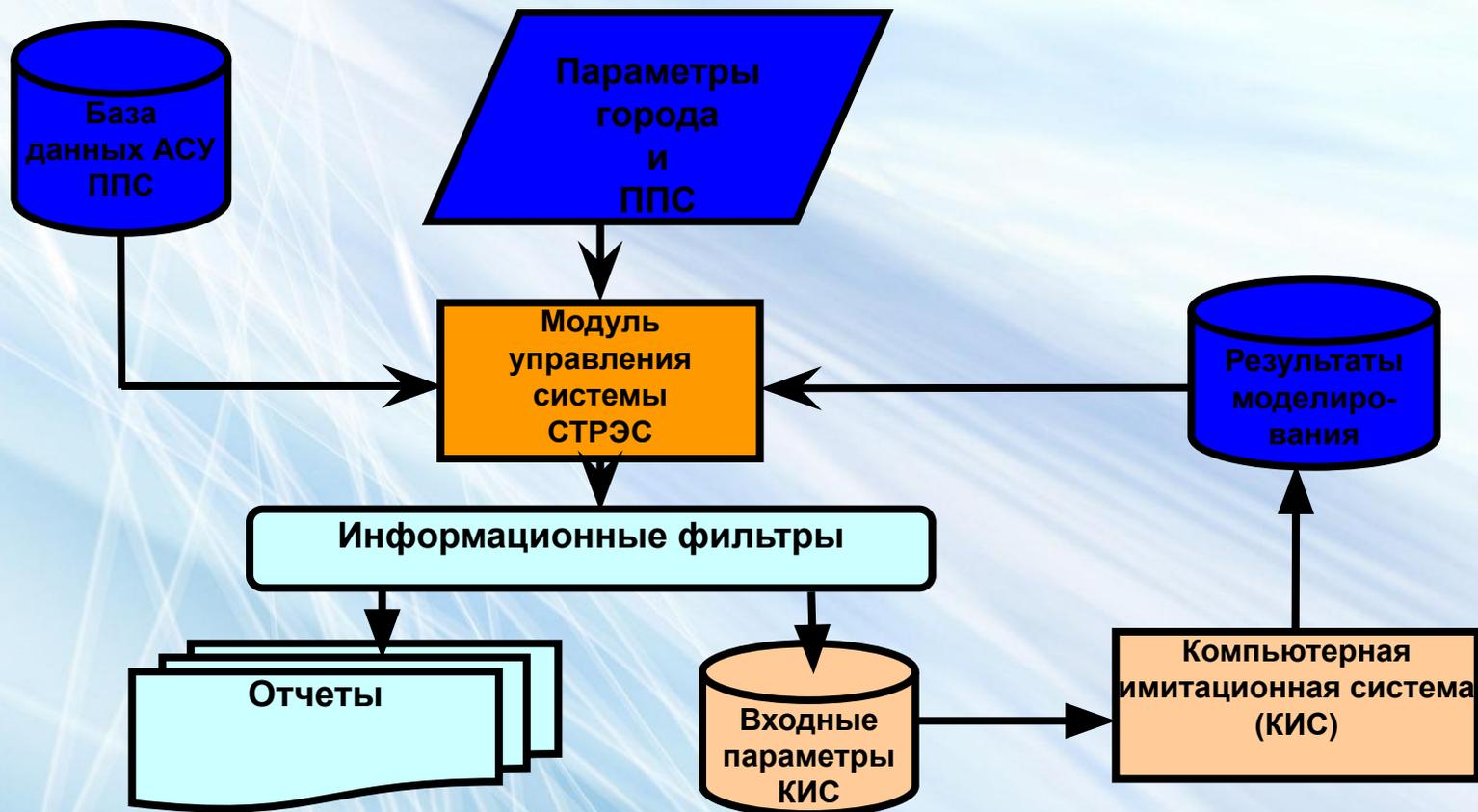
Сингапур



Голландия



Структура системы СТЭС



Общая структура имитационной системы КОСМАС

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (регулируемые параметры)

Параметры города:

- топография
- уличная сеть
- скорости движения
- основные объекты
- и др.

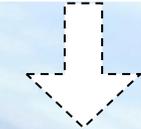
Параметры ППС:

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

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, времени сбора и выезда, времени следования, времени ликвидации причины вызова

Целевая
Установка



Программа
проведения
экспериментов

**МОДУЛЬ
УПРАВЛЕНИЯ
КИС**

Обработка
результатов

Анализ
результатов

Варианты
решений

МОДЕЛИРУЮЩИ АЛГОРИТМ

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

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

Моделирование времени и
процесса сбора и выезда
оперативных отделений по вызову

Моделирование процесса
следования оперативных
отделений к месту вызова

Моделирование времени
и процесса ликвидации причины
вызова

Моделирование спец. операций
конкретной аварийной службы
(доставка пострадавшего в
больницу, реабилитация
отделений и другие операции)

Моделирование процесса
следования отделений к месту
дислокации или на следующий
вызов

Общая схема оперативного и стратегического управления ППС

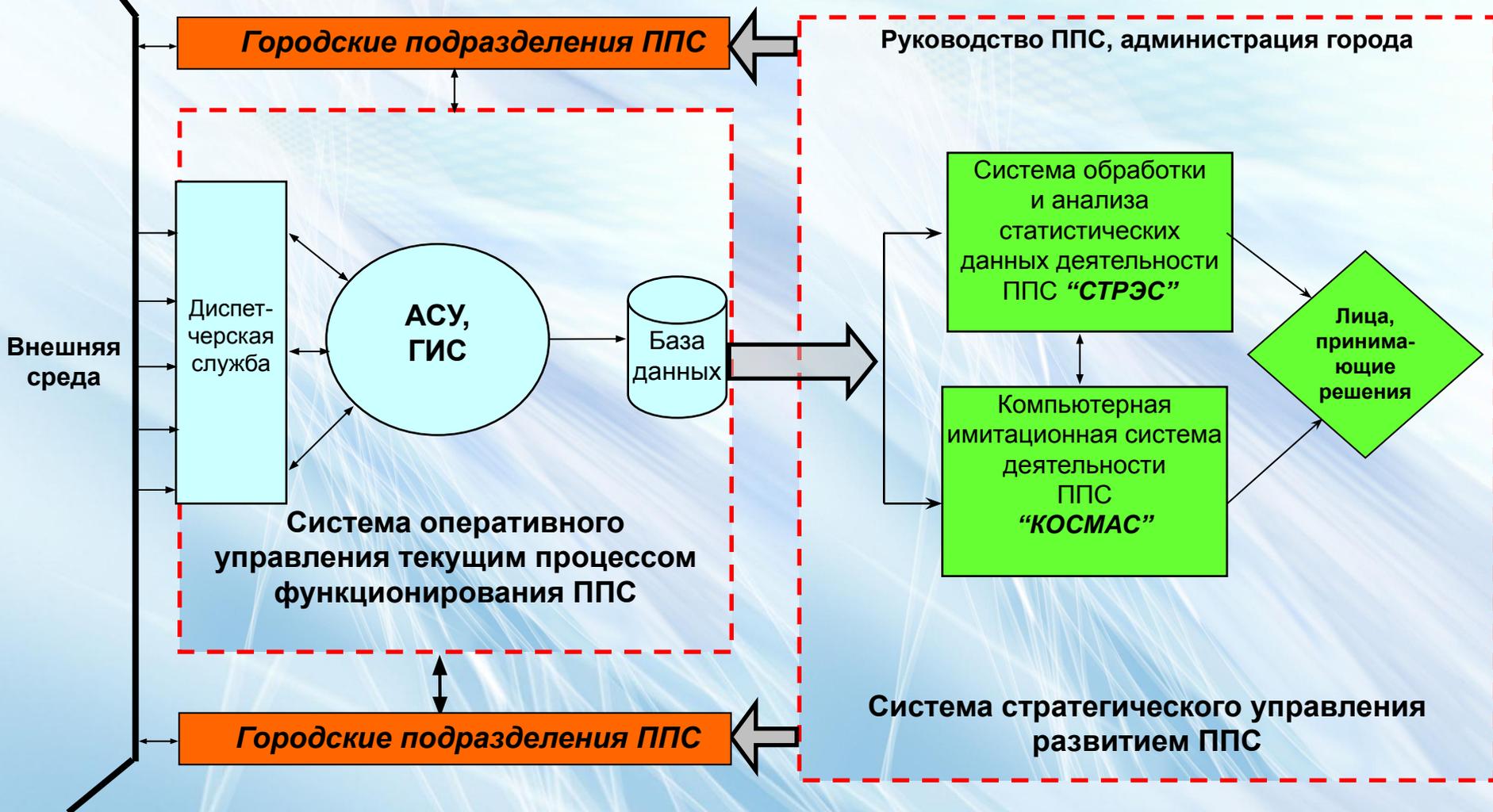
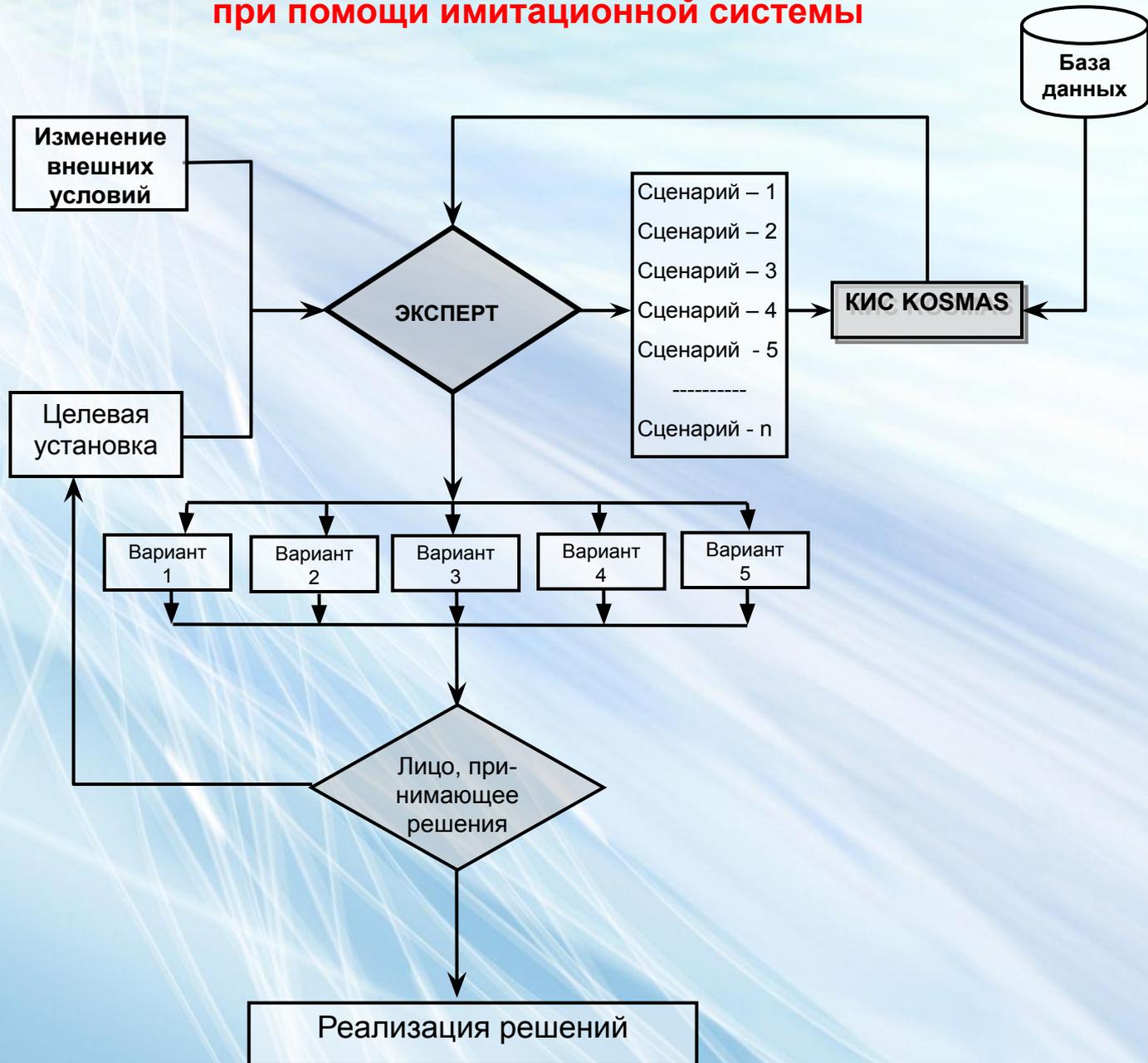


Схема проведения экспертизы деятельности ППС при помощи имитационной системы



Экономические оценки содержания аварийно-спасательных служб в городах

Средняя стоимость ежегодного содержания одного оперативного отделения

Страна	Вид экстренной службы	Стоимость содержания
Германия	Скорая помощь	120-250 тыс. €
США	Пожарно-спасательная Полиция	250-750 тыс. \$ 100-200 тыс. \$

Некоторые параметры Токийского пожарно-спасательного гарнизона

ТОКИО (2001 год)	
Население города, тыс.чел.	12022
Территория города, кв.км.	1750
Общее число вызовов	1092843
- медицинская помощь	606695
- прочие	461796
- техническая помощь	17419
- пожары	6933
Бюджет гарнизона 2 108 000 000 \$ 4 % от городского бюджета	