
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ОПЕРАТИВНУЮ ОБСТАНОВКУ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

**А.С. Артамонов, кандидат физико-математических наук, доцент;
М.А. Симонова;
В.А. Плотников.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены вопросы обработки статистических данных, характеризующих оперативную обстановку. Предложена методика моделирования системы с помощью корреляционного и регрессионного анализов и пути выработки управленческого решения для каждого подразделения, дислоцирующегося на определенной территории со сложившейся в ней обстановкой.

Ключевые слова: статистика, статистические данные, оперативная обстановка, методика моделирования

PROCESSING OF THE STATISTICAL DATA CHARACTERIZING OPERATIVE CONDITIONS IN SAINT-PETERBURGE

A.S. Artamonov; M.A. Simonova; V.A. Plotnikov.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Questions of processing of the statistical data characterising operative conditions are considered. Are offered a technique of modelling of system by means of correlation and regression analyses and a way of development of the administrative decision for each division deployed in certain territory with conditions which have developed in it.

Key words: statistics, statistical data, operative conditions, a modelling technique

В настоящий момент в России и, в частности в Санкт-Петербурге, складывается неблагоприятная пожарная обстановка, показатели которой превышают средние российские показатели, о чем свидетельствует статистика по пожарам и последствиям от них.

Условия и результаты деятельности МЧС России характерно отражает статистика по пожарам и чрезвычайным ситуациям (ЧС), изучающая количественную сторону массовых явлений и процессов.

На сегодняшний день показатели, приводимые в статистических данных, лишь констатируют факты, при этом управленческие решения принимаются с учетом обстановки за прошедшие годы, а не ее прогнозов, созданных с помощью математических моделей, что в целом не лучшим образом отражается на безопасности того или иного района.

Правильно собранные данные не позволяют автоматически сделать теоретические и практические выводы, а только предоставляют нам информацию, которую необходимо

проанализировать. Для этого необходимо обобщить имеющуюся информацию, теоретически осмыслить, осуществить необходимые статистические расчеты.

В реальности информация о вероятностях случайных событий и распределения случайных величин отсутствует, а все необходимые вероятностные характеристики случайных событий и величин оцениваются на основе проводимых экспериментов и наблюдений [1]. В этой связи может помочь математическая статистика. Так как у статистики несколько определений, то под статистикой следует понимать раздел математики, посвященный методам анализа статистических данных.

Из определения видно, что исходным «сырьем» для статистического исследования является совокупность результатов наблюдений (опытов, испытаний или экспериментов).

Как правило, одна величина является случайной функцией от других величин. Статистические связи между явлениями, оценки влияния различных факторов и т.п. изучаются с помощью проведения различных видов анализов. Однако наиболее часто используемым является метод линейной регрессии. Изучение зависимости признака от предикторных переменных может привести к отсеиванию незначительных и акцентировать внимание лица, принимающего решение, на действительно важных моментах. Это стало основным аргументом для проведения регрессионного анализа статистических данных Государственной противопожарной службы.

Регрессионный анализ – статистический метод исследования зависимости (регрессии) между зависимым признаком Y и независимыми (регрессорами, предикторами) t_1, t_2, \dots, t_i [2].

На основании сказанного, была разработана методика оценивания оперативной обстановки на основе регрессионного анализа, которая состоит из следующих шагов:

- анализировать статистические данные в отношении показателей, которые необходимо улучшить;
- из множества данных выбрать только те, которые оказывают значительное влияние на основные показатели оперативной обстановки;
- выбрать вид анализа (линейный, нелинейный, однофакторный, множественный и т.д.);
- получить модель регрессии;
- проверить полученную модель на ее адекватность;
- вычислить расчетные значения;
- выработать предложения по совершенствованию системы.

Данная методика позволяет выявить факторы наиболее сильно влияющие на обстановку с пожарами и вычислить их количественные показатели на основе полученных моделей регрессии.

Задачей моделирования является выявление зависимости основных показателей деятельности подразделений МЧС России, от факторов, влияющих на них.

Так были рассмотрены следующие зависимости:

- количество погибших и пострадавших на пожарах людей от количества пожаров;
- среднего времени подачи первого ствола от среднего времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара.

Исходя из статистических данных, количество погибших людей на пожарах Y (чел.) в Санкт-Петербурге будет зависеть от количества пожаров S (шт.) (табл. 1).

В результате получились результаты регрессионного анализа относительно зависимой переменной Y , а именно при количестве наблюдений $n = 18$, значение множественного коэффициента корреляции $R = 0,701$, близкое к единице, указывает на тесную взаимосвязь количества погибших с используемой здесь переменной. Множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,49$ свидетельствует о том, что вариация исследуемых зависимых переменных на 49 % зависит от изменчивости включенных в модель переменных. Фактическое значение критерия Фишера $F = 15,49$, при числе степеней свободы, $df = 1,16$, значительно превышает его критическое значение, которое равно 4,49. Это дает нам право принять данные расчеты.

Таблица 1. Статистические данные количества пожаров и количества погибших на них людей по Санкт-Петербургу за 2009 г.

Район	Кол-во пожаров, S	Кол-во погибших, Y
Василеостровский	353	24
Выборгский	489	21
Центральный	240	11
Приморский	345	16
Калининский	167	6
Кировский	161	9
Колпинский	321	8
Красногвардейский	146	5
Красносельский	292	9
Кронштадтский	313	16
Адмиралтейский	329	10
Московский	262	19
Невский	316	15
Петроградский	160	11
Петродворцовый	238	7
Пушкинский	177	14
Курортный	344	11
Фрунзенский	40	2

Таким образом, оценена модель линейной регрессии, характеризующая зависимость между количеством погибших и количеством пожаров:

$$Y^* = 1,83 + 0,04 \cdot S, \quad S \in (40; 489). \quad (1)$$

Как видно из полученной модели (1), количество погибших в среднем увеличивается на 0,04 человека при увеличении числа пожаров.

Качество полученной модели можно оценить, сравнив фактические и рассчитанные по модели значения количества погибших и вычислив величины остатков (табл. 2).

Четыре последние строки таблицы содержат минимальное, максимальное, среднее и медианное значение показателей. Равенство нулю среднего значения остатков свидетельствует о корректности расчетов.

Зависимость количества пожаров от отдельных факторов можно оценить, рассчитав коэффициент частной корреляции, который равен $r = 0,701$ и построить соответствующий график (рис. 1).

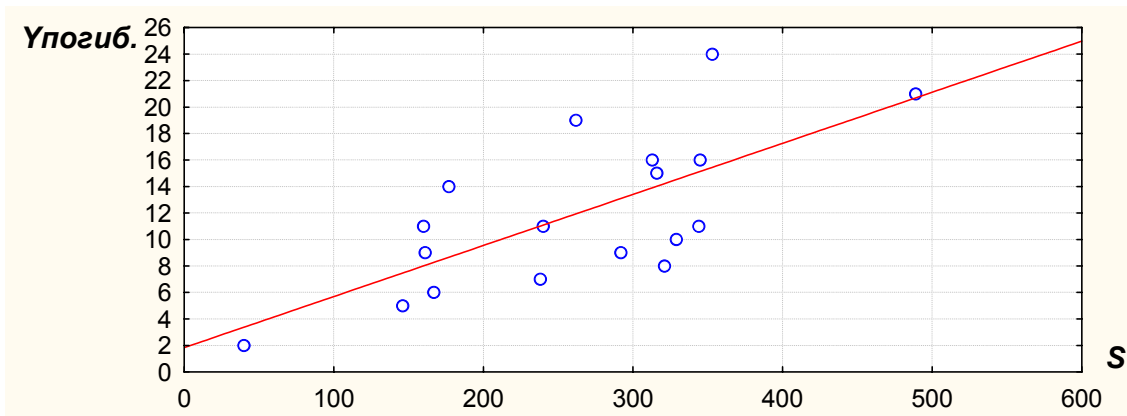


Рис. 1. График, характеризующий зависимость между количеством погибших и количеством пожаров, отвечающих доверительной вероятности $\gamma = 0,95$

Таблица 2. Расчетные значения количества погибших и отклонений фактических данных от этих значений

Район	Фактические значения Y_i	Расчетные значения Y_i^*	Остатки $Y_i - Y_i^*$
Василеостровский	24	15,45	8,55
Выборгский	21	20,69	0,31
Центральный	11	11,09	-0,09
Приморский	16	15,14	0,86
Калининский	6	8,27	-2,27
Кировский	9	8,04	0,96
Колпинский	8	14,21	-6,21
Красногвардейский	5	7,46	-2,46
Красносельский	9	13,09	-4,09
Кронштадтский	16	13,91	2,09
Адмиралтейский	10	14,52	-4,52
Московский	19	11,94	7,06
Невский	15	14,02	0,98
Петроградский	11	8,004	2,99
Петродворцовый	7	11,012	-4,01
Пушкинский	14	8,66	5,34
Курортный	11	15,1	-4,1
Фрунзенский	2	3,38	-1,38
Минимум	2	3,38	-6,21
Максимум	24	20,69	8,55
Среднее	11,89	11,89	0,00000
Медиана	11	12,52	0,11

Итак, при сокращении числа пожаров количество погибших будет уменьшаться.

Если рост количества пожаров влияет на увеличение погибших людей, то можно предположить, что также будет увеличиваться число пострадавших во время пожаров (табл. 3).

Результаты регрессионного анализа: $n = 18$; $R = 0,79$; $R^2 = 0,62$; $F = 26,46$; $df = 1,16$; $p = 0,0001$; скорректир. $R^2 = 0,6$; $\sigma^* = 6,36$; $\beta_0^* = -0,53$; $\sqrt{D^*(\beta_0^*)} = 4,101$; $t(16) = -0,128902$; $p < 0,899$.

Критерий Фишера значительно превышает критическое значение, которое равно 3,03.

Таблица 3. Статистические данные по количеству пострадавших, в зависимости от количества пожаров

Район	Кол-во пожаров, S	Кол-во пострадавших, $Y_{постр.}$
Василеостровский	353	30
Выборгский	489	28
Центральный	240	29
Приморский	345	30
Калининский	167	16
Кировский	161	9
Колпинский	321	31
Красногвардейский	146	7
Красносельский	292	15

Район	Кол-во пожаров, S	Кол-во пострадавших, $Y_{постр.}$
Кронштадтский	313	27
Адмиралтейский	329	20
Московский	262	29
Невский	316	25
Петроградский	160	3
Петродворцовый	238	10
Пушкинский	177	12
Курортный	344	21
Фрунзенский	40	2

Модель регрессии будет иметь вид:

$$Y^* = -0,53 + 0,08 \cdot S, \quad S \in (2; 31). \quad (2)$$

Итак, как видно из выражения (2), увеличение количества пожаров приведет к увеличению среднего количества пострадавших на 0,08 человека.

Сравним фактические и рассчитанные значения (табл. 4).

Таблица 4. Расчетные значения количества пострадавших и отклонений фактических данных от этих значений

Район	Фактические значения, Y_i	Расчетные значения, Y_i^*	Остатки, $Y_i - Y_i^*$
Василеостровский	30	26,06	3,94
Выборгский	28	36,31	-8,31
Центральный	29	17,55	11,45
Приморский	30	25,46	4,54
Калининский	16	12,05	3,95
Кировский	9	11,599	-2,599
Колпинский	31	23,65	7,35
Красногвардейский	7	10,47	-3,47
Красносельский	15	21,47	-6,47
Кронштадтский	27	23,05	3,95
Адмиралтейский	20	24,25	-4,25
Московский	29	19,21	9,79
Невский	25	23,28	1,72
Петроградский	3	11,52	-8,52
Петродворцовый	10	17,399	-7,399
Пушкинский	12	12,8	-0,8
Курортный	21	25,38	-4,38
Фрунзенский	2	2,48	-0,48
Минимум	2	2,48	-8,52
Максимум	31	36,31	11,45
Среднее	19,1	19,1	0
Медиана	20,5	20,34	-0,64

Зависимость количества пострадавших от количества пожаров оценим, рассчитав коэффициент частной корреляции $r=0,84$, построим соответствующий график (рис. 2).

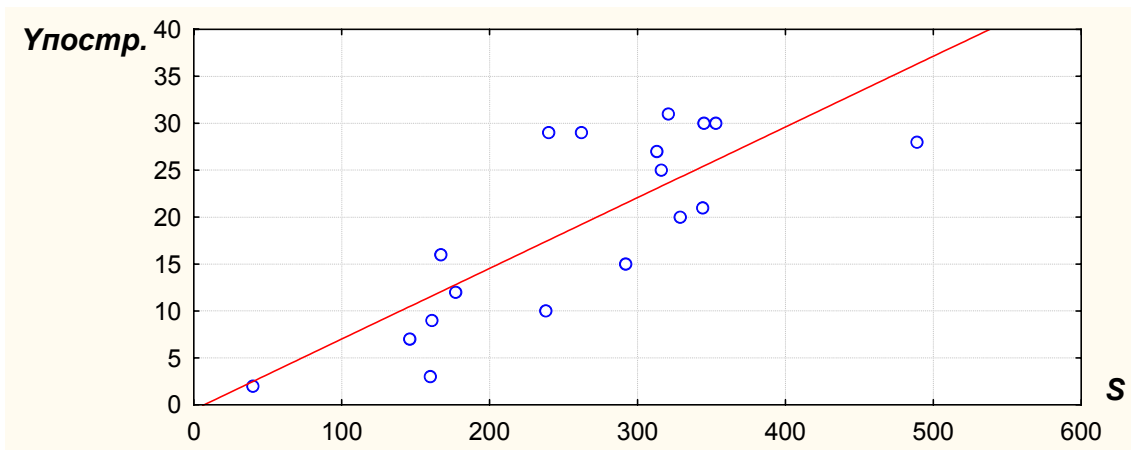


Рис. 2. График, характеризующий зависимость между пострадавшими на пожарах и количеством пожаров, отвечающих доверительной вероятности $\gamma = 0,95$

Также была рассмотрена зависимость среднего времени, затраченного на подачу первого ствола на тушение пожара $t_{под.1ств\text{ола}}$ от среднего времени прибытия первого подразделения к месту пожара $t_{пр}$ (табл. 5).

Таблица 5. Статистические данные среднего времени оперативного реагирования по Санкт-Петербургу

Район	Показатели оперативного реагирования, мин.			
	$t_{пр.}$	$t_{под. 1 ст\text{вола}}$	$t_{локал.}$	$t_{ликв.}$
Василеостровский	7,18	7,97	18,04	35,1
Выборгский	9,45	5,91	23,24	53,09
Центральный	7,92	6,8	20,58	51,96
Приморский	9,15	5,73	20,38	44,43
Калининский	9,63	6,72	16,14	36,08
Кировский	9,47	6,56	14,47	35,08
Колпинский	10,08	6,39	21,44	41,28
Красногвардейский	9,61	6,54	15,23	39,8
Красносельский	10,86	6,79	22,36	48,2
Кронштадтский	5,16	3,78	23,11	18,93
Адмиралтейский	6,92	5,66	15,06	65,26
Московский	9,42	6,13	13,54	31,7
Невский	8,69	6,38	15,64	31,6
Петроградский	7,49	7,12	16,76	33,9
Петродворцовый	8,89	4,83	22,59	53,61
Пушкинский	10,74	7,1	25,02	34,5
Курортный	9,55	5,39	35,45	45,94
Фрунзенский	9,66	6,54	15,09	30,03
Всего по городу	9,13	6,36	19,3	39,56

Результаты анализа: $n = 18$; $R = 0,93$; $R^2 = 0,87$; $F = 108,05$; $df = 1,16$; $p = 0$; скорректир. $R^2 = 0,86$; $\sigma^* = 0,78$; $\beta_0^* = 5,45$; $\sqrt{D^*(\beta_0^*)} = 1,009$; $t(16) = 5,4$; $p < 0,000059$.

Критерий Фишера значительно превышает критическое значение.

Модель регрессии имеет вид:

$$t_{\text{под.1 ствола}} = 5,45 + 0,91t_{\text{пр}}, t_{\text{пр}} \in (9,85; 18,77). \quad (3)$$

Итак, как видно из модели (3), уменьшение среднего времени прибытия первых пожарных подразделений к месту пожара на одну минуту приведет к уменьшению среднего времени подачи первого ствола на 0,91 мин.

Сравним фактические и рассчитанные значения (табл. 6).

Таблица 6. Расчетные значения среднего времени подачи первого ствола и отклонений фактических данных от этих значений

Район	Фактические значения $t_{\text{под.1 ствола}}$	Расчетные значения $t_{\text{под.1 ствола}}^*$	Остатки $t_{\text{под.1 ствола}} - t_{\text{под.1 ствола}}^*$
Василеостровский	14,67	13,99	0,68
Выборгский	16,46	16,12	0,34
Центральный	15,31	14,51	0,79
Приморский	17,54	17,72	-0,18
Калининский	17,23	16,89	0,34
Кировский	15,23	15,49	-0,26
Колпинский	16,08	15,56	0,52
Красногвардейский	18,77	17,44	1,33
Красносельский	16,92	16,89	0,03
Кронштадтский	9,85	10,96	-1,11
Адмиралтейский	13	12,7	0,3
Московский	17,08	18,21	-1,13
Невский	16,38	15,76	0,62
Петроградский	14,54	14,38	0,16
Петродворцовый	15	15,63	-0,63
Пушкинский	16,38	16,19	0,19
Курортный	14,46	16,12	-1,66
Фрунзенский	18,77	19,12	-0,35
Минимум	9,85	10,96	-1,66
Максимум	18,77	19,12	1,33
Среднее	15,76	15,76	0
Медиана	16,23	15,94	0,18

Построим графики зависимости среднего времени ликвидации пожара от среднего времени прибытия первого пожарного подразделения (рис. 3).

Методика моделирования системы с помощью корреляционного и регрессионного анализов позволяет научно обоснованно выявить факторы, влияющие на обстановку, сложившуюся в данное время, и спрогнозировать ее с учетом выявления значительных параметров, а также выработать управленческое решение для каждого подразделения, дислоцирующегося на определенной территории со сложившейся в ней обстановкой.

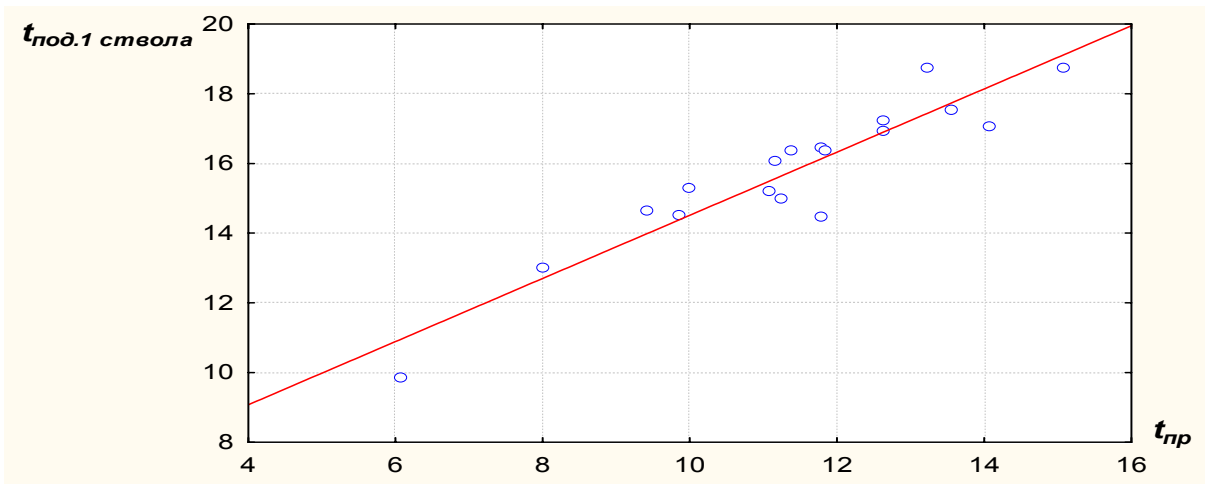


Рис. 3. График, характеризующий зависимость между средним временем подачи первого ствола и средним временем прибытия подразделений, отвечающих доверительной вероятности $\gamma = 0,95$

Литература

1. Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2004. 461 с.
2. URL: <http://www.ecsoman.edu.ru> (дата обращения: 10.09.2012).