

Корреляционный анализ параметров функционирования пожарно-спасательных подразделений

О.С. Малютин¹, Р.Ш. Хабибулин²

¹*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

²*Академия ГПС МЧС России*

Аннотация: В статье рассматривается опыт применения корреляционного анализа для оценки характера связей между различными параметрами организации и деятельности пожарно-спасательных гарнизонов на территории России. Проведен анализ абсолютных и относительных параметров. Показано влияние размеров зон обслуживания пожарных подразделений на прочие параметры реагирования, а также негативное влияние плотности населения и количества пожаров на скорости следования пожарных автомобилей. В работе предложен метод расчета застроенной площади населенных пунктов и метод расчета коэффициента непрямолинейности улично-дорожной сети по произвольным маршрутам.

Ключевые слова: пожарная охрана, анализ, пожарная статистика, крупный город, урбанистика.

Введение

Практическая задача оценки требуемого количества пожарно-спасательных подразделений и их оптимальных мест размещения является одной из актуальных проблем в области организационного проектирования пожарно-спасательных гарнизонов (далее – ПСГ). В настоящее время накоплен заметный опыт решения данной задачи. Проведенный анализ [1] показывает, что, при определении численности пожарных депо, рекомендуется учитывать следующие факторы: площадь территории населенного пункта, средние скорости следования пожарных подразделений, коэффициент непрямолинейности улично-дорожной сети, а также ряд относительных параметров [2–5]. Однако возникает вопрос: как именно связаны между собой эти параметры? Понимание внутренних связей системы оперативного реагирования на пожары позволит построить более точные модели ее функционирования.

Изучение проведенных исследований и повседневный опыт тушения пожаров подтверждает, что одним из ключевых факторов, определяющим

необходимую численность пожарных подразделений на территории населенных пунктов, является их застроенная площадь. Проверке истинности этой гипотезы, в том числе, и посвящена данная работа.

Проверка гипотезы осуществляется с использованием метода корреляционного анализа на основе статистических данных о реагировании пожарно-спасательных подразделений на пожары в крупных городах Российской Федерации в 2019 году. Корреляционный анализ дополнен методами геоаналитики: уточненный (модифицированный?) метод расчета застроенной площади населенных пунктов и метод расчета коэффициента непрямолинейности улично-дорожной сети по произвольным маршрутам.

1. Исходные данные

1.1. Данные о пожарах

В качестве источника данных о пожарах на территории РФ использован набор данных за 2019 год, сформированный на основе сведений из карточек учета пожаров ФБД "Пожары". Пример данных приведен в табл. 1.

Таблица № 1

Пример данных о пожарах

Дата/время	Код региона	Код органа – составителя карточки	Вид населенного пункта	Расстояние, км	Гибель	Время прибытия, мин	Площадь пожара, м ²
2012-06-21 15:22:00	141	60	1	2	0	4	0
2013-08-01 03:04:00	1122	62	1	4	0	9	180
2016-09-11 17:25:00	1181	40	1	3	0	5	0

Исследования статистики пожаров [4] показывают, что параметры реагирования пожарно-спасательных подразделений имеют тенденцию к изменению год от года. Поэтому в работе были использованы данные за 2019 год, как наиболее актуальные из имеющихся сведений для годов с полными

наборами данных (для 2020 года имеются записи только за первые десять месяцев).

Набор данных обогащен сведениями о расчетной скорости следования пожарных подразделений полученными по формуле:

$$V_{\text{след}} = l/t_{\text{след}} \quad (1)$$

где $V_{\text{след}}$ – расчетная скорость следования пожарного подразделения, [км/ч]; l – расстояние от пожарного депо до места пожара (столбец «Расстояние» табл. 1), км; $t_{\text{след}}$ – время следования пожарного подразделения, [мин] (столбец «Время прибытия» табл. 1).

1.2. Пожарно-спасательные подразделения.

Сведения о пожарно-спасательных подразделениях были предоставлены Главным управлением пожарной охраны МЧС России. Пример записей использованного набора данных показан в табл. 2.

Таблица № 2

Пример данных о пожарных подразделениях

№ п/п	Территориальный орган	Наименование подразделения	Широта	Долгота	На дежурстве (личный состав)	Техника на дежурстве
5283	ГУ МЧС России по Пермскому краю	МПО с. Березники	56.9827	55.5607	1	1

1.3. Площади застроенных территорий городов

Сведения о геопространственных параметрах городов и территорий (геометрия и расположение) получены из открытого картографического сервиса *Open street map* (www.openstreetmap.org). В качестве инструмента получения данных использована библиотека *Python OSMnx* [6, 7].

Расчетные площади застроенных территорий городов были вычислены с использованием методов пространственного анализа путем вычитания из

общей площади полигона границ города полигонов территорий не относящихся к застроенной (рис. 1). К числу таких территорий были отнесены: озера, реки и их берега, болота, сельскохозяйственные поля и угодья, луга, леса, городские рощи и лесопарковые зоны, пустыри и др.



Рис. 1. – Территория города Новосибирск. Светло-синий – границы города, темно-синий – не учитываемые в расчете территории

Для удобства далее по тексту под площадью территории города будет пониматься именно застроенная площадь.

1.4. Коэффициенты непрямолинейности улично-дорожной сети.

Коэффициент непрямолинейности улично-дорожной сети $K_{непр}$ каждого города рассчитан как среднее значение коэффициента непрямолинейности 500 маршрутов для случайным образом выбранных пар точек на территории города (рис. 2).

$$K_{\text{непр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{L_{\text{пути}}^i}{L_{\text{пр}}^i} \quad (2)$$

где, n – количество маршрутов в расчете; $L_{\text{пути}}^i$ – длина пути, пройденного пожарными автомобилями по i -му маршруту, м; $L_{\text{пр}}^i$ – длина по воздушной линии между начальной и конечной точками i -го маршрута, м.

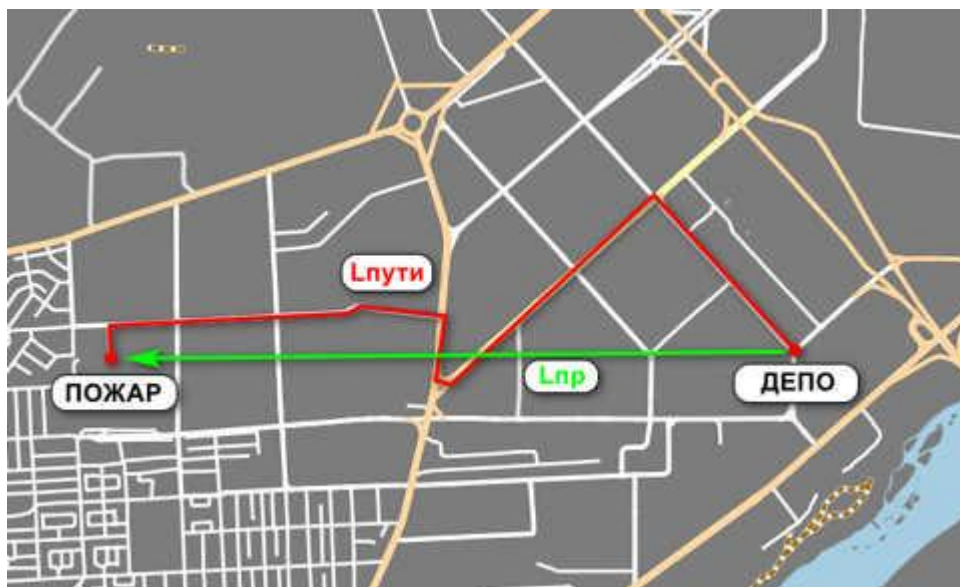


Рис. 2. – Расчетная схема коэффициента непрямолинейности маршрута следования

1. 5. Численность населения в городах

В соответствии с таблицей 4.1 СП 42.13330.2016 «Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», к категории крупных городов, в зависимости от проектной численности населения на расчетный срок, относятся городские поселения с численностью более 1 млн. человек. Используя сведения содержащиеся в датасете «Населенные пункты России: численность населения и географические координаты» [8], установлено, что к таковым относятся следующие города: Екатеринбург, Новосибирск, Воронеж, Ростов-на-Дону, Красноярск, Нижний Новгород, Пермь, Омск, Казань, Челябинск, Волгоград,

Самара, Москва, Санкт-Петербург. Такие города, как Москва и Санкт-Петербург, имеют значительную площадь, численность населения и неоднородность застройки территорий по сравнению с прочими, в связи с этим для проведения корреляционного анализа они были разбиты на составляющие их муниципальные единицы – округа для Москвы и районы для Санкт-Петербурга.

2. Методы исследования

В качестве основных методов исследования применены методы, предложенные в работе [3]. Так для оценки относительных параметров пожарно-спасательных служб были использованы следующие относительные параметры:

- число пожаров, приходящихся в единицу времени на единицу населения, R_1 [пожаров / 10^3 чел год];
 - численность населения, приходящаяся на одно пожарное депо, Q_0 [10^3 чел / депо];
 - площадь застроенной территории города, приходящаяся на одно депо, S_0 [км² / депо];
 - число пожаров, приходящихся в единицу времени на одно пожарное депо, N_1 [пожар / депо год];
 - число пожарных автомобилей (далее – ПА) в боевом расчете, приходящихся на одно пожарное депо, C_0 [ПА / депо];
 - число пожарных в боевом расчете, приходящихся на одно пожарное депо, C_2 [пожарные/депо];
 - число жертв, приходящихся на один пожар, R_2 [жертвы / 100 пожаров];
-

- числе жертв пожаров, приходящихся в единицу времени на человека, R_3 [жертвы / 10^5 чел.год].

Помимо названных показателей дополнительно были определены следующие:

- плотность населения на один квадратный километр застроенной площади, P_0 [10^3 чел/км²];
- плотность пожаров на один квадратный километр застроенной площади, P_1 [10^3 чел/км²];
- среднее время прибытия пожарных подразделений на территории города, T_0 [мин];
- средняя скорость следования пожарных автомобилей, V_0 [км/ч].

При оценке корреляции параметров реагирования был использован коэффициент корреляции Пирсона [9], реализованный в библиотеке *Python Pandas*. При этом, сила корреляционной связи оценивалась в соответствии со шкалой Чэддока (табл. 3) [10].

Таблица № 3

Шкала Чэддока

Показатели тесноты связи	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-0,99
Характеристика силы связи	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая

Визуализация результатов осуществлялась с использованием средств библиотеки *Python Seaborn*.

3. Результаты исследования

3.1 Абсолютные значения параметров пожарно-спасательных служб в городах

В табл. 4 приведены абсолютные значения параметров реагирования подразделений пожарной охраны в 14 крупных городах России, из которых 2 – города федерального значения. Последние представлены не единой территорией, а разбиты на составляющие их муниципальные единицы. Таким образом, в анализе всего 40 записей о городах и административных единицах городов федерального значения.

Таблица № 4

Абсолютные значения параметров городов и их ПСГ

Город	Численность, тыс. чел	Площадь, км ²	$K_{всп}$	Депо	ПА	Пожарных	Пожаров	Погибших
Москва, Южный АО	1777	111.5	1.49	13	37	162	476	18
Новосибирск	1618	353	1.49	16	42	185	3131	37
Екатеринбург	1516	466.1	1.37	15	46	186	1889	48
Москва, Восточный АО	1507	98.1	1.47	12	31	138	498	9
Москва, Юго-Западный АО	1427	81.9	1.45	4	13	47	292	14
Москва, Северо-Восточный АО	1415	88.1	1.49	6	13	68	486	17
Москва, Юго-Восточный АО	1385	111.6	1.59	11	25	104	525	15
Москва, Западный АО	1369	146.1	1.48	14	42	141	510	19
Нижний Новгород	1277	236	1.47	26	67	290	578	30
Казань	1206	416	1.41	14	42	204	1465	41
Омск	1178	505.3	1.47	18	43	214	2537	40
Москва, Северный АО	1161	85.8	1.55	10	26	82	484	18
Самара	1157	301	1.36	14	39	169	2399	37
Челябинск	1135	327.4	1.39	13	36	130	2513	37
Ростов-на-Дону	1125	303.4	1.45	14	44	186	1515	28
Красноярск	1067	301.2	1.47	12	31	160	2566	49
Воронеж	1054	338.6	1.42	14	48	213	1304	26
Пермь	1048	327.8	1.46	13	34	173	1176	35
Волгоград	1030	649.6	1.35	14	46	194	2621	37
Москва, Северо-Западный АО	991	61.4	1.65	7	21	73	360	11
Москва, Центральный	770	63.1	1.48	15	52	200	316	7

Город	Численность, тыс. чел	Площа дь, км ²	$K_{непр}$	Депо	ПА	Пожарны х	Пожаро в	Погибши х
АО								
Санкт-Петербург, Приморский р-н	550	74.3	1.62	6	21	113	622	6
Санкт-Петербург, Калининский р-н	530	37.8	1.52	4	13	41	733	8
Санкт-Петербург, Невский р-н	506	55.4	1.72	6	15	75	797	9
Санкт-Петербург, Выборгский р-н	493	81.5	1.43	6	20	83	727	9
Санкт-Петербург, Фрунзенский р-н	405	34.6	1.41	2	7	40	417	6
Санкт-Петербург, Красносельский р-н	366	71.4	1.85	3	9	43	545	5
Санкт-Петербург, Красногвардейский р-н	348	48.4	1.57	2	4	21	536	14
Санкт-Петербург, Кировский р-н	340	40	1.46	3	6	31	591	8
Санкт-Петербург, Московский р-н	337	55.8	1.59	4	8	55	580	12
Москва, Зеленоградский АО	240	25.3	1.69	6	19	68	141	1
Санкт-Петербург, Центральный р-н	221	15.8	1.6	4	10	42	423	6
Санкт-Петербург, Василеостровский р-н	209	19.5	1.49	2	4	17	371	4
Санкт-Петербург, Колпинский р-н	186	71.4	1.58	2	8	29	627	5
Санкт-Петербург, Пушкинский р-н	179	180.5	1.62	3	8	46	663	7
Санкт-Петербург, Адмиралтейский р-н	163	12.7	1.54	3	6	26	291	6
Санкт-Петербург, Петроградский р-н	137	15.2	1.56	3	6	27	335	4
Санкт-Петербург, Петродворцовый р-н	136	63.1	1.52	4	9	45	325	6
Санкт-Петербург, Курортный р-н	75	67.6	1.46	5	13	64	441	2
Санкт-Петербург, Кронштадтский р-н	44	14.4	1.64	2	7	27	99	0

Проведем корреляционный анализ данных показателей, дополнив приведенные в табл. 4 данные сведениями о плотности населения P_0 , среднем времени T_0 и скорости V_0 прибытия пожарных подразделений (рис. 3).

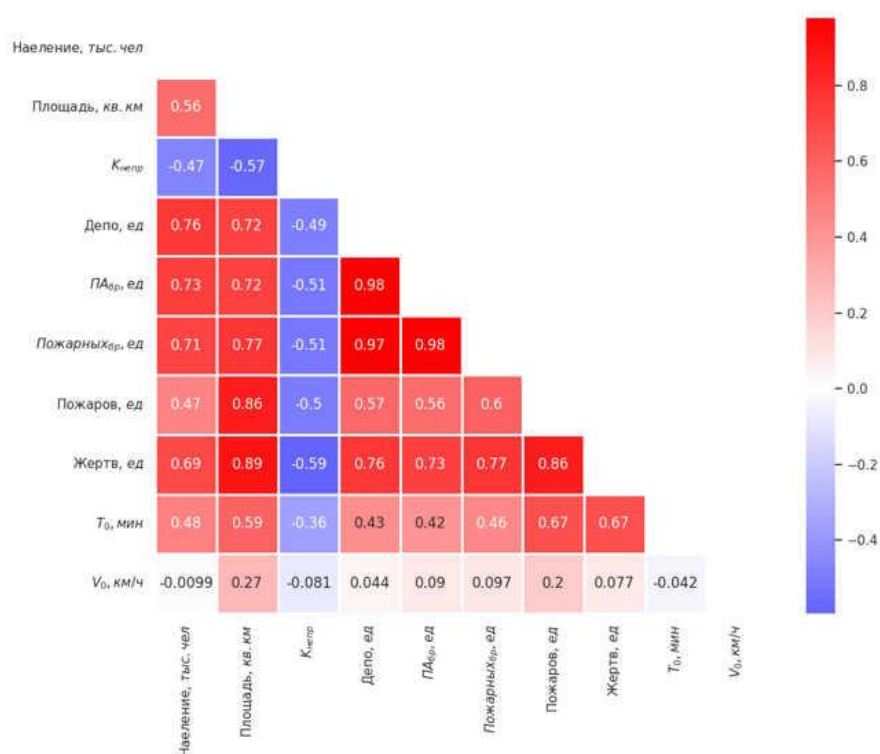


Рис. 3. – Корреляция между абсолютными параметрами функционирования пожарных подразделений

Не рассматривая очевидные связи, такие, как зависимость числа пожарных от количества пожарной техники в боевом расчете, можно сделать ряд выводов:

1. Определяющими параметрами являются площадь застройки территории и численность населения. От этих параметров зависят как показатели сложности обстановки с пожарами в городе, так и показатели функционирования ПСГ. При этом большее влияние оказывает застроенная площадь территории города.

2. Количество пожаров связано в большей степени с площадью города (коэффициент корреляции 0,86), а не с численностью его населения (коэффициент корреляции 0,47), что, вероятно, вызвано тем, что объектами пожаров зачастую служат не только жилые помещения, но и другие объекты защиты (производственные, торговые, административные и т.д.).

3. Есть сильная корреляция количества людей, погибающих на пожарах со всеми прочими факторами (от 0,69 до 0,89). При этом проявляется она заметно сильнее, чем для количества пожаров.

4. Можно отметить наличие заметной связи между показателями количества пожаров и погибших на них людей с показателями количества пожарных депо и их оснащённости (от 0,57 до 0,76), что отражает стремление органов власти повышать защищённость территорий от пожаров по мере увеличения их количества.

5. Время прибытия пожарных подразделений также подвержено влиянию большинства прочих факторов. Особый интерес в данном случае представляет связь времени прибытия с количеством пожаров и погибших на них людей (коэффициент корреляции для обоих показателей 0,67).

6. Имеется заметная отрицательная корреляция между коэффициентом непрямолинейности улично-дорожной сети и большинством прочих параметров (за исключением V_0). Для уточнения данной особенности требуется дополнительное исследование связи коэффициента непрямолинейности и прочих параметров функционирования ПСГ.

7. В целом, рассмотренные параметры оказывают мало влияния на скорости следования пожарных автомобилей. Лишь увеличение площади территории города до некоторой степени влияет на увеличение скорости следования (коэффициент корреляции 0,27).

Как было отмечено в работе [3], абсолютные показатели деятельности пожарной охраны дают нам достаточно мало информации, не позволяют объективно сравнивать между собой обстановку в населенных пунктах и делать выводы о закономерностях деятельности пожарной охраны. Рассмотрим относительные показатели деятельности ПСГ.

3.2. Относительные значения параметров ПСГ в городах

Результаты расчета относительных параметров функционирования ПСГ в городах России представлены в табл. 5.

Таблица № 5

Относительные параметры организации ПСГ в крупных городах

Город	P_0	P_1	R_1	Q_0	S_0	N_1	C_0	C_2	R_2	R_3
Волгоград	1.59	4	2.54	73.6	46.4	187	3.3	13.9	1.41	3.59
Воронеж	3.11	3.9	1.24	75.3	24.2	93	3.4	15.2	1.99	2.47
Екатеринбург	3.25	4.1	1.25	101.1	31.1	126	3.1	12.4	2.54	3.17
Казань	2.9	3.5	1.22	86.1	29.7	105	3	14.6	2.8	3.4
Красноярск	3.54	8.5	2.41	88.9	25.1	214	2.6	13.3	1.91	4.59
Москва, Восточный АО	15.36	5.1	0.33	125.6	8.2	42	2.6	11.5	1.81	0.6
Москва, Западный АО	9.37	3.5	0.37	97.8	10.4	36	3	10.1	3.73	1.39
Москва, Зеленоградский АО	9.48	5.6	0.59	40	4.2	24	3.2	11.3	0.71	0.42
Москва, Северный АО	13.53	5.6	0.42	116.1	8.6	48	2.6	8.2	3.72	1.55
Москва, Северо-Восточный АО	16.06	5.5	0.34	235.9	14.7	81	2.2	11.3	3.5	1.2
Москва, Северо-Западный АО	16.14	5.9	0.36	141.5	8.8	51	3	10.4	3.06	1.11
Москва, Центральный АО	12.2	5	0.41	51.3	4.2	21	3.5	13.3	2.22	0.91
Москва, Юго-Восточный АО	12.41	4.7	0.38	125.9	10.1	48	2.3	9.5	2.86	1.08
Москва, Юго-Западный АО	17.43	3.6	0.2	356.8	20.5	73	3.2	11.8	4.79	0.98
Москва, Южный АО	15.94	4.3	0.27	136.7	8.6	37	2.8	12.5	3.78	1.01
Нижний Новгород	5.41	2.4	0.45	49.1	9.1	22	2.6	11.2	5.19	2.35
Новосибирск	4.58	8.9	1.94	101.1	22.1	196	2.6	11.6	1.18	2.29
Омск	2.33	5	2.15	65.5	28.1	141	2.4	11.9	1.58	3.39
Пермь	3.2	3.6	1.12	80.6	25.2	90	2.6	13.3	2.98	3.34
Ростов-на-Дону	3.71	5	1.35	80.4	21.7	108	3.1	13.3	1.85	2.49
Самара	3.84	8	2.07	82.6	21.5	171	2.8	12.1	1.54	3.2
Санкт-Петербург, Адмиралтейский р-н	12.83	22.9	1.79	54.3	4.2	97	2	8.7	2.06	3.68
Санкт-Петербург, Василеостровский р-н	10.7	19	1.78	104.4	9.8	186	2	8.5	1.08	1.92
Санкт-Петербург, Выборгский р-н	6.05	8.9	1.47	82.2	13.6	121	3.3	13.8	1.24	1.83
Санкт-Петербург, Калининский р-н	14.03	19.4	1.38	132.5	9.4	183	3.2	10.2	1.09	1.51
Санкт-Петербург, Кировский р-н	8.49	14.8	1.74	113.2	13.3	197	2	10.3	1.35	2.35
Санкт-Петербург, Колпинский р-н	2.61	8.8	3.36	93.2	35.7	314	4	14.5	0.8	2.68
Санкт-Петербург, Красногвардейский р-н	7.19	11.1	1.54	174.1	24.2	268	2	10.5	2.61	4.02
Санкт-Петербург, Красносельский р-н	5.13	7.6	1.49	122.1	23.8	182	3	14.3	0.92	1.36
Санкт-Петербург, Кронштадтский р-н	3.06	6.8	2.23	22.2	7.2	50	3.5	13.5	0	0
Санкт-Петербург, Курортный р-н	1.11	6.5	5.87	15	13.5	88	2.6	12.8	0.45	2.66

Город	P_0	P_1	R_1	Q_0	S_0	N_1	C_0	C_2	R_2	R_3
Санкт-Петербург, Московский р-н	6.04	10.4	1.72	84.3	14	145	2	13.8	2.07	3.56
Санкт-Петербург, Невский р-н	9.14	14.4	1.57	84.4	9.2	133	2.5	12.5	1.13	1.78
Санкт-Петербург, Петроградский р-н	8.99	22	2.45	45.5	5.1	112	2	9	1.19	2.93
Санкт-Петербург, Петродворцовый р-н	2.15	5.2	2.4	33.9	15.8	81	2.2	11.2	1.85	4.43
Санкт-Петербург, Приморский р-н	7.4	8.4	1.13	91.6	12.4	104	3.5	18.8	0.96	1.09
Санкт-Петербург, Пушкинский р-н	0.99	3.7	3.71	59.5	60.2	221	2.7	15.3	1.06	3.92
Санкт-Петербург, Фрунзенский р-н	11.75	12.1	1.03	202.7	17.2	208	3.5	20	1.44	1.48
Санкт-Петербург, Центральный р-н	14.02	26.8	1.91	55.4	4	106	2.5	10.5	1.42	2.71
Челябинск	3.47	7.7	2.21	87.3	25.2	193	2.8	10	1.47	3.26
Среднее	7.8	8.6	1.6	99.2	17.5	122.6	2.8	12.3	2.0	2.3

Проведенный анализ (табл. 5) относительных показателей позволяет в целом оценить объемы работы ПСГ (R_1), степень защищенности населения (Q_0, S_0), объемы выполняемой оперативной работы (N_1), мощность пожарной охраны (C_0, C_2), а также смертности от пожаров (R_2, R_3). Рассмотрение отдельно взятых параметров городов и ПСГ полезно дополнить корреляционным анализом, для того, чтобы установить их взаимное влияние. На рис. 4 представлена матрица корреляции относительных параметров, дополненных показателями среднего времени прибытия (T_0), средней скорости следования пожарных подразделений (V_0) и плотности населения (P_1).

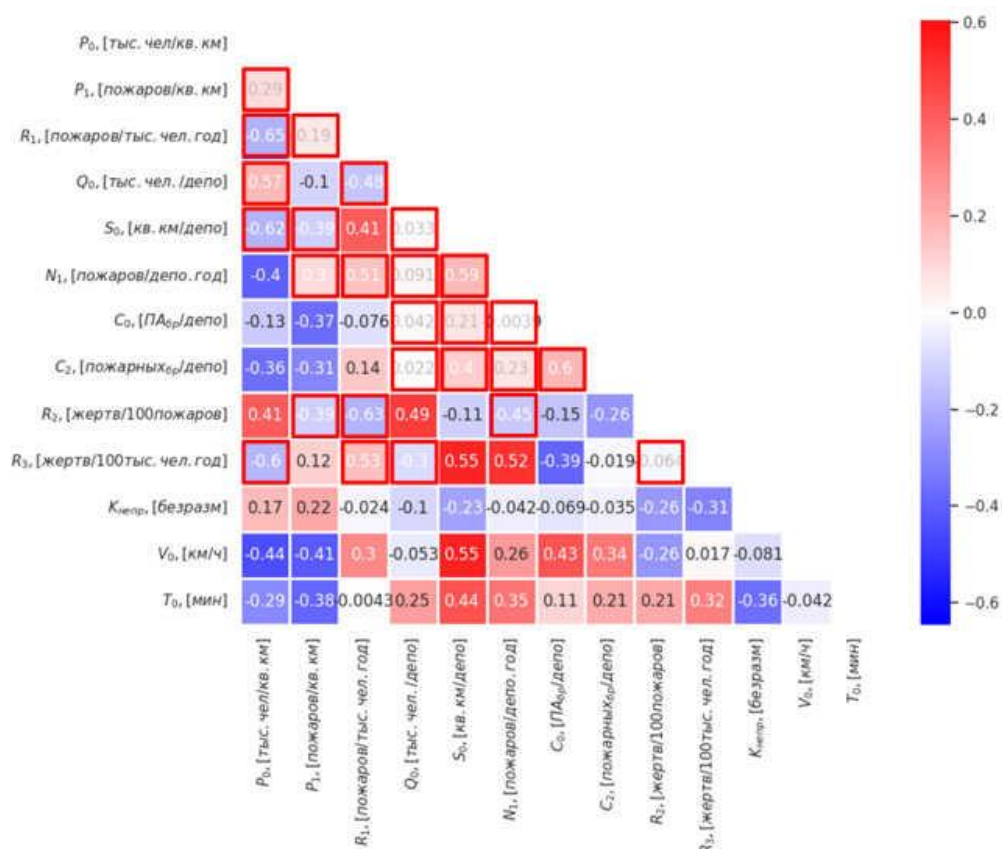


Рис. 4. – Корреляция между относительными параметрами функционирования пожарных подразделений

Прежде всего следует отметить, что объективная оценка относительных параметров, имеющих общий фактор невозможна. Например, в случае с показателями количества пожаров на тысячу человек в год (R_1) и численности населения приходящегося на единицу площади (P_0) имеется заметная негативная связь с коэффициентом корреляции $-0,65$, однако сложно сказать явилась ли ее причиной реальная связь между количеством пожаров и площадью территории или влияние общего значения численности населения. Такие факторы в анализе рассматриваться не будут. На рисунке 4 они отмечены рамкой красного цвета.

Анализируя рисунок 4 можно сделать ряд выводов:

1. При увеличении плотности населения количество жертв на пожарах увеличивается (коэффициент 0,41). Можно предположить, что в наиболее плотно населенных районах риск гибели на пожарах выше, чем в менее населенных. Данная закономерность прослеживается и относительно показателя количества населения, приходящегося на одно пожарное депо (Q_0).

2) Рост плотности населения в некоторой степени влияет на снижение скорости следования пожарных автомобилей (коэффициент -0,44) и времени прибытия пожарных подразделений (коэффициент -0,29). Аналогичную картину можно наблюдать для показателя количества пожаров, приходящихся на квадратный километр площади (коэффициент – 0,41 для V_0 и – 0,38 для T_0).

3) Увеличение площади, обслуживаемой одним пожарным депо, приводит к увеличению времени прибытия пожарных подразделений и скорости следования пожарных автомобилей (коэффициенты корреляции 0,44 и 0,55, соответственно). Влияние данного фактора должно быть достаточно сильно, так как при увеличении скорости следования пожарных автомобилей время прибытия пожарно-спасательных подразделений также продолжает увеличиваться по мере увеличения площади обслуживания.

4) Заметная корреляция присутствует между количеством жертв, приходящихся на 100 тысяч человек населения, показателями площади территории города и количества пожаров, приходящихся на одно депо (0,55 и 0,52, соответственно). Однако причины данной связи неочевидны и требуют дополнительного исследования.

5) Коэффициент непрямолинейности улично-дорожной сети $K_{непр}$ с относительными параметрами организации ПСГ имеет слабую корреляцию.

Однако следует отметить наличие умеренной отрицательной корреляции с показателем времени прибытия пожарных подразделений (-0,36).

б) Скорости следования пожарных автомобилей выше в тех городах, где в боевом расчете пожарных подразделений стоит большее количество пожарных автомобилей (коэффициент корреляции 0,43). Причины данного наблюдения также требуют дополнительного изучения в рамках отдельного исследования.

4. Основные выводы

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Ключевым показателем (среди рассмотренных), определяющим численность пожарных подразделений и их оснащенность пожарной техникой является площадь застроенной территории городов и численность их населения. При этом большее влияние оказывает площадь застроенной территории городов.

2. На количество пожаров в большей степени оказывает влияние размер площади города, в то время, как на количество жертв при пожарах больше влияет плотность населения.

3. На скорости следования пожарных автомобилей негативно влияют увеличение плотности населения и количества пожаров, приходящихся на квадратный километр площади города. При этом, увеличение площади зоны обслуживания пожарных депо, способствует увеличению скорости следования, что подтверждает сведения, приведенные в работах [11–13], где отмечается, что скорость следования пожарных автомобилей зависит, среди прочего, от протяженности маршрута следования.

4. Время прибытия первого пожарного подразделения как правило тем больше, чем больше площадь обслуживания одного пожарного подразделения и количество приходящихся на него пожаров. Первая связь

ожидаемо вытекает из закономерного увеличения протяженности маршрутов следования при увеличении зоны обслуживания пожарных подразделений. Вторая, возможно, связана с увеличением числа случаев занятости пожарных подразделений при увеличении количества пожаров в районе выезда.

5. Установить связь коэффициента непрямолинейности улично-дорожной сети с прочими параметрами функционирования ПСГ не удалось. Полученные в анализе коэффициенты корреляции говорят о том, что чем больше коэффициент $K_{непр}$, тем меньше почти все остальные параметры, в том числе время прибытия пожарных подразделений. Т.е. чем более извилистым маршрутом следовали пожарные подразделения, тем меньше время прибытия, что явно противоречит действительности. В данном случае более уместно говорить о наличии связи $K_{непр}$ с размерами города (площадь территории), нежели о влиянии $K_{непр}$ на другие параметры. Таким образом, в дальнейшем требуется проведение дополнительных исследований с целью уточнения методики расчета коэффициента непрямолинейности улично-дорожной сети.

Заключение

Работа позволила оценить некоторые факторы защищенности от пожаров и их взаимное влияние в крупных городах России. Проведенное исследование в целом подтверждает результаты [3] и дополняет предложенную методику методами корреляционного анализа и пространственной аналитики. Полученные в работе показатели близки к показателям в [3] и могут быть использованы при проведении расчетов параметров функционирования пожарных подразделений в городах России. Основная гипотеза о том, что площадь населенного пункта является определяющим фактором для расчетных моделей параметров функционирования пожарно-спасательных служб крупных городов России, подтверждается.

Литература

1. Малютин О.С., Хабибулин Р.Ш. Обзор подходов, методов и алгоритмов обоснования управленческих решений по снижению времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова // Пожаровзрывобезопасность // Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32, № 5. С. 60–77.
 2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Оргпроектирование противопожарной службы России // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Труды XXI Международной конференции, Москва, 18 декабря 2013 года / Под редакцией Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2013. С. 34–36.
 3. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Организация пожарно-спасательных служб в городах мира // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2017. Т. 1. С. 49–55.
 4. Вилисов, В. Я. Об оценивании эффективности применения транспортных моделей для управления ликвидацией пожаров // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7016
 5. Вилисов, В. Я. Применение экспертных оценок для распределения сил и средств на основе транспортной модели при одновременных вызовах на пожар // Инженерный вестник Дона. 2021. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6960
 6. Boeing, G. 2020. Planarity and Street Network Representation in Urban Form Analysis. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 47 (5), 855-869.
 7. Boeing G. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks // Computers, Environment and Urban Systems. 2017. Т. 65. С. 126–139.
-

8. Населенные пункты России: численность населения и географические координаты. Минздрав РФ; обработка: Инфраструктура научно-исследовательских данных, АНО «ЦПУР». URL: data.rcsi.science/data-catalog/datasets/160/, 2021.

9. Бююль А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / Минск: Диасофт, 2005. С. 608.

10. Бабёнышев, С. В., Матеров Е.Н. Математические методы и информационные технологии в научных исследованиях: учебное пособие // Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. — 215 с.: ил.

11. Соколов С.В., Сибиряков М.В. Определение преимущества движения пожарно-спасательных подразделений в транспортном потоке // Технологии техносферной безопасности. 2017. Т. 71, № 1. С. 244–254.

12. Мироненко Р.В., Сибиряков М.В., Соковнин А.И. Использование машинного обучения в вопросе прогнозирования времени прибытия пожарно-спасательных подразделений // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. Т. 4, № 49. С. 76–83.

13. Малютин О.С., Хабибулин Р.Ш. Анализ скорости движения пожарных автомобилей в зависимости от назначения дорог с использованием машинного обучения // Сборник материалов 32-й Международной научно-технической конференции «Системы безопасности-2023», 30 ноября 2023 года. Москва, 2023. С. 44–50.

References

1. Maljutin O.S., Habibulin R.Sh. Pozharovzryvobezопасnost' Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32, № 5. pp. 60–77.

2. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Matematicheskie metody i modeli upravlenija v Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhbe: Uchebnik. Izdanie

vtoroe, ispravlennoe i dopolnennoe [Mathematical methods and management models in the State Fire Service: Textbook. Second edition, revised and supplemented]. M: AGPS, 2019. pp. 194.

3. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj gumanitarnyj universitet, 2013. pp. 34–36.

4. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V., Grigor'eva M.P. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. 2017. T. 1. pp. 49–55.

5. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. vol. 6. pp. 33–38.

6. Vilisov, V. YA. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6(78). pp. 44-56. EDN BQZSBH.

7. Vilisov, V. YA. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 4(76). pp. 166-179. EDN RYRTPN.

8. Boeing, G. 2020. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 47 (5), 855-869.

9. Boeing G. OSMnx: Environment and Urban Systems. 2017. vol. 65. pp. 126–139.

10. Naseennye punkty Rossii: chislennost' naselenija i geograficheskie koordinaty. Minzdrav RF; obrabotka: Infrastruktura nauchno-issledovatel'skih dannyh [Settlements of Russia: population and geographical coordinates. Ministry of Health of the Russian Federation; Processing: Research Data Infrastructure], ANO «CPUR», URL: data.rcsi.science/data-catalog/datasets/160/, 2021.

11. BUUL A. SPSS: iskusstvo obrabotki informacii. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstanovlenie skrytyh zakonomernostej [The art of information processing. Analysis of statistics and recovery of hidden patterns] / Minsk: Diasoft, 2005. 608 p.

12. S.V. Babjonshev, E.N. Materov, Matematicheskie metody i informacionnye tehnologii v nauchnyh issledovanijah [Mathematical Methods and



Information Technologies in Scientific Research] Zheleznogorsk: FGBOU VO Sibirskaja pozharno-spasatel'naja akademija GPS MChS Rossii, 2018. 215 p.

13. Sokolov S.V., Sibirjakov M.V. Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. 2017. vol. 71, № 1. pp. 244–254.

14. Mironenko R.V., Sibirjakov M.V., Sokovnin A.I. Sovremennye problemy grazhdanskoj zashhity. 2023. vol. 4, № 49. pp. 76–83.

15. Maljutin O.S., Habibulin R.Sh. Sbornik materialov 32 Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Sistemy bezopasnosti-2023», 30 noyabrya 2023. Moskva, 2023. pp. 44–50.

Дата поступления: 20.01.2024

Дата публикации: 8.03.2024