

К.С. Власов¹, А.Н. Денисов²
(¹ВНИИПО МЧС России, ²Академия ГПС МЧС России;
e-mail: vlasov-k@yandex.ru)

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Предлагается методика анализа показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений, позволяющая оценивать взаимное влияние 17 факторов, влияющих на деятельность противопожарной службы.

Ключевые слова: факторный анализ, теория графов, управление, модель.

K.S. Vlasov, A.N. Denisov TECHNIQUE OF ANALYSIS OF INDICATORS OF OPERATIONAL RESPONSE OF FIRE AND RESCUE UNITS

Technique of analysis of indicators of operational response of fire and rescue units was offered. This technique allows evaluate the mutual influence of 17 factors affecting the activities of the fire service.

Key words: factor analysis, graph theory, management, model.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 13 марта 2016 г.

Основной недостаток методов оценки эффективности повседневной деятельности пожарно-спасательных подразделений Российской Федерации в том, что статистические показатели анализируются разрозненно, без учёта взаимных влияний и определения общих трендов. Исходя из основной задачи противопожарной службы (снижение гибели и травматизма людей, уменьшение материального ущерба, причиняемого пожарами), целесообразно выявить основные взаимосвязи факторов, влияющих на эти показатели, и их связи с показателями оперативного реагирования.

В статье анализируется взаимное влияние 17 факторов: 1) время свободного горения; 2) время тушения пожара; 3) количество погибших при пожаре людей; 4) количество людей, травмированных на пожаре; 5) суммарная уничтоженная и поврежденная пожаром поэтажная площадь; 6) общее количество пожарной техники, привлекавшейся для тушения пожара; 7) сумма материального ущерба, причиненного пожаром; 8) расстояние до места пожара; 9) количество стволов, поданных на тушение пожара и защиту; 10) создание штаба пожаротушения; 11-17) условия, способствовавшие развитию пожара (полный перечень приведён в Порядке [2, Прил. 2, табл. 17]).

Графически вышеперечисленные факторы и предполагаемые направления влияния представлены в виде ориентированного графа (рис. 1). Названия узлов графа представлены сокращёнными названиями приведённых выше факторов 1-10. Цифрами от 1 до 7 обозначены группы условий, способствовавших развитию пожара. Для условий, входящих в группы, приняты обозначения

вида "5`53", где первая цифра соответствует номеру группы условий, число после знака апострофа соответствует коду условия, принятому в Порядке [2, Прил. 2, табл. 17]. Например, 1`11 – позднее обнаружение пожара в результате отсутствия персонала на объекте.

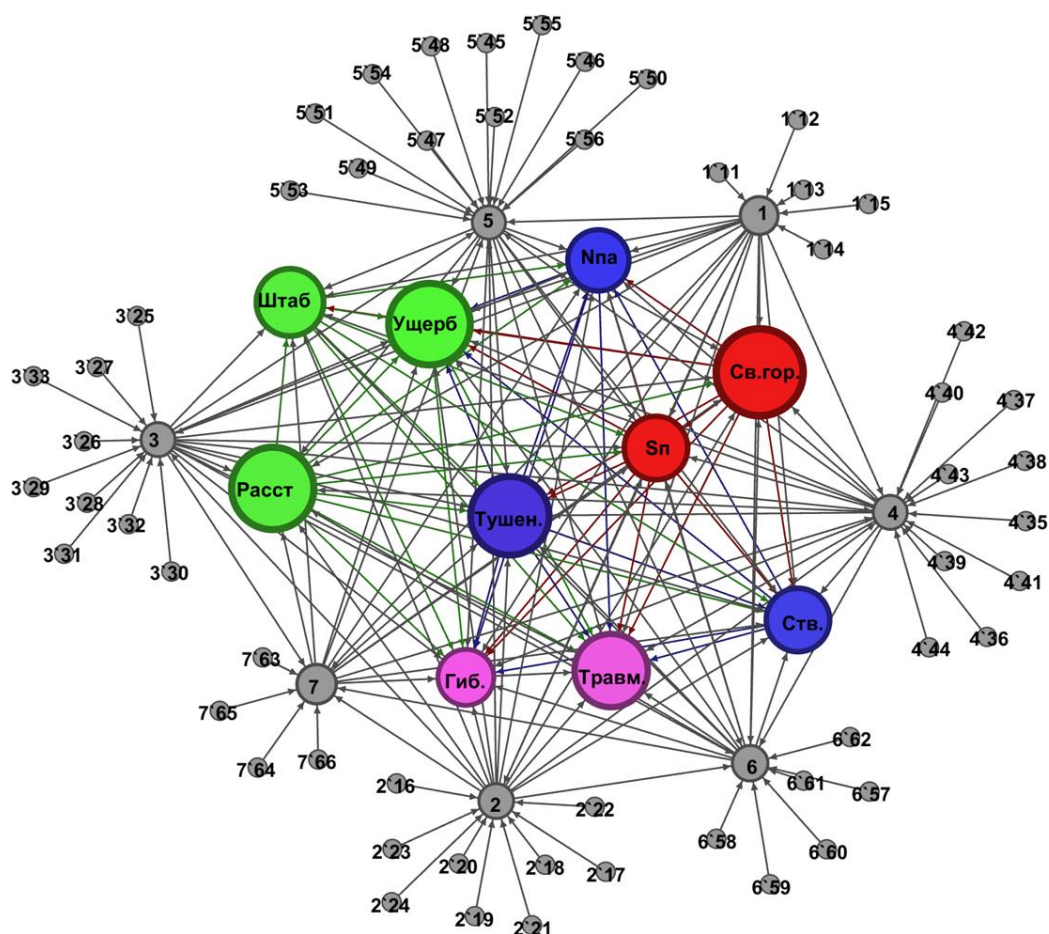


Рис. 1. Влияние факторов, характеризующих деятельность пожарно-спасательных подразделений, на последствия пожаров

В ориентированном графе (рис. 1) с количеством вершин $n = 17$ максимальное количество связей $S_{\max} = 136$ [4] и 56 дополнительных связей по группам условий развития пожара.

Для проведения анализа целесообразно представить ориентированный граф в виде матрицы смежности (рис. 2) размером 17×17 . Дополнительные связи групп условий развития пожара в матрице не отражены. Учитывая то, что изучаемые данные представляют собой разнородные физические величины (время, количество, площадь, события), для выявления связей между рядами данных применены различные виды корреляционных зависимостей: линейная корреляция Пирсона (на рис. 2 обозначена литерой – "L"); точечная бисериальная корреляция (T); контингенция Пирсона (ϕ -коэффициент) (ϕ). Показатели гибели и травмирования людей, ввиду сравнительно малых значений, оценивались не по количеству людей, а только по наличию факта гибели или травмирования людей, поэтому для их оценки не применялась линейная корреляция.

		Зависимый фактор											Всего влияний						
		Св.гор.	Тушен.	Гиб.	Трав.	Сп	Нпа	Ущерб	Расст.	Ств.	Штаб	1		2	3	4	5	6	7
Влияющие условия	Св.гор.	Л	Т	Т	Л	Л	Л	Л	Л	Т									8
	Тушен.		Т	Т		Л	Л	Л	Л										5
	Гиб.			Ф															1
	Травм.			Ф															1
	Сп		Л	Т	Т	Л	Л	Л	Л										6
	Нпа			Т	Т		Л	Л											3
	Ущерб			Т	Т														2
	Расст.	Л	Л	Т	Т	Л	Л	Л	Л	Т									9
	Ств.			Т	Т		Л	Л											4
	Штаб		Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т										7
1	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	16	
2	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф		Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	15	
3	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф			Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	14	
4	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф				Ф	Ф			12	
5	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф					Ф			11	
6	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф						Ф		11	
7	Т	Т	Ф	Ф	Т	Т	Т	Т	Т	Ф				Ф	Ф			12	
Всего зависимостей		8	11	16	16	10	13	14	7	12	9	0	1	2	4	5	5	4	137

Рис. 2. Условия и факторы деятельности оперативных пожарных подразделений:
Л – линейная корреляция Пирсона; *Т* – точечная бисериальная корреляция;
Ф – контингенция Пирсона (ϕ -коэффициент)

Количество связей в матрице смежности (рис. 2) $S = 137$ превышает количество связей ($S_{\max} = 136$), потому что направление связи между факторами "Количество погибших" и "Количество травмированных" не может быть однозначно определено, для расчётов принята двойная разнонаправленная связь и общее количество связей увеличено на единицу [4].

Исходные данные для расчётов статистических показателей были взяты из федеральной государственной информационной системы "Федеральный банк данных "Пожары" (ФГИС "Пожары"). При этом практически во всех случаях рассматривались только данные по пожарам, данные по загораниям (см. определение п. 14 Приложения к Порядку [1]) не учитывались.

Практический расчёт коэффициентов корреляции по данным ФГИС "Пожары" за 2014 и 2015 гг. выполнялся с использованием СУБД Microsoft Access 2010. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ количество неподтвержденных связей составило 28 и 27 соответственно для 2014 и 2015 гг., при более строгих условиях проверки $\alpha = 0,01$ количество таких связей возросло до 31 и 33.

Статистические выборки за 2014 и 2015 гг. показателей оперативного реагирования и других рассматриваемых факторов принадлежат одной генеральной совокупности, поэтому возможно сравнить выборочные коэффициенты корреляции для двух рассматриваемых выборок с целью установления общности генерального коэффициента корреляции.

Проверка нулевой гипотезы о незначимости различий между двумя коэффициентами корреляции $h_0: \rho_1 = \rho_2 = \rho$ при альтернативной гипотезе $h_1: \rho_1 \neq \rho_2$ произведена по формуле

$$|z| = \frac{1}{2} \cdot \left| \ln \left[\frac{(1+r_1)(1-r_2)}{(1-r_1)(1+r_2)} \right] \right| \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_1-3} + \frac{1}{n_2-3}}}, \quad (2)$$

где r_1 и r_2 – значения коэффициентов корреляции соответственно для 2014 и 2015 гг.;

n_1 и n_2 – размеры выборок.

В результате проверки значимости различий коэффициентов корреляции, для дальнейших исследований приняты данные за 2012 г., из которых исключены данные по 64 связям, не соответствующим критерию $z \leq 1,960$ (табл. 1).

На основе расчётных данных строится ориентированный нагруженный граф из 17 узлов и 45 рёбер (связей), вес рёбер соответствует значениям, взятым из таблицы, по модулю и изображается линиями разной толщины. Направления связей выбраны на основе метода экспертных оценок. Для показателей "Гибель" и "Травмы" направления влияния определяются почти однозначно, принято, что показатели оперативного реагирования могут оказывать на них воздействие, а обратные влияния отсутствуют. У таких пар показателей как "Площадь пожара" – "Время тушения", "Количество стволов" – "Количество техники" и др. в зависимости от обстановки на пожаре направление влияния может неоднократно меняться, поэтому условно приняты направления, соответствующие последовательности проведения расчёта сил и средств на тушение пожара [6].

После удаления несущественных связей и перераспределения узлов графа (рис. 1) с использованием алгоритма "Yifan Hu Proportional" компьютерной программы Gephi 0.8.2 граф (рис. 3) выглядит более упорядоченно, но ещё остается достаточно сложным. Для анализа топологии возможно упростить структуру графа и разбить его на два подграфа по знакам коэффициентов корреляции. В результате получены два графа соответственно с положительными (рис. 4) и отрицательными (рис. 5) значениями коэффициентов корреляции.

На графе с прямыми связями (рис. 4) показаны такие направления влияний факторов, при которых изменение влияющего фактора в любую сторону приводит к пропорциональному изменению зависимого фактора в ту же сторону, например, увеличение продолжительности свободного горения приводит к увеличению площади пожара ($r = 0,014$) и т.д. Некоторые связи могут опосредованно определяться влиянием третьего показателя и (или) быть только статистическими, но не причинно-следственными. Например, количество пожарных отделений связано с количеством погибших людей, хотя известно [3], что основные причины гибели людей являются результатами стечения не рассматриваемых здесь обстоятельств (состояние погибшего, состояние объекта пожара и др.).

Значение коэффициентов корреляции между показателями оперативного реагирования и другими показателями за 2014 год, соответствующих критерию $z \leq 1,960$

		Зависимые показатели																
		Св. гор.	Тушен.	Гиб.	Травм. м.	$S_{п}$	$N_{па}$	Ущерб 6	Расст	Ств	Штаб	1	2	3	4	5	6	7
Независимые показатели	Св. гор.	1	-	-	-0,018	0,014	-0,033	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
	Тушен.	-	1	0,048	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Гиб.	-	-	1	0,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Травм.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$S_{п}$	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$N_{па}$	-	-	0,071	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ущерб	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Расст	-	-	-	-	0,011	-0,058	-	1	-	-0,022	-	-	-	-	-	-	-
	Ств	-	-	0,073	0,038	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Штаб	-	0,048	-	-	-	0,298	-	-	0,212	1	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-0,041	-	-	-	-	-	-0,108	-	-	1	-	-	-	-	-	-0,705
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,037	-	1	-0,636	-	-0,687	-	-0,706
	3	-0,049	-0,032	-	-	-	0,038	-	-0,038	-0,021	-	-	-	1	-	-0,632	-	-0,701
	4	-	-	-	-0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,696	-0,682	-
	5	-0,021	0,057	-	-	0,015	-	-	-0,012	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	6	-0,061	0,03	0,016	-	-	-	-	-0,041	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,697
	7	-	0,014	-	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-0,033	-	-	1

Количество значимых связей (при $\alpha = 0,05$) – 45, исключено из рассмотрения 64 связи. Символом "-" обозначены связи, существование которых не подтвердилось.

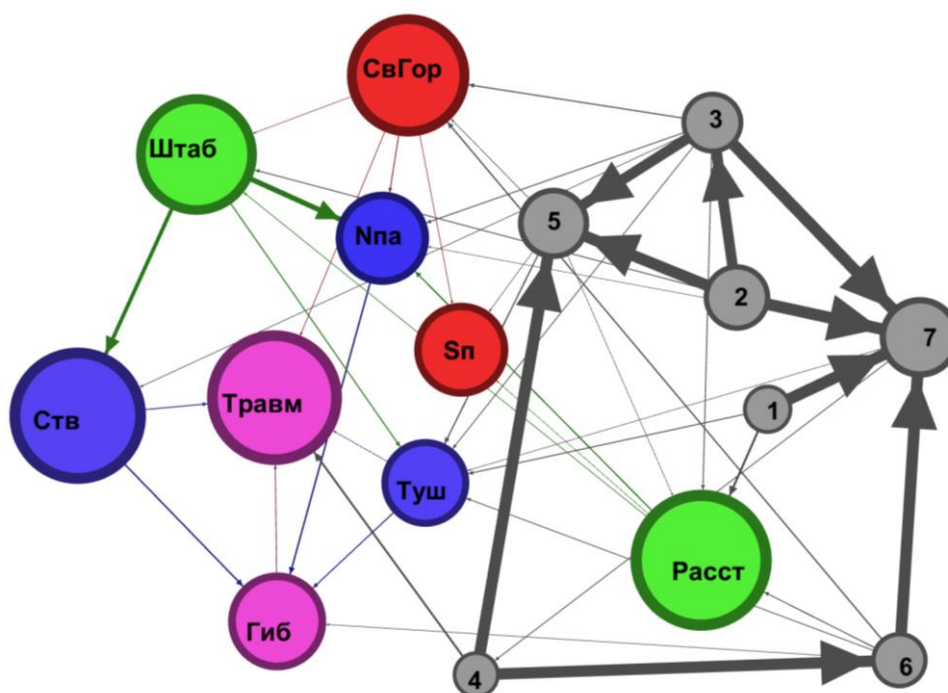


Рис. 1. Условия и факторы деятельности пожарно-спасательных подразделений (все значимые связи)

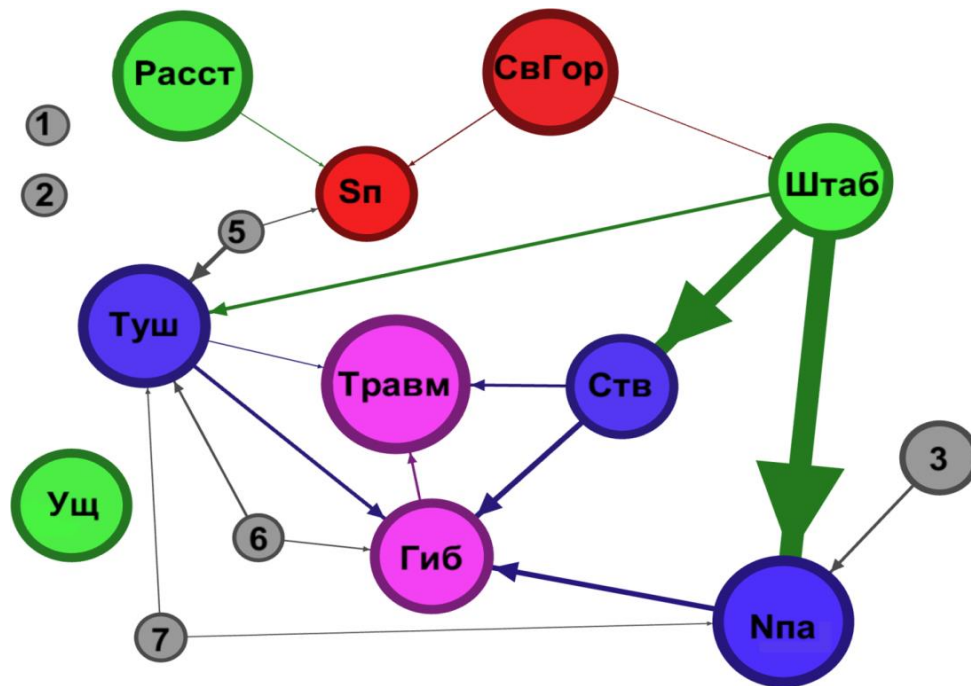


Рис. 2. Условия и факторы деятельности пожарно-спасательных подразделений (положительные связи)

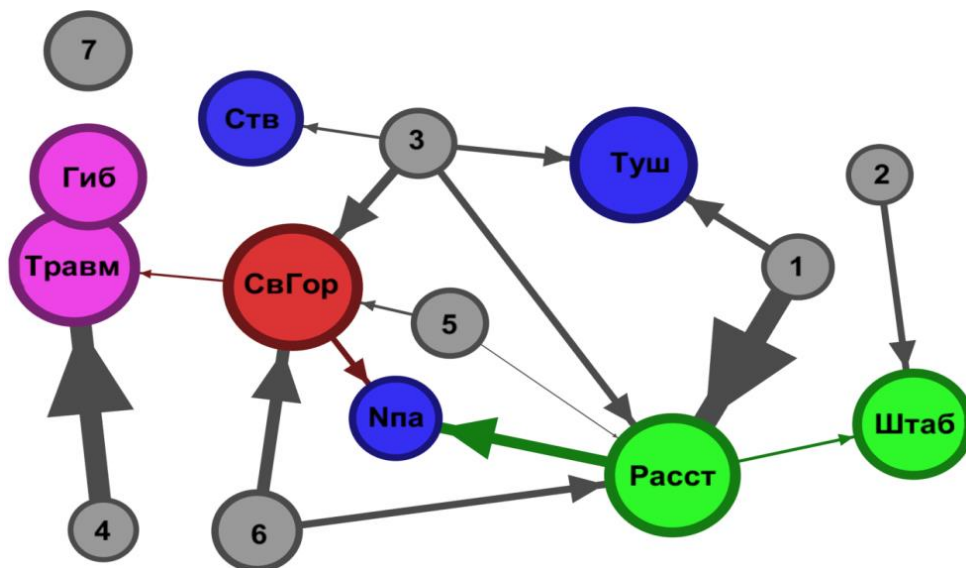


Рис. 3. Условия и факторы деятельности пожарно-спасательных подразделений (отрицательные связи)

На графе с обратными (рис. 5) показаны случаи, когда увеличение влияющего фактора приводит к пропорциональному уменьшению зависимого. Связи между условиями развития пожара, показанные на графе (рис. 3), исключены из дальнейшего рассмотрения, так как являются только статистическими отношениями.

В отличие от традиционно используемых методов оценки результатов деятельности пожарно-спасательных подразделений [3], когда одновременно анализируются не более двух показателей, в рассматриваемой модели исследуется комплекс явлений, что позволяет выявить закономерности в массиве статистических данных, выделить устойчивые связи в них, определить дальнейшие действия по совершенствованию деятельности службы.

Несмотря на то, что предлагаемая модель еще требует некоторой доработки и практической проверки, уже сейчас она может способствовать разрешению ситуаций, когда единообразное использование статистических методов для всей совокупности данных приводит к неоднозначным выводам. Применение методов теории графов позволяет наглядно проследить все взаимосвязи между факторами, оказывающими или не оказывающими влияние на деятельность пожарно-спасательных подразделений, и выявить основные тенденции дальнейшего развития.

Литература

1. **Приказ** МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714 "Об утверждении порядка учёта пожаров и их последствий".
2. **Приказ** МЧС России от 10 декабря 2008 г. № 760 "О формировании электронных баз данных учёта пожаров (загораний) и их последствий".
3. **Отчёты** по НИР "Анализ действий пожарной охраны при тушении крупных пожаров и проведении связанных с ними аварийно-спасательных работ на территории Российской Федерации". М.: ВНИИПО. 2000-2015 гг.
4. **Оре О.** Теория графов. М.: Наука, 1980. 336 с.
5. **Харченко М.А.** Корреляционный анализ: учебное пособие для вузов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2008.
6. **Иванников В.П., Ключ П.П.** Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.