

УДК 614.841

## Структурная и структурно-параметрическая модель поддержки принятия решений по снижению величины ущерба от пожаров

### Structural and structural-parametric model of support and decision-making for fire damage reduction

*А.В. Калач<sup>1</sup>,  
д-р хим. наук, профессор;  
Е.В. Калач<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, доцент;  
А.М. Тарарыкин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России»

*A.V. Kalach<sup>1</sup>,  
Holder of an Advanced  
Doctorate in Chemical Sciences,  
Full professor;  
E.V. Kalach<sup>1</sup>,  
Ph.D. of Engineering Sciences,  
Docent,  
A.M. Tararykin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University;

<sup>2</sup> Ural Institute of the State Ministry of Emergency Situations of Russia

#### Аннотация:

Представлены анализ и обобщение сведений о пожарах и их последствиях на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. Особое внимание уделено особенностям распределения основных показателей обстановки с пожарами на территории Российской Федерации в зависимости от вида объектов пожаров.

Построены структурная и структурно-параметрическая модели потенциальных возможностей принятия управленческих решений в государственной противопожарной службе. Созданная структурно-параметрическая модель потенциальных возможностей принятия управленческих решений в противопожарной службе позволит создать адекватную и актуальную модели оптимизации выбора мер для обеспечения заданного уровня пожарной безопасности объектов.

**Ключевые слова:** пожарный риск, структурно-параметрическая модель, принятие решений, экономический ущерб, прогнозирование

#### Abstract:

The analysis and synthesis of information on fires and their consequences in the territory of the Russian Federation for the period 2014-2018 presented. Special attention paid to the peculiarities of distribution of the main indicators of the situation with fires in the territory of the Russian Federation depending on the type of fire objects.

Structural and structural-parametric models of potential opportunities for making management decisions in the state fire service built. The structural and parametric model of potential management decision-making capabilities in the fire service will allow to create adequate and up-to-date models of optimization of measure selection to ensure the specified level of fire safety of objects.

**Key words:** fire risk, structural and parametrical model, decision-making, economic damage, forecasting.

Анализ рисков возникновения аварий, катастроф и стихийных бедствий на территории Российской Федерации свидетельствует об отсутствии тенденции к снижению и вероятном увеличении в будущем числа пожаров и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [1].

Проблема защиты населения и территорий от пожаров и чрезвычайных ситуаций в настоящее время представляет собой неотъемлемое направление государственной политики в сфере обеспечения безопасности и совершенствовании системы обеспечения пожарной безопасности, а также единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

При этом, следует отметить, что особенную опасность в ближайшее время представляют пожары различного генезиса. Несмотря на некоторую динамику в положительную сторону (улучшение) показателей, связанных с пожарами, говорить о значительных улучшениях не приходится. наглядным доказательством этого факта являются обобщенные сведения о пожарах и их последствиях на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг., представленные на рис. 1.

При этом, в последние годы некоторые крупные пожары, возникавшие в высотных зданиях на территории Российской Федерации, ликвидировать традиционными методами и средствами не всегда удавалось. Результатом этого служило полное разрушение зданий и сооружений, а также массовая гибель людей.

Год	Наименование показателя	ФГИС "ФБД "Пожары" (ведомственная статистика МЧС России)	Сведения о пожарах и их последствиях на объектах федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, осуществляющих самостоятельный учет пожаров и их последствий	Итого по РФ
2014	Кол-во пожаров, ед.	152695	307	153002
	Кол-во погибших людей, чел	10237	16	10253
	Кол-во травмированных людей, чел.	11079	10	11089
	Прямой ущерб, тыс. руб.	18343858	379455	18723313
2015	Кол-во пожаров, ед.	145942	267	146209
	Кол-во погибших людей, чел	9405	14	9419
	Кол-во травмированных людей, чел.	10962	15	10977
	Прямой ущерб, тыс. руб.	22461847	408520	22870367
2016	Кол-во пожаров, ед.	139475	228	139703
	Кол-во погибших людей, чел.	8749	11	8760
	Кол-во травмированных людей, чел.	9905	4	9909
	Прямой ущерб, тыс. руб.	13418423	905406	14323829
2017	Кол-во пожаров, ед.	132844	233	133077
	Кол-во погибших людей, чел.	7816	8	7824
	Кол-во травмированных людей, чел.	9355	6	9361
	Прямой ущерб, тыс. руб.	13767378	449895	14217273
2018	Кол-во пожаров, ед.	131840	234	132074
	Кол-во погибших людей, чел.	7909	4	7913
	Кол-во травмированных людей, чел.	9642	8	9650
	Прямой ущерб, тыс. руб.	15517156	396349	15913505

Рис. 1. Обобщенные сведения о пожарах и их последствиях на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. [1]

Вместе с тем, следует отметить, что к настоящему времени на территории Российской Федерации, в целом, наметилась тенденция к уменьшению количества погибших на пожарах.

В качестве примера на рис. 2 приведены данные по количеству людей, погибших при пожарах на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг.

Однако, одна из задач любой системы обеспечения безопасности состоит в снижении до минимума и даже полном устранении погибших в результате аварий. Недостаточное снижение числа погибших на пожарах на территории Российской Федерации обусловлено в том числе тем, что применяемая для эвакуация людей из зданий и сооружений современная пожарно-спасательная техника не в полной мере обеспечивает оперативное тушение и одновременное спасение (эвакуацию) людей на пожарах, возникших и развивающихся в нескольких помещениях в рамках одного этажа или одновременно на разных этажах здания.



Рис. 2. Количество людей, погибших при пожарах на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. [1]

К сожалению, применяемые в настоящее время оперативными подразделениями МЧС России штатные конструкции пожарно-спасательных автомобилей позволяют подавать автолестницу лишь в одно окно или балкон здания и, соответственно, производить там необходимые спасательные работы.

Кроме того, продолжительность тушения пожаров остается практически неизменной и составляет порядка 12 – 18 мин (рис. 3).



Рис. 3. Среднее время тушения пожара на территории Российской Федерации [1]

Перечисленные выше факты диктуют требования к производителям и проектировщикам по внесению существенных изменений в существующие конструкции пожарной и аварийно-спасательной техники и разработку совершенно новых систем с расширенными технологическими возможностями.

Кроме того, известно, что наиболее опасными являются пожары, возникающие в зданиях и сооружениях, поскольку приводят к массовой гибели людей. Статистические данные свидетельствуют о том, что порядка 70 % пожаров на территории Российской Федерации приходится на здания жилого сектора.

Особенности распределения основных показателей обстановки с пожарами на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. в зависимости от вида объектов пожаров приведены на рис. 4.

Объект пожара	Количество пожаров, ед. / % от общего количества пожаров									
	2014		2015		2016		2017		2018	
	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%
Здания производственного назначения	3099	2,05	2930	2,01	2693	1,93	2786	2,10	2813	2,13
	1244516	6,82	2868191	12,77	1605689	11,97	974317	7,08	1343463	8,66
Складские здания, сооружения	113	1,11	95	1,01	122	1,39	59	0,75	71	0,90
	1395	0,93	1306	0,89	1336	0,96	1427	1,07	1402	1,06
Здания, сооружения и помещения предприятия торговли	3833640	21,01	5155743	22,95	1385472	10,33	2749853	19,97	817317	5,27
	14	0,14	15	0,16	29	0,33	25	0,32	20	0,25
Здания, сооружения и помещения предприятия торговли	3212	2,13	3037	2,08	2805	2,01	2688	2,02	2632	2,00
	2371965	13,00	2718646	12,10	627424	4,68	1784318	12,96	3917681	25,25
Здания учебно-воспитательного назначения	16	0,16	32	0,34	5	0,06	17	0,22	11	0,14
	228	0,15	290	0,20	217	0,16	215	0,16	276	0,21
Здания здравоохранения и социального обслуживания населения	56337	0,31	125222	0,56	35104	0,26	25513	0,19	64391	0,41
	1	0,01	2	0,02	2	0,02	0	0,00	0	0,00
Здание здравоохранения и социального обслуживания населения	192	0,13	171	0,12	153	0,11	164	0,12	211	0,16
	34741	0,19	29401	0,13	51037	0,38	51375	0,37	8923	0,06
Здания, помещения сервисного обслуживания населения	9	0,09	26	0,28	2	0,02	1	0,01	1	0,01
	1090	0,72	1037	0,71	1160	0,83	968	0,73	988	0,75
Административные здания	275613	1,51	252962	1,13	288507	2,15	226177	1,64	250898	1,62
	7	0,07	11	0,12	5	0,06	7	0,09	5	0,06
Здания, сооруж. и помещ. для культурно-досуговой деят. населения и религ. обрядов	880	0,58	910	0,62	887	0,64	740	0,56	799	0,61
	408119	2,24	352566	1,57	129338	0,96	130095	0,94	175100	1,13
Здания для временного пребывания (проживания) людей	20	0,20	13	0,14	18	0,21	12	0,15	15	0,19
	266	0,18	262	0,18	247	0,18	233	0,18	272	0,21
Здания жилого назначения и надворные постройки	83035	0,46	95714	0,43	174416	1,30	76792	0,56	69175	0,45
	1	0,01	1	0,01	1	0,01	3	0,04	61	0,77
Здания для временного пребывания (проживания) людей	211	0,14	248	0,17	236	0,17	229	0,17	277	0,21
	53630	0,29	296616	1,32	164956	1,23	230977	1,68	209180	1,35
Здания жилого назначения и надворные постройки	15	0,15	17	0,18	23	0,26	20	0,26	15	0,19
	103579	68,68	100498	68,86	96813	69,41	93001	70,01	93383	70,83
в т.ч. жилой дом	5214726	28,58	4939457	21,99	4892231	36,46	4864713	35,34	5237103	33,75
	9339	92,12	8515	90,54	7982	91,23	7211	92,26	7278	92,03
Здания и сооружения сельскохозяйственного назначения	57724	38,28	55132	37,78	53559	38,40	51790	38,99	52028	39,46
	3323648	18,22	3135179	13,96	3281152	24,45	3181028	23,11	3733833	24,06
Здания и сооружения сельскохозяйственного назначения	7869	77,62	7065	75,12	6753	77,19	6112	78,20	6183	78,19
	617	0,41	552	0,38	574	0,41	580	0,44	522	0,40
Здания и сооружения сельскохозяйственного назначения	593424	3,25	2129714	9,48	1447483	10,79	167088	1,21	788296	4,95
	14	0,14	8	0,09	13	0,15	11	0,14	7	0,09

Рис. 4. Основные показатели обстановки с пожарами на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. в зависимости от вида объектов пожаров [1]

Улучшение показателей стало возможным благодаря реализации на регулярной основе МЧС России мер по снижению излишнего административного давления, числу проверок, совершенствованию системы профилактики нарушений в сфере пожарной безопасности. Например, в настоящий момент вместо проверок бизнеса усилен надзор за образовательными учреждениями, учреждениями медицины, ухода за пожилыми людьми. В результате таких действий по мере замещения проверок иными мероприятиями, снижается число пожаров в административно-хозяйственных зданиях, на производстве. К 2019 году число плановых и внеплановых проверок выполнения требований законодательства в сфере обеспечения пожарной безопасности субъектов предпринимательской деятельности снизилось, в общей сложности, почти в 4 раза, при этом число возгораний снизилось на 30%. Для достижения данных показателей был внедрен механизм добровольного подтверждения соответствия требованиям пожарной безопасности; проводились на регулярной основе предупреждение, профилактика и повышение грамотности предпринимателей; осуществляется использование новых технологий, например, для более быстрого оповещения о возгорании и ликвидации очага возгорания.

Помимо гибели людей пожары приносят значительный материальный ущерб государству. В качестве примера на рис. 5 представлены данные о динамике размера материального ущерба от пожаров на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг.



Рис. 5. Динамика величины материального ущерба от пожаров на территории Российской Федерации за период 2014-2018 гг. [1]

Дальнейшее снижение показателей, связанных с травмированием, гибелью людей и причинением материального ущерба государству не достижимы без совершенствования системы управления пожарными рисками. Эффективное управление пожарными рисками невозможно без количественного описания их зависимости от существующих социально-экономических факторов [2-4].

В связи с этим, значительный практический интерес представляет использование аппарат математического моделирования для оценки и последующего прогноза пожарных рисков в субъектах Российской Федерации. Кроме того, снижение существующих рисков неэффективно без разработки современных алгоритмов расчета интегральных пожарных рисков [5].

Описание процесса принятия управленческих решений осуществляли с учетом следующих множеств:

- $U = \{u^1, u^2, \dots, u^s\}$  множество угроз пожарной безопасности на объектах противопожарной защиты,
- $M = \{m^1, m^2, \dots, m^s\}$  множество мер снижения возможности реализации угроз пожарной безопасности.

Для достижения пожарной безопасности могут применяться различные меры снижения возможности реализации угроз пожарной безопасности. При этом одна и та же мера может приводить к устранению нескольких угроз, и одна и та же угроза может устраняться с помощью различных мер. Приведем примеры:

- изменение местоположения пожарной части изменяет времена, необходимые для прибытия пожарных машин на объекты противопожарной защиты;
- изменения возможности реализации угрозы пожарной безопасности на объекте противопожарной защиты можно достичь изменением местоположения пожарной части, изменением

оснащения самого объекта противопожарными средствами, изменением количества и подготовленности лиц, входящих во внештатный противопожарный расчёт на данном объекте и т. п.

Указанное обстоятельство позволяет создать структурную модель для принятия управленческих решений в Государственной противопожарной службе МЧС России. С этой целью определим бинарное отношение  $E \subseteq M \times U$  на декартовом произведении множеств  $M$  и  $U$  следующим образом:

- $(m_j, u^i) \in E$  тогда и только тогда, когда мера противопожарной безопасности  $m_j \in M$  способствует снижению возможности реализации угрозы  $u^i \in U$ .

Бинарное отношение  $E$  может быть задано с помощью (0,1)-матрицы

$$E = (e_j^i)_{j=1, \dots, n}^{i=1, \dots, s}$$

[22] по следующему правилу:

$$e_j^i = \begin{cases} 1, & \text{если мера } m_j \text{ способствует снижению возможности} \\ & \text{реализации угрозы } u^i, \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

Определим граф

$$\Gamma = (M \cup U, E), \tag{1}$$

который представляет собой двудольный ориентированный граф, доли которого составляют множества вершин  $M$  и  $U$ , а дуги направлены от доли  $M$  к доле  $U$ , определяются бинарным отношением  $E$ . Структура созданного графа отражает способность существующих (применяемых) мер противопожарной безопасности снижать возможность реализации угроз пожарной опасности.

Граф  $\Gamma$  представляет собой структурную модель, позволяющую принимать рациональные управленческие решения министерствам и ведомствам, уполномоченным в области обеспечения пожарной безопасности.

Приведем пример структурной модели. Пусть

- $M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\}$  - множество мер пожарной безопасности,
- $U = \{u^1, u^2, u^3, u^4\}$  - множество угроз пожарной опасности, а бинарное отношение между ними задается матрицей.

$$E = \begin{matrix} & u^1 & u^2 & u^3 & u^4 \\ m_1 & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ m_2 & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ m_3 & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ m_4 & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ m_5 & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

В этом случае структурная модель, описывающая потенциальные возможности принятия управленческих решений, представляется графом  $\Gamma$ , представленным на рис. 6.

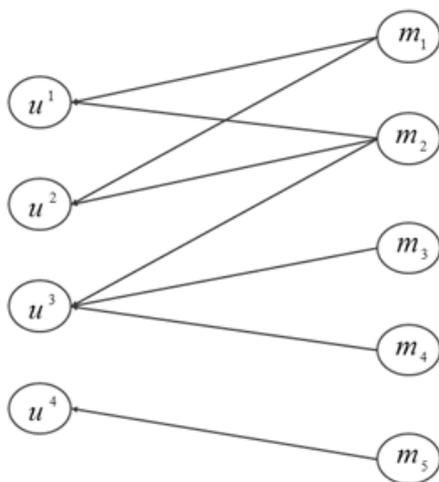


Рис. 6. Пример структурной модели потенциальных возможностей принятия управленческих решений

Разработанная модель не содержит параметров угроз пожарной опасности и мер по их снижению и поэтому не может быть использована непосредственно при решении задачи оптимизации принятия управленческих решений. С этой целью созданная структурная модель принятия управленческих решений была преобразована в структурно-параметрическую модель потенциальных возможностей принятия управленческих решений

$$\tilde{\Gamma} = (\Gamma, \xi, (F, P), W), \quad (2)$$

где

- $\Gamma$  - структурная модель (1);
- $\xi$  - векторные веса вершин, входящих в долю  $U$ , которые содержат значения кортежей ресурсов, необходимых для реализации мер пожарной безопасности;
- $(F, P)$  - пара весов вершин, входящих в долю  $U$ , которая содержит значения соответственно возможного ущерба от реализации угроз и вероятностей реализации этих угроз;

- $W$  - веса дуг графа  $\Gamma$ , содержащие оценки возможности (вероятности) устранения угроз пожарной опасности при реализации различных мер пожарной безопасности.

Математически структурно-параметрическая модель представляет собой двудольный ориентированный взвешенный граф со скалярными и векторными весами вершин и дуг.

Рассмотрим пример структурно-параметрической модели. Для этого доопределим модель, представленную на рис. 6.

Пусть  $\xi_j = (c_j^1, c_j^2, \dots, c_j^i)$  - кортежи весов, содержащих оценки ресурсов, необходимых для реализации мер множества;

$(f^i, p^i)$  - пары весов, включающие численные оценки потенциальных угроз из рассматриваемого множества  $U$  (в условных выбранных единицах) и соответствующие вероятности реализации рассматриваемых угроз);

веса элементов бинарного отношения  $E$  можно задать с помощью матричного представления следующим образом:

$$E = \begin{matrix} & u^1 & u^2 & u^3 & u^4 \\ m_1 & \begin{pmatrix} \omega_1^1 & \omega_1^2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ m_2 & \begin{pmatrix} \omega_2^1 & \omega_2^2 & \omega_2^3 & 0 \end{pmatrix} \\ m_3 & \begin{pmatrix} 0 & \omega_3^2 & \omega_3^3 & 0 \end{pmatrix} \\ m_4 & \begin{pmatrix} 0 & 0 & \omega_4^3 & 0 \end{pmatrix} \\ m_5 & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \omega_5^4 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Следовательно, структурно-параметрическая модель  $\tilde{\Gamma}$  для рассматриваемого примера будет представлять собой взвешенный граф, представленный на рис. 7.

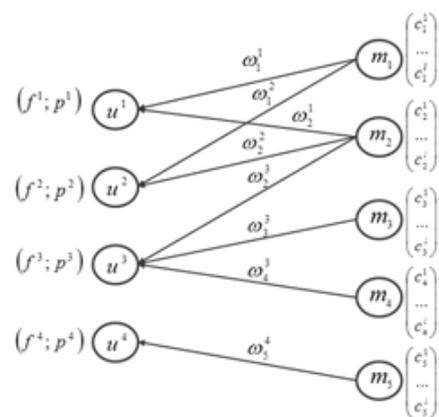


Рис. 7. Созданная структурно-параметрическая модель принятия управленческих решений

По результатам проведенных исследований и моделирования созданы модели, позволяющие принимать рациональные управленческие решения в сфере обеспечения пожарной безопасности. Сами разработанные модели могут быть использованы в интересах решения задач выбора оптимальных наборов мер по обеспечению пожарной безопасности объектов защиты и гармонично вписываются в переход МЧС России на «объектный» метод контрольно-надзорных мероприятий (по аналогии с Ростехнадзором и Роспотребнадзором) вне зависимости от числа и статуса собственников и арендаторов вместо существующей системы проверок компаний.

#### **Литература:**

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. - М.: ВНИИПО, 2019. - 125 с.
2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А. и др. Основы теории пожарных рисков и ее приложение: Монография / Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А., Белов В.А., Иванова О.В., Попков С.Ю. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 192 с.
3. Климкин В.И., Матюшин А.В., Порошин А.А. и др. Анализ влияния последствий пожаров на устойчивость социально-экономического развития регионов Российской Федерации. Пожарная безопасность. 2012. №1. С.74 – 84.
4. Тростянский С.Н., Зенин Ю.Н. Анализ изменения вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах при изменениях экономических факторов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. № 3 (12). С. 56-64.
5. Тростянский С.Н., Зенин Ю.Н., Скрыль С.В., Калач А.В. Математическое моделирование риска возникновения пожаров на хозяйственных объектах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2013. № 4. С. 28-33.