

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ РЕЗЕРВУАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Перевалов А.С., Пастухов К.В.

Цель. Разработка модели оценки эффективности тушения пожаров резервуаров хранения нефтепродуктов; обоснование перспективных способов тушения пожаров резервуаров вертикальных стальных (далее – РВС).

Методы. Обоснование перспективных способов тушения пожаров в резервуарных парках хранения нефтепродуктов проведено методом анализа иерархий.

Результаты. Представлен канонический показатель эффективности, включающий в себя ресурсоемкость, надежность, безопасность и оперативность с последующей их декомпозицией в иерархической форме. Имеющиеся субъективные суждения экспертов позволяют не только выделить одно приоритетное направление совершенствования способов тушения пожаров в РВС, но и определить весовые коэффициенты показателей эффективности. Совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, а также разработка новых и перспективных приемов прекращения горения для различных сценариев развития ЧС в резервуарах хранения нефтепродуктов является приоритетным направлением повышения пожарной безопасности при возникновении пожара в РВС.

Область применения исследований. Результаты исследований позволяют не только выделить приоритетное направление повышения пожарной безопасности при возникновении пожара на РВС, в частности, совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, но и смоделировать показатель эффективности автоматических установок пожаротушения резервуарного парка.

Ключевые слова: эффективность, метод анализа иерархий, ресурсоемкость, надежность, безопасность, оперативность.

(Поступила в редакцию 24 мая 2024 г.)

Введение

Основными направлениями повышения безопасности при пожаре резервуарных парков хранения нефтепродуктов являются совершенствование и развитие автоматических установок пожаротушения (далее – АУПТ) [1–3], а также разработка новых и обоснование перспективных приемов ликвидации пожаров в резервуарах [4–8]. В работе рассмотрены оценка и совершенствование способов:

- подачи огнетушащих веществ на поверхность горячей жидкости (A_1);
- подачи огнетушащего вещества в слой горячей жидкости (A_2);
- создания изолирующего слоя над поверхностью горения (A_3).

Основная часть

Основной задачей, подлежащей решению в данной работе, является разработка модели оценки эффективности мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности резервуаров и выбор целесообразного направления тушения РВС.

В соответствии с основными положениями теории эффективности, рассматриваемой в работах [9–11], принимаем W , определяемую четырьмя компонентами:

$$W = W(R, N, B, T), \quad (1)$$

где R – ресурсоемкость;

N – надежность;

B – безопасность;

T – оперативность.

Расход ресурсов связан с затратами на разработку направления R_1 , производство его технических средств R_2 и их эксплуатацию R_3 :

$$R = \{R_1, R_2, R_3\}. \quad (2)$$

Компонент надежности, рассматриваемый в работе [12] и ГОСТ 27.002-2015¹, свяжем в нашем случае со свойствами безотказности N_1 , долговечности N_2 , сохраняемости N_3 и ремонтпригодности N_4 :

$$R = \{N_1, N_2, N_3, N_4\}. \quad (3)$$

Часто элемент безопасности рассматривается одним из свойств надежности² [13]. Однако в рамках оценки эффективности рассматриваемых способов тушения резервуаров вертикальных стальных (РВС) данный компонент следует рассматривать отдельно. Безопасность будем характеризовать социальным и индивидуальным риском B_1 , экологическим B_2 и технико-экономическим риском B_3 :

$$B = \{B_1, B_2, B_3\}. \quad (4)$$

Оперативность, в свою очередь, связана со временем достижения требуемого результата:

$$T = \{\tau_{\text{п}}, \tau_{\text{л}}\}. \quad (5)$$

где $\tau_{\text{п}}$ – время подачи огнетушащего вещества в очаг горения (от момента срабатывания АУПТ);

$\tau_{\text{л}}$ – время ликвидации горения.

Многокритериальное ранжирование направлений повышения пожарной безопасности РВС представим в иерархической форме (рис. 1).

Выделенные подкритерии позволят обосновать необходимость совершенствования и оценки одного из трех направлений. Для решения проблемы сложно формализуемой задачи принятия решений воспользуемся методом анализа иерархий (МАИ), сочетающим в себе математический инструмент системного подхода и субъективные суждения экспертов [14; 15]. Установление относительной важности элементов представленной иерархии друг к другу определим с применением шкалы отношений (табл. 1), в полной мере отражающей предпочтения экспертов. В качестве экспертов привлекались специалисты данного направления, сотрудники ПАО «Газпром нефть», «Лукойл».

Таблица 1. Шкала отношений

Значение	Определение	Примечание
9	Абсолютное превосходство	Очевидно превосходство одного рассматриваемого компонента над другим
7	Значительное превосходство	
5	Сильное или существенное превосходство	
3	Незначительное превосходство	
1	Одинаковая важность	Равный вклад компонентов в результат
0	Компоненты не сравнимы	Эксперт затрудняется в возможности сравнения
2, 4, 6, 8	Промежуточное значение	Компромиссный случай

¹ Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. – Введ. 01.03.17. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.

² Безопасность [Электронный ресурс] // Толковый словарь Ожегова. – Режим доступа: <https://slovarozhegova.ru/word.php?wordid=1346>. – Дата доступа: 20.05.2024.

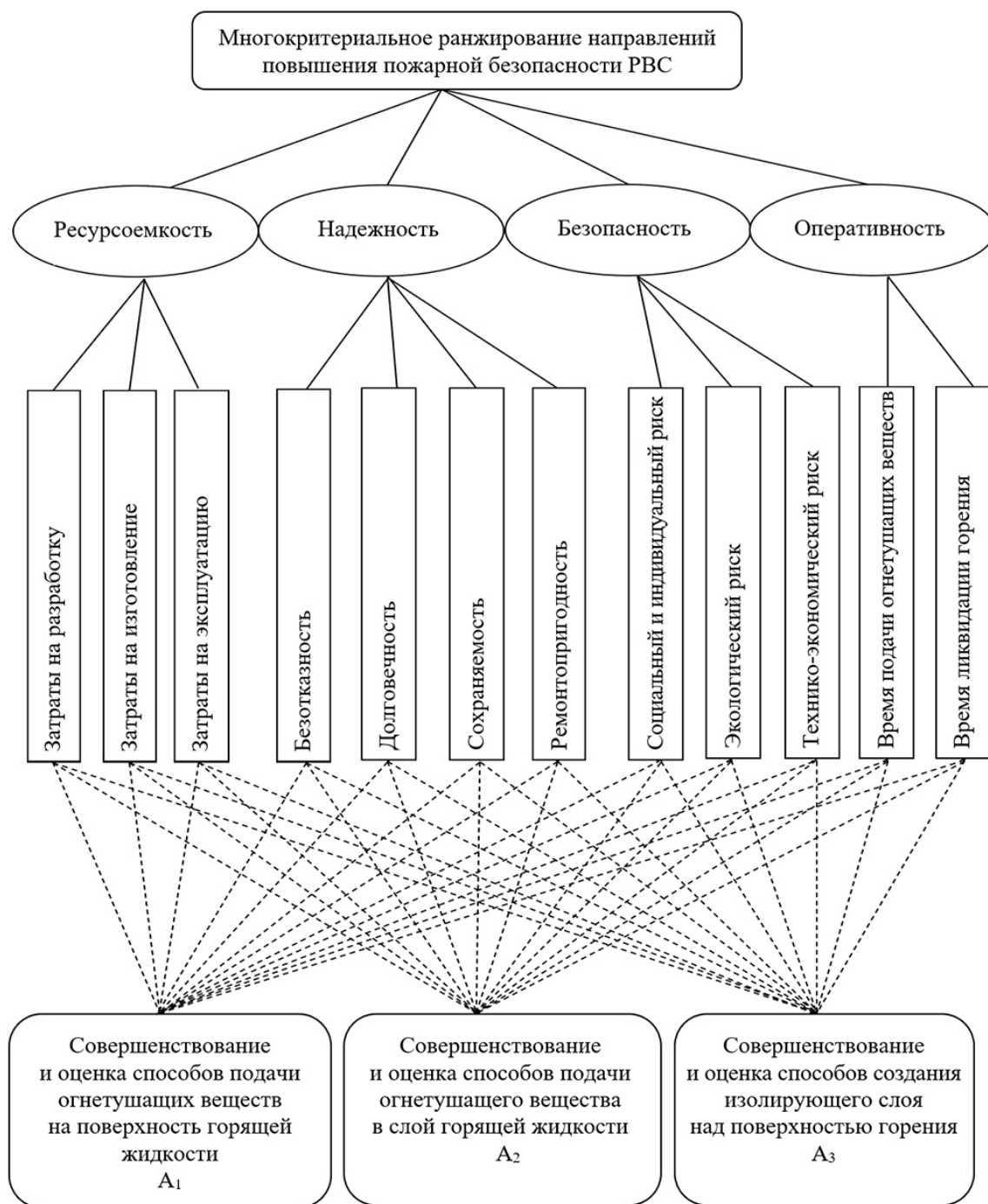


Рисунок 1. Иерархическая модель эффективности тушения РВС

Элементы матриц для каждого уровня заполнялись в соответствии со средневзвешенными решениями субъективных суждений. В таблице 2 представлена иллюстрация декомпозиции сравнительных суждений парных сравнений для третьего уровня.

Анализ данного уровня сравнений показывает, что элементы оперативности и надежности при выборе приоритетного направления воспринимаются наиболее значимыми. Компоненты безопасности и ресурсоемкости, в свою очередь, не подтверждают большую важность.

Для следующего уровня суждений (табл. 3) были составлены двенадцать матриц размером 3×3 по каждому подкритерию. Проведено парное сравнение трех элементов четвертого уровня в отношении подкритериев третьего. Для данного уровня сравнений суждения экспертов часто не были столь категоричными.

Таблица 2. Матрица сравнительных суждений парных сравнений для третьего уровня иерархии

	Затраты на разработку	Затраты на изготовление	Затраты на эксплуатацию	Безотказность	Долговечность	Сохраняемость	Ремонтопригодность	Социальный и индивидуальный риск	Экологический риск	Технико-экономический риск	Время подачи огнетушащих веществ	Время ликвидации горения	Произведение элементов строки $q_i = a_{i1}a_{i2}...a_{in}$, $n = 12$	Вес критерия (корень 12 степени произведения q_i)	Нормализованная оценка вектора приоритетов
	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}	a_{i7}	a_{i8}	a_{i9}	a_{i10}	a_{i11}	a_{i12}	q_i	$Q_i = \sqrt[12]{q_i}$	$q_i^n = Q_i / S$
Затраты на разработку	1	1/3	1/5	1/6	1/7	1/6	1/3	1/3	1/4	1/6	1/9	1/9	2E-08	0,2230	0,0119
Затраты на изготовление	3	1	1/4	1/5	1/6	1/5	3	1/3	1/4	1/5	1/8	1/8	4E-06	0,3543	0,0189
Затраты на эксплуатацию	5	4	1	1/4	1/4	1/4	4	4	4	1/3	1/6	1/6	0,1852	0,8689	0,0463
Безотказность	6	5	4	1	1/2	3	6	5	4	4	1/3	1/4	7200	2,0963	0,1116
Долговечность	7	6	4	2	1	3	7	5	4	4	1/3	1/3	62720	2,5106	0,1337
Сохраняемость	6	5	4	1/3	1/3	1	5	5	4	3	1/4	1/5	200	1,5551	0,0828
Ремонтопригодность	3	1/3	1/4	1/6	1/7	1/5	1	1/3	1/4	1/5	1/9	1/9	2E-07	0,2812	0,0150
Социальный и индивидуальный риск	3	3	1/4	1/5	1/5	1/5	3	1	1/3	1/4	1/7	1/7	9E-05	0,4609	0,0245
Экологический риск	4	4	1/4	1/4	1/4	1/4	4	3	1	1/4	1/5	1/6	0,0063	0,6551	0,0349
Технико-экономический риск	6	5	3	1/4	1/4	1/3	5	4	4	1	1/5	1/6	5	1,1435	0,0609
Время подачи огнетушащих веществ	9	8	6	3	3	4	9	7	5	5	1	1/3	8E+06	3,7670	0,2006
Время ликвидации горения	9	8	6	4	3	5	9	7	6	6	3	1	2E+08	4,8663	0,2591
$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$	62	49,67	29,2	11,817	9,2357	17,6	56,333	42	33,083	24,4	5,9734	3,1067	$S = \sum_{i=1}^n Q_i = 18,782$		

Максимальное собственное значение матрицы $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n s_i q_i^n = 13,551$; индекс согласованности $ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0,141$; отношение согласованности $ОС = ИС / СИ = 0,0953$; где $СИ = 1,48$ – среднее значение случайного индекса (СИ) для матриц порядка $n = 12$ [14, с. 25].

Рассматривая векторы приоритетов, необходимо отметить, что совершенствование третьего направления (создание изолирующего слоя над поверхностью горения) оказалось предпочтительным по следующим подкритериям: затраты на разработку, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность, социальный и индивидуальный риск, экологический риск, время ликвидации горения. Для данных элементов совершенствование АУПТ внесет больший вклад в повышение пожарной безопасности РВС.

Заключительный этап МАИ способствует выбору приоритетного направления повышения пожарной безопасности РВС. Сумма перемноженных векторов приоритета третьего уровня на соответствующий вектор четвертого и будет определять глобальный приоритет каждого направления (табл. 4).

Таблица 3. Матрица сравнительных суждений парных сравнений для четвертого уровня

	Направление A ₁	Направление A ₂	Направление A ₃	Произведение элементов строки	Вес кри- терия	Нормализованная оценка вектора приоритетов
	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	$p_i = a_{i1}a_{i2}a_{i3}$	$Q_i = \sqrt[3]{p_i}$	$q_i^* = Q_i / S$
Затраты на разработку						
A ₁	1	1/7	1/9	0,01587	0,25132	0,05101
A ₂	7	1	1/5	1,4	1,11869	0,22706
A ₃	9	5	1	45	3,55689	0,72193
Затраты на изготовление						
A ₁	1	1/5	1/3	0,06667	0,40548	0,10473
A ₂	5	1	3	15	2,46621	0,63699
A ₃	3	1/3	1	1	1	0,25829
Затраты на эксплуатацию						
A ₁	1	3	5	15	2,46621	0,63699
A ₂	1/3	1	3	1	1	0,25829
A ₃	1/5	1/3	1	0,06667	0,40548	0,10473
Безотказность						
A ₁	1	1/5	1/9	0,02222	0,28114	0,06880
A ₂	5	1	2	10	2,15443	0,52720
A ₃	9	1/2	1	4,5	1,65096	0,40400
Долговечность						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,06680
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471
Сохраняемость						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,06680
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471
Ремонтопригодность						
A ₁	1	1/7	1/5	0,02857	0,30571	0,07460
A ₂	7	1	1/3	2,33333	1,32635	0,32363
A ₃	5	3	1	15	2,46621	0,60177
Социальный и индивидуальный риск						
A ₁	1	1/3	1/7	0,04762	0,36246	0,08794
A ₂	3	1	1/3	1	1	0,24264
A ₃	7	3	1	21	2,75892	0,66942
Экологический риск						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,07193
A ₂	5	1	1/3	1,66667	1,18563	0,27895
A ₃	7	3	1	21	2,75892	0,64912
Технико-экономический риск						
A ₁	1	1/5	1/5	0,04	0,342	0,08563
A ₂	5	1	3	15	2,46621	0,61750
A ₃	1/5	1/3	1	1,66667	1,18563	0,29687
Время подачи огнетушащих веществ						
A ₁	1	3	3	9	2,08008	0,5666
A ₂	1/3	1	5	1,66667	1,18563	0,323
A ₃	1/3	1/5	1	0,06667	0,40548	0,1104
Время ликвидации горения						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,0668
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471

Таблица 4. Многокритериальное ранжирование направлений

	Затраты на разработку	Затраты на изготовление	Затраты на эксплуатацию	Безотказность	Долговечность	Сохраняемость	Ремонтопригодность
Вектор приоритетов для критериев ранжирования (приоритеты 3-го уровня)							
Приоритет	0,0119	0,0189	0,0463	0,1116	0,1337	0,0828	0,0150
Векторы приоритетов для направлений A ₁ , A ₂ и A ₃ (приоритеты 4-го уровня)							
A ₁	0,05101	0,10473	0,63699	0,06880	0,06680	0,06680	0,07460
A ₂	0,22706	0,63699	0,25829	0,52720	0,21849	0,21849	0,32363
A ₃	0,72193	0,25829	0,10473	0,40400	0,71471	0,71471	0,60177

Продолжение таблицы 4

	Социальный и индивидуальный риск	Экологический риск	Технико-экономический риск	Время подачи огнетушащих веществ	Время ликвидации горения	Глобальные приоритеты направлений
Вектор приоритетов для критериев ранжирования (приоритеты 3-го уровня)						
Приоритет	0,0245	0,0349	0,0609	0,2006	0,2591	
Векторы приоритетов для направлений A ₁ , A ₂ и A ₃ (приоритеты 4-го уровня)						
A ₁	0,08794	0,07193	0,08563	0,5666	0,06680	0,1961
A ₂	0,24264	0,27895	0,61750	0,3230	0,21849	0,3123
A ₃	0,66942	0,64912	0,29687	0,1104	0,71471	0,4916

Из представленной таблицы видно, что наиболее важные подкритерии эффективности, такие как надежность и оперативность, включены в направление A₃.

Эффективность одного направления над другим определяется отношением глобальных приоритетов:

$$\frac{A_1}{1} = \frac{A_2}{1,6} = \frac{A_3}{2,5}. \quad (6)$$

Следовательно, совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, а также разработка новых и перспективных приемов прекращения горения для различных сценариев развития ЧС в резервуарах хранения нефтепродуктов является приоритетным направлением повышения пожарной безопасности при возникновении пожара на РВС.

Проведенные исследования также позволяют раскрыть численные составляющие канонического показателя W , определяющего эффективность тушения пожаров РВС любой автоматической установкой пожаротушения. Поскольку каждый компонент W возможно оценить в виде относительных величин $(\tilde{R}, \tilde{N}, \tilde{B}, \tilde{T})$, получим:

$$W = k_1\tilde{R} + k_2\tilde{N} + k_3\tilde{B} + k_4\tilde{T}, \quad (7)$$

где k_i – весовые коэффициенты.

Поскольку экспертный опрос уже проведен в рамках сравнительных суждений третьего уровня (табл. 2), то дополнительных парных сравнений второго уровня можно избежать. В этой ситуации сумма нормализованной оценки векторов приоритетов своего направления и даст искомый весовой коэффициент [14]:

$$k_1 = 0,0119 + 0,0189 + 0,0463 = 0,0771; \quad k_2 = 0,3431; \quad k_3 = 0,1203; \quad k_4 = 0,4597.$$

Вместе с тем предложенные формулы (2)–(5) хоть и были интуитивно понятны и удобны для экспертной оценки, их дальнейшее применение для выявления относительных величин \tilde{R} , \tilde{N} , \tilde{B} и \tilde{T} нередко приводит к существенным затруднениям численного определения. Приведем возможный подход дальнейшего расчета компонентов W , который авторами видится удобным как по оперативности его применения, так и по количеству исходных данных.

Ресурсоемкость определяется величиной $R_{л}$ затраченных сил и средств, направленных на ликвидацию ЧС, от общего $R_{д}$ количества ресурсов, привлекаемых к ликвидации пожара на РВС:

$$\tilde{R} = 1 - \frac{R_{л}}{R_{д}}. \quad (8)$$

Надежность, в свою очередь, определяется вероятностью безотказной работы [5; 6]:

$$\tilde{N} = e^{-\frac{t}{T^*}}, \quad (9)$$

где t – суммарное время наработки АУПТ;

T^* – время наработки на одну неисправность.

Безопасность определяется социальным, индивидуальным, экологическим и технико-экономическим рисками. С одной стороны, данный компонент эффективности может быть определен как произведение вероятности события на меру ожидаемых последствий [16–19]. С другой – показателем риска может служить сумма ущербов от всех возможных событий, если в течение рассматриваемого периода произойдет несколько опасных событий. Тогда мера риска (средний риск) B_p , выражаемая в тех же показателях, что и ущерб, будет определена следующей зависимостью:

$$B_p = \sum_{i=1}^m p_i U_i, \quad (10)$$

где U_i – величина ущерба в стоимостном выражении

p_i – вероятность наступления неблагоприятного события (группы событий);

m – число возможных вариантов ущербов при наступлении неблагоприятного события.

Безопасность можно определить отношением величины предотвращенного ущерба $U_{п}$ к максимально ожидаемому U_{\max} :

$$\tilde{B} = 1 - \frac{B_p}{U_{\max}} = \frac{U_{\max} - B_p}{U_{\max}} = \frac{U_{п}}{U_{\max}}. \quad (11)$$

Оперативность целесообразно определить из условия своевременности ликвидации пожара в РВС:

$$\tilde{T} = \begin{cases} 1 - T_{л} / T_{п} & \text{при } T_{л} \leq T_{п}, \\ 0 & \text{при } T_{л} > T_{п}, \end{cases} \quad (12)$$

где $T_{л}$ – время ликвидации пожара на РВС при запуске АУПТ (принимается исходя из суммы временных интервалов $\tau_n + \tau_{л}$);

$T_{п}$ – расчетное время тушения (например, для установок пенного пожаротушения составляет 10 мин³).

Заключение

Представленная в работе модель оценки эффективности тушения пожаров резервуаров нефтепродуктов характеризуется учетом ресурсоемкости, безопасности, надежности и оперативности применяемых способов пожаротушения. Определенные с помощью МАИ весовые коэффициенты позволяют говорить о приоритетности надежности и оперативности.

Проведенные исследования позволили выделить приоритетное направление повышения пожарной безопасности на РВС – совершенствование способов создания изолирующего

³ СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности». – Введ. 01.01.14.

слоя над поверхностью горения, показать необходимость разработки новых и перспективных способов прекращения горения, а также смоделировать показатель эффективности автоматических установок пожаротушения резервуарного парка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пастухов, К.В. Пути и способы тушения пожаров в резервуарах хранения нефтепродуктов / К.В. Пастухов, А.С. Перевалов, А.В. Мироньчев // Техносферная безопасность. – 2019. – № 2 (23). – С. 22–32. – EDN: WVABLW.
2. Перевалов, А.С. Перспективы применения системы жалюзи при автоматическом тушении резервуарного парка / А.С. Перевалов, М.А. Рассохин, А.В. Юркин // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 2 (12). – С. 183–186. – EDN: VHNOEX.
3. Jenft, A. Modeling of fire suppression by fuel cooling / A. Jenft, P. Boulet, A. Collin [et al.] // Fire Safety Journal. – 2017. – Vol. 91. – P. 680–687. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.067.
4. Peller, A.T. A new approach to extinguishing fires on combustible-liquid storage tanks / A.T. Peller // International Fire Protection. – 2018. – Iss. 74. – P. 22–25. – Url: <https://ifpmag.com/a-new-approach-to-extinguishing-fires-on-combustible-liquid-storage-tanks/>.
5. Zhao, H. The feasibility study of extinguishing oil tank fire by using compressed air foam system / H. Zhao, J.-S. Liu // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 135. – P. 61–66. – DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.080.
6. Полотно для тушения пожаров в резервуарах: пат. на полез. модель RU 222179U1 / А.С. Перевалов, К.В. Пастухов, Н.О. Девяткин, М.А. Рассохин, В.Н. Сащенко, А.В. Юркин. – Опубл. 14.12.2023.
7. Перевалов, А.С. Перспективные приемы ликвидации пожаров с нефтепродуктами в резервуарах вертикальных стальных / А.С. Перевалов // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России: материалы юбилейного X форума, Санкт-Петербург, 15 окт. 2020 г. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 66–68. – EDN: CNFIXT.
8. Mykhalichko, B. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions / B. Mykhalichko, H. Lavrenyuk, O. Mykhalichko // Fire Safety Journal. – 2019. – Vol. 105. – P. 188–195. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005.
9. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. В.С. Авдеевский – М.: Машиностроение, 1986–1990. – Т. 3: Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 1988. – 328 с.
10. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1: Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – М.: Министерство обороны СССР, 1989. – 660 с.
11. Перевалов, А.С. Обоснование показателей качества целенаправленных процессов повышения безопасности на акватории внутренних водоемов / А.С. Перевалов, В.П. Сугак, Ю.В. Сметанин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 4 (24). – С. 42–46. – EDN: PYQWBV.
12. Барлоу, Р.Е. Математическая теория надежности / Р.Е. Барлоу, Ф. Прошан; пер. с англ. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
13. Зубарев, Ю.А. Энциклопедический словарь терминов по менеджменту, маркетингу, экономике, предпринимательству: учеб. пособие: в 2 т. / Ю.А. Зубарев, А.И. Шамардин. – Волгоград: Бибком, 2012. – Т. 2.
14. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
15. Сугак, В.П. Многокритериальный выбор методом анализа иерархий: монография / В.П. Сугак, В.М. Моргунов, Е.С. Калинина; под ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2010. – 72 с.

16. Алымов, В.Т. Анализ техногенного риска: учеб. пособие / В.Т. Алымов, В.П. Крапчатов, Н.П. Тарасова. – М.: Круглый год, 2000. – 156 с.
17. Сугак, Е.В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском / Е.В. Сугак, Е.Н. Окладникова, Л.В. Ермолаева // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2008. – № 4 (21). – С. 87–91. – EDN: JWJUER.
18. Гражданкин, А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 33–36. – EDN: JVVUEJ.
19. Сугак, Е.В. Современные методы оценки экологических рисков / Е.В. Сугак // Европейский журнал социальных наук. – 2014. – № 5-2 (44). – Т. 2. – С. 427–433. – EDN: SPDDTV.

Модель оценки эффективности тушения пожаров резервуаров нефтепродуктов
Model for assessing the efficiency of fire extinguishing reservoirs of oil products

Перевалов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Уральский институт ГПС МЧС России,
кафедра специальной подготовки,
начальник кафедры

Адрес: ул. Мира, 22,
620062, г. Екатеринбург,
Свердловская обл., Россия
Email: pas_ural@mail.ru
SPIN-код: 7948-9189

Andrey S. Perevalov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Ural Institute of State Fire Service
of EMERCOM of Russia,
Chair of Special Training,
Head of the Chair

Address: Mira str., 22,
620062, Ekaterinburg,
Sverdlovsk region, Russia
Email: pas_ural@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5426-2992

Пастухов Константин Васильевич

Публичное акционерное общество
«Уралмашзавод», управление охраны
труда и промышленной безопасности,
заместитель начальника управления

Адрес: пл. 1-й Пятилетки,
620012, г. Екатеринбург,
Свердловская обл., Россия
Email: kosoi911@mail.ru
SPIN-код: 6292-5900

Konstantin V. Pastukhov

Public Joint Stock Company «Uralmashzavod»,
Division of Labor Protection and Industrial Safety,
Deputy Head of the Division

Address: 1st Pyatiletka sq.,
620012, Ekaterinburg,
Sverdlovsk region, Russia
Email: kosoi911@mail.ru
ORCID: 0009-0009-4681-4572

MODEL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING RESERVOIRS OF OIL PRODUCTS

Perevalov A.S., Pastukhov K.V.

Purpose. Development of a model for assessing the efficiency of fire extinguishing of oil product storage tanks; substantiation of promising fire extinguishing methods for vertical steel tanks (hereinafter - VST).

Methods. Justification of promising methods of fire extinguishing in oil product storage tank farms was carried out by the method of hierarchy analysis.

Findings. The canonical efficiency indicator including resource intensity, reliability, safety and efficiency with their subsequent decomposition in hierarchical form is presented. The available subjective judgments of experts allow not only to identify one priority direction of improving the methods of fire extinguishing in VST, but also to determine the weight coefficients of efficiency indicators. Improvement of methods of creating an insulating layer over the combustion surface, as well as the development of new and promising techniques to stop combustion for different scenarios of emergency development in oil product storage tanks, is a priority direction to improve fire safety in case of fire in VST.

Application field of research. The results of the research allow not only identifying the priority direction of fire safety improvement in case of fire on VST, in particular, improving the methods of creating an insulating layer over the combustion surface, but also to model the efficiency index of automatic fire extinguishing installations of the tank farm.

Keywords: efficiency, hierarchy analysis method, resource intensity, reliability, safety, responsiveness.

(The date of submitting: May 24, 2024)

REFERENCES

1. Perevalov A.S., Pastukhov K.V., Mironchev A.V. Puti i sposoby tusheniya pozharov v rezervuarakh khraneniya nefteproduktov [Ways and methods of fire extinguishing in oil producer reservoirs]. *Technosphere Safety*, 2019. No. 2 (23). Pp. 22–32. (rus). EDN: WVABLW.
2. Perevalov A.S., M.A. Rassokhin, Yurkin A.V. Perspektivy primeneniya sistemy zhalyuzi pri avtomaticheskom tushenii rezervuarnogo parka [Prospects for the use the shutter system for automatic extinguishing of the tank farm]. *Fire and Technospheric Safety: Problems and Ways of Improvement*, 2022. No. 2 (12). Pp. 183–186. (rus). EDN: VHNOEX.
3. Jenft A., Boulet P., Collin A., Trevisan N., Mauger P.-N., Pianet G. Modeling of fire suppression by fuel cooling. *Fire Safety Journal*, 2017. Vol. 91. Pp. 680–687. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.067.
4. Peller A.T. A new approach to extinguishing fires on combustible-liquid storage tanks. *International Fire Fighter*, 2018. Iss. 74. P. 22–25. Url: <https://ifpmag.com/a-new-approach-to-extinguishing-fires-on-combustible-liquid-storage-tanks/>.
5. Zhao H., Liu J.-S. The feasibility study of extinguishing oil tank fire by using compressed air foam system. *Procedia Engineering*, 2016. Vol. 135. Pp. 61–66. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.080.
6. Perevalov A.S., Pastukhov K.V., Devyatkin N.O., Rassokhin M.A., Sashchenko V.N., Yurkin A.V. *Polotno dlya tusheniya pozharov v rezervuarakh* [Blanket for extinguishing fires in tanks]: patent fot utility model RU 222179U1. Published December 14, 2023. (rus)
7. Perevalov A.S. Perspektivnye priemy likvidatsii pozharov s nefteproduktami v rezervuarakh vertikal'nykh stal'nykh [Perspective techniques for eliminating fires in reservoirs with oil products]. *Proc. of X Anniversary Forum «Shkola molodyh uchyonih i specialistov MCHS Rossii»* [«School of young scientists and specialists of EMERCOM of Russia»], Saint-Petersburg, October 15, 2020. Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2020. (rus). EDN: CNFIXT.
8. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 105. Pp. 188–195. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005.
9. Avduevskiy V.S. et al. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike* [Reliability and efficiency in technology]: reference book in 10 volumes. Moscow: Mashinostroenie, 1986–1990. Vol. 3: *Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Efficiency of technical systems]: ed. by Utkin V.F., Kryuchkov Yu.V. 1988. 328 p. (rus)

10. Petukhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Ch. 1: Metodologiya, metody, modeli* [Fundamentals of the theory of efficiency of targeted processes. Part 1: Methodology, methods, models]: tutorial. Moscow: Ministry of Defense of USSR, 1989. 660 p. (rus)
11. Perevalov A.S., Sugak V.P., Smetanin Yu.V. Obosnovanie pokazateley kachestva tselenapravlennykh protsessov povysheniya bezopasnosti na akvatorii vnutrennikh vodoemov [Justification of quality indicators of targeted safety improvement processes in the water area of inland water bodies]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2012. No. 4 (24). Pp. 42–46. EDN: PYQWBV.
12. Barlow R.E., Proschan F. *Mathematical theory of reliability*: translation from English. Moscow: Sovetskoe radio, 1969. 488 p. (rus)
13. Zubarev Yu.A., A.I. Shamardin. *Entsiklopedicheskiy slovar' terminov po menedzhmentu, marketingu, ekonomike, predprinimatel'stvu* [Encyclopedic dictionary of terms on management, marketing, economics, entrepreneurship]. Tutorial in 2 volumes. Volgograd: Bibkom, 2012. Vol. 2. (rus)
14. Saati T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [How to make a decision. The analytic hierarchy process]: translation from English. Moscow: Radio i svyaz', 1993. 314 p. (rus)
15. Sugak V.P., Morgunov V.M., Kalinina E.S. *Mnogokriterial'nyy vybor metodom analiza ierarkhiy* [Multicriteria choice by hierarchy analysis]: monograph. Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2010. 72 p. (rus)
16. Alymov V. T., Krapchatov V. P., Tarasova N. P. *Analiz tekhnogenogo riska* [Analysis of technogenic risk]: tutorial. Moscow: Kruglyy god, 2000. 156 p. (rus)
17. Sugak E.V., Okladnikova E.N., Ermolaeva L.V. *Informatsionnye tekhnologii upravleniya sotsial'no-ekologicheskim riskom* [Information control technologies of social-ecologic risk]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva*, 2008. No. 4 (21). Pp. 87–91. (rus). EDN: JWJUEP.
18. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. *Ispol'zovanie veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov* [Use of probabilistic assessments in analyzing the safety of hazardous production facilities]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2001. No. 5. Pp. 33–36. (rus). EDN: JVVUEJ.
19. Sugak E.V. *Sovremennyye metody otsenki ekologicheskikh riskov* [Modern methods of estimation of environmental risk]. *European Social Science Journal*, 2014. No. 5-2 (44). Pp. 427–433. (rus). EDN: SPDDTV.