В ЭТОМ НОМЕРЕ:

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

К ВОПРОСУ ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ КОББА – ДУГЛАСА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПОЖАРНОЙ СТАСТИСТИКИ
Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И…….. **3**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКРЫВНОЙ РУКАВНОЙ ЗАДЕРЖКИ ПРИ БОЕВОМ РАЗВЕРТЫВАНИИ
Семенов А. Д., Харламов Р. И., Бочкарев А. Н. Моисеев Ю. Н.…… **16**

ПУТИ И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ
Перевалов А.С., Пастухов К. В., Мироньчев А. В.…… **22**

ВЛИЯНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПОВЕРХНОСТНОГО МЕЖКАПЕЛЬНОГО ПРОБОЯ НА РИСК ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА
Сачков И. Н., Чистяков М. А., Куанышев В. Т., Шнайдер А. В.…… **33**

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
Муфтахова Э. Д., Васильева Т. В., Хафизов И. Ф., Хафизов Ф. Ш., Султанов Р. М.…… **42**

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ НАНОСТРУКТУР В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОГО РИСКА НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА
Иванов А. В., Мифтахутдинова А. А., Скрипник И. Л., Шугаибов Р. А.…… **49**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
Кректунов А. А., Шавалеев М. Р., Тужиков Е. Н., Черепанов Е. А., Бараковских М. В., Ольховикова С.В…… **58**

ПРИМЕНЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ОДИНОЧНОЙ И ГРУППОВОЙ ПРОКЛАДКЕ
Мансуров Т. Х., Беззапонная О. В., Головина Е. В., Сафронова И. Г.…… **65**

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «НОРМИРОВАНИЯ – ЛИНЕЙНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»
Губина Т. А., Зубровский Г. Б., Мосолов А. А., Мосолов А. С., Прус Ю. В.…… **74**

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В МЧС РОССИИ
Тужиков Е. Н., Перевалов А. С., Рассохин М. А., Цыганков А. П…… **85**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ
Сивенков А. Б., Хасанова Г. Ш.…… **92**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ
Криворогова А. С., Беззапонная О. В……. ***98***

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПОЖАРА НА ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
Карькин И. Н., Контарь Н. А., Субачев С. В., Субачева А. А.…….……. ***103***

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.84:5192+51-77 *kaibitchev@mail.ru*

К ВОПРОСУ ОБ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ КОББА – ДУГЛАСА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПОЖАРНОЙ СТАТИСТИКИ

TO THE QUESTION ABOUT KOBBA-DUGLAS MODELS ADEQUACY I N TEMPORARY ROWS FIREMAN STASTISTICS FORECASTING

Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Кайбичева Е. И., кандидат экономических наук,
Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург

Kaibichev I. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Kaibicheva E. I.,
Ural State University of Economics, Yekaterinburg

Рассмотрен вопрос адекватности моделирования временных рядов пожарной статистики России с помощью производственной функции Кобба – Дугласа. В итоге исследования доказано, что с вероятностью 0,99 модель Кобба – Дугласа числа пожаров в Российской Федерации ошибочна. Установлено, что число пожаров и ВВП в период 2001-2016 гг. практически линейно зависели от номера года. Предложена линейная модель связи числа пожаров в Российской Федерации с номером года. Проверены гипотезы об уровне значимости коэффициента регрессии в линейной модели. С вероятностью 0,99 установлено, что коэффициент регрессии отличен от нуля. С вероятностью 0,99 определен доверительный интервал для коэффициента регрессии. Рассмотрена возможность описания зависимости числа пожаров в Российской Федерации от номера года нелинейной моделью в виде степенной функции. Сравнение нелинейной модели с линейной показало, что нелинейная модель не приводила к улучшению качества прогноза.

Ключевые слова: математическая модель, временные ряды, пожарная статистика, число пожаров, Российская Федерация.

The considered question about adequacy of modeling of the temporary rows fireman statistics to Russia by means of production function Kobba-Douglas. As a result, the study proved that the probability of 0.99 Cobb-Douglas model of the number of fires in the Russian Federation is erroneous. It was found that the number of fires and GDP in the period 2001-2016 depended almost linearly on the number of years. The linear model of connection of number of fires in the Russian Federation with number of year is offered. Hypotheses about the significance level of the regression coefficient in the linear model are tested. With a probability of 0.99 it was found that the regression coefficient is different from zero. The confidence interval for the regression coefficient was determined with a probability of 0.99. The possibility of describing the dependence of the number of fires in the Russian Federation on the year number by a nonlinear model in the form of a power function is considered. Comparison of the nonlinear model with the linear one showed that the nonlinear model did not lead to improvement of the forecast quality.

Keywords: the mathematical model, temporary rows, fireman statistics, fire number, Russian Federation.

Математические модели временных рядов часто применялись при исследованиях в области пожарной безопасности. Например, зависимость числа пожаров за год на объектах с обращением нефтепродуктов в 2000–2013 годах от номера года аппроксимировали линейным трендом [1].

Анализ обстановки с городскими пожарами в Пензенской области показал адекватность моделей в виде полиномов второй степени [2].

В Ивановской области количество пожаров в большинстве муниципалитетов аппроксимирует полином 2 или 3 степени [3].

В исследованиях Пранова для описания количества пожаров на территории Российской Федерации и США использована многофакторная модель Кобба – Дугласа [4,5]. Для Российской Федерации предложена зависимость [4]:

$$Y=292{,}195*X_1^{-0{,}251}*X_2^{0{,}098}. \quad (1)$$

Здесь Y – число пожаров на территории Российской Федерации, X_1 – величина валового внутреннего продукта (ВВП), X_2 – численность населения. Для расчетов были использованы статистические данные 2002-2013 годов. Коэффициент корреляции между фактическим числом пожаров и модельными значениями составил 0,964 [4].

В случае выбора факторов X_1 – стоимость основных фондов (трлн руб.) и X_2 – численность населения (млн чел.) параметры модели меняются [4]:

$$Y=358{,}075*X_1^{-0{,}269}*X_2^{0{,}106}. \quad (2)$$

Для расчетов были использованы статистические данные 2002-2012 годов. Коэффициент корреляции между статистическими данными и моделью равен 0,994 [4].

Для США в работе [4] представлен график сравнения результатов моделирования материального ущерба от пожаров с фактическими показателями 2006-2011 годов. Самой математической модели в виде формулы нет.

В работе [5] число пожаров в Российской Федерации аппроксимировали линейной функцией

$$Y=-179{,}868+3{,}059*X_1-0{,}772*X_2. \quad (3)$$

Здесь Y – число пожаров на территории Российской Федерации, X_1 – численность населения, X_2 – основные фонды. Коэффициент корреляции статистических данных с моделью равен 0,991. Коэффициент корреляции числа пожаров (Y) с основными фондами (X_2) равен – 0,986. В работе [5] отмечалось, что аппроксимация числа пожаров формулой (3) приводит к выводу об уменьшении числа пожаров при увеличении основных фондов. Пранов считал [5], что это противоречит здравому смыслу. Ошибка прогноза на 2016 год по формуле (3) составила - 8,2 %. По мнению Пранова аппроксимация (3) дает заниженный результат прогноза [5].

Аппроксимация производственной функцией Кобба – Дугласа дала результат [5]:

$$Y=1317{,}368*X_1^{-0{,}132}*X_2^{-0{,}294}. \quad (4)$$

Ошибка прогноза на 2016 год составила 3,6 %. Коэффициент корреляции между статистическими данными и моделью (4) равен 0,988.

Несмотря на убедительность результатов работ [4, 5] есть сомнения в адекватности предложенных моделей Кобба-Дугласа для количества пожаров.

Первая проблема состоит в том, что корреляционный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации за 2001–2015 годы показал [6], что количество пожаров линейно зависит от фактора времени, последний учитывался путем задания номера года [6]. Коэффициенты этой линейной аппроксимации были установлены в

результате регрессионного анализа [7]. Зависимость от времени в работах Пранова [4, 5] не учитывалась. Поэтому возможны две ситуации. Первая – в исследованиях Пранова фактор времени не учтен. Вторая – от времени могут зависеть численность населения, основные фонды, величина ВВП. Тогда зависимость от времени будет неявной.

Вторая и более серьезная проблема состоит в том, что корреляционный анализ данных 2001-2015 годов показал независимость количества пожаров от численности населения [8-10]. Для коэффициента корреляции в работе [8] получено значение 0,12. Это ставит под сомнение правомерность включения численности населения в модель.

Для выяснения возникших вопросов выполним корреляционный анализ количества пожаров, величины ВВП, размера основных фондов и численности населения в Российской Федерации.

Для оценки тесноты связи между двумя переменными используют коэффициент линейной корреляции Пирсона [11]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\breve{x})(y_i-\breve{y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\breve{x})^2][\sum_{i=1}^{n}(y_i-\breve{y})^2]}}, \qquad (5)$$

где x_i, y_i – числовые значения рассматриваемых переменных, $\breve{x}$, $\breve{y}$ – их средние значения, n – объем выборки. При расчетах в работе [8] использованы данные 15 годов (n = 15). При малом объеме выборки (n < 100) проводят перерасчет коэффициента корреляции [11]:

$$r' = r\left[1 + \frac{1-r^2}{2(n-3)}\right], \qquad (6)$$

где r – рассчитанное по формуле (5) значение коэффициента линейной корреляции Пирсона.

Расчет коэффициентов корреляции по формулам (5, 6) по данным 2002-2013 годов привел к следующим результатам (табл. 1). Коэффициент корреляции r' между числом пожаров и ВВП равен 0,98. Для числа пожаров и основных фондов пожаров и основных фондов получили 0,99. Для числа пожаров и численности населения имеем 0,53. Поскольку коэффициент корреляции r' по модулю больше 0,5, то число пожаров зависит от ВВП, основных фондов и численности населения.

Таблица 1

Расчет коэффициентов корреляции между числом пожаров и ВВП, основными фондами, численностью населения в период с 2002 по 2013 гг.

Год	Пожары (тыс.)	ВВП (млрд руб.)	Основные фонды (млрд руб.)	Численность населения (млн чел.)
2002	259,84	10831	24431	145,0
2003	239,29	13208	32173	144,2
2004	231,49	17027	34874	143,5
2005	226,95	21610	41494	143,2
2006	218,57	26917	47489	142,8
2007	211,16	33248	60391	142,8
2008	200,39	41277	74441	142,7
2009	187,49	38807	82303	142,8
2010	179,98	46309	93186	142,9
2011	168,53	59698	108001	143,0
2012	162,98	66927	121269	143,3
2013	153,21	71017	133522	143,7
r		-0,98	-0,98	0,51
r'		-0,98	-0,99	0,53

Отметим, что числа пожаров взяты из работы Пранова [4], данные по ВВП, основным фондам и численности населения из статистических сборников [12-18]. В работе Пранова [4] они не приведены.

Заметим, что коэффициент корреляции r' числа пожаров с ВВП и основными фондами практически одинаков. Возникает вопрос, почему Пранов не включил в модель Кобба – Дугласа 3 фактора (ВВП, основные фонды, численность населения).

Возникает предположение о возможной зависимости ВВП и основных фондов. Расчет коэффициента корреляции r' привел к результату 0,99. Поэтому ВВП и основные фонды являются зависимыми переменными. В модель целесообразно включить одну из этих переменных (ВВП или основные фонды). В дальнейшем мы оставим один из факторов – ВВП.

Проверим наличие зависимости между численностью населения и ВВП, основными фондами. Коэффициент корреляции r' между численностью населения и ВВП составил -0,41. Эта величина по модулю меньше 0,5. Следовательно, численность населения и ВВП можно считать независимыми переменными. Коэффициент корреляции r' между численностью населения и основными фондами равен 0,39. Поэтому численность населения и основные фонды можно считать независимыми переменными.

Коэффициент корреляции r' между числом пожаров и численностью населения равен 0,53. Эта величина близка к граничному значению 0,5. При превышении r' по модулю граничного значения зависимость между двумя переменными есть, в противоположном случае переменные друг от друга не зависят.

Выполним проверку значимости коэффициента корреляции между числом пожаров и численностью населения. Формулируем нулевую гипотезу – коэффициент корреляции между числом пожаров и численностью населения r' равен 0, связи между этими величинами нет.

При малом объеме данных (n < 100) для проверки гипотезы об отсутствии корреляции между исследуемыми величинами используется преобразование Фишера [11]:

$$u = \frac{1}{2}\ln\frac{1+r'}{1-r'}, \qquad (7)$$

где r' – скорректированное значение выборочного коэффициента корреляции. Расчет по формуле (7) дал значение u = 0,586. Проверка нулевой гипотезы заключается в вычислении значения u и сопоставления его с критическим.

$$u_\alpha(n) = z_{1-\frac{\alpha}{2}}\left(\frac{1}{\sqrt{n-3}}\right), \qquad (8)$$

где $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ – квантили нормированного распределения: $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = 1,960 для уровня значимости α = 0,05 и $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = 2,576 для α = 0,01. В нашем случае n = 12 критические значения равны $u_{0,05}(12) = 0{,}653$, $u_{0,01}(12) = 0{,}859$. При уровне значимости α = 0,05 выполняется неравенство $|u| < u_{0,05}(12)$ и принимается нулевая гипотеза. В этом случае коэффициент корреляции между числом пожаров и численностью населения равен нулю. Следовательно, с вероятностью 95 % связи между числом пожаров и численностью населения нет. При уменьшении уровня значимости α до значения 0,01 имеет место неравенство $|u| < u_{0,01}(12)$. Поэтому принимаем нулевую гипотезу. Следовательно, вероятность отсутствия связи между числом пожаров и численностью населения повышается до 99 %.

Тем самым с вероятностью 99 % доказано, что модель Кобба – Дугласа, предложенная Прановым для числа пожаров в Российской Федерации [4], ошибочна. Ошибка состоит в том, что Пранов [4] включил в модель численность насе-

ления. На самом деле число пожаров от численности населения не зависит.

Выполним интервальную оценку коэффициента корреляции между числом пожаров и численностью населения.

Нижнюю границу доверительного интервала для коэффициента корреляции r_1' находят по формуле [11]:

$$r_1' = \frac{e^{2u_1-1}}{e^{2u_1+1}}, \qquad (9)$$

где $u_1 = u - u_\alpha(n)$. Верхняя граница доверительного интервала r_2' задается формулой (8) при замене $u_1 \to u_2$, где $u_2 = u + u_\alpha(n)$. При уровне значимости α = 0,01 получаем нижнюю границу r_1' = -0,27, верхнюю границу r_2' = 0,89. Ранее для коэффициента корреляции между числом пожаров и численностью населения было получено значение 0,53 (табл. 1). Оно падает в рассчитанный доверительный интервал.

Рассмотрим вопрос о наличии зависимости от времени. Фактор времени будем учитывать путем задания номера года. Коэффициент корреляции между номером года и числом пожаров за 2002–2013 гг. составил -0,996, а r' = - 1,00. Поэтому число пожаров линейно зависит от номера года. Коэффициент корреляции между номером года и ВВП составил 0,985, а r' = 0,99. Связь этих факторов практически линейна. Поэтому зависимость числа пожаров от ВВП, которую обнаружил Пранов [4, 5], возникла из-за того, что оба фактора (число пожаров и ВВП) зависели от времени. Возможность зависимости от времени в работах Пранова не учитывалась.

В реальности мы имеем простую линейную модель

$$Y=-9{,}228*T + 18729{,}18. \qquad (10)$$

Здесь Y – число пожаров, T – время (задаваемое номером года, в нашем случае принимает значения 2002, 2003, …, 2013). Коэффициенты линейной модели (10) найдены с помощью метода наименьших квадратов [11]. Показателем качества модели часто выступает среднее значение квадрата ошибки. Ошибку находят путем вычитания прогнозных значений из фактических (табл. 2). Отметим, что среднее значение ошибки равно нулю (табл. 2). Коэффициент корреляции между ошибкой и номером года составил $-1{,}61923*10^{-14}$. Эта величина практически равна нулю. Следовательно, зависимости между ошибкой модели и номером года нет. Это позволяет считать ошибку модели случайной величиной.

Результаты расчетов могут зависеть от выбранного периода наблюдений. Поэтому рассмотрим статистические данные 2001-2016 годов [12-33]. Коэффициенты корреляции между числом пожаров и ВВП, основными фондами практически не изменились (табл. 3). Коэффициент корреляции между числом пожаров и численностью населения снизился с 0,53 (табл. 1) до -0,29 (табл. 3). В этом случае зависимость между числом пожаров и численностью населения очень слабая.

Таблица 2

Сравнение фактических и модельных значений

Год	Пожары (тыс.)	Модель	Ошибка	Квадрат
2002	259,84	254,08	5,76	33,19
2003	239,29	244,85	-5,56	30,92
2004	231,49	235,62	-4,13	17,08
2005	226,95	226,39	0,56	0,31
2006	218,57	217,17	1,40	1,97
2007	211,16	207,94	3,22	10,38
2008	200,39	198,71	1,68	2,83

2009	187,49	189,48	-1,99	3,96
2010	179,98	180,25	-0,27	0,07
2011	168,53	171,02	-2,49	6,22
2012	162,98	161,80	1,18	1,40
2013	153,21	152,57	0,64	0,41
среднее	203,32	203,32	0,00	9,06

Выполним проверку значимости коэффициента корреляции между числом пожаров и численностью населения. Формулируем нулевую гипотезу – коэффициент корреляции между числом пожаров и численностью населения r' равен 0, связи между этими величинами нет. По формуле (7) находим значение u = -0,295. При уровне значимости α = 0,01 из (8) находим критическое значение $u_{0,01}(16) = 0{,}714$. Заметим, что выполняется неравенство $|u| < u_{0,05}(16)$. Следовательно, справедлива нулевая гипотеза. Таким образом, вывод об отсутствии связи между числом пожаров и численностью населения не изменился при увеличении рассматриваемого временного периода до 2001-2016 гг.

Расчет коэффициента корреляции r' между ВВП и основными фондами по данным 2001-2016 гг. привел к результату 0,99.

Таблица 3

Расчет коэффициентов корреляции между числом пожаров и ВВП, основными фондами, численностью населения в период 2001-2016 гг.

Год	Пожары (тыс.)	ВВП (млрд руб.)	Основные фонды (млрд руб.)	Численность населения (млн чел.)
2001	246,5	8944	20241	145,6
2002	260,8	10831	24431	145,0
2003	239,2	13208	32173	144,2
2004	233,2	17027	34874	143,5
2005	229,8	21610	41494	143,2
2006	220,5	26917	47489	142,8
2007	212,6	33248	60391	142,8
2008	202,0	41277	74441	142,7
2009	187,6	38807	82303	142,8
2010	179,5	46309	93186	142,9
2011	168,5	59698	108001	143,0
2012	162,9	66927	121269	143,3
2013	153,5	71017	133522	143,7
2014	150,8	77945	147430	146,3
2015	145,9	80804	160725	146,5
2016	139,5	86044	183404	146,8
r		-0,98	-0,98	-0,28
r'		-0,98	-0,98	-0,29

Поэтому вывод о взаимной зависимости ВВП и основных фондов не изменился при увеличении рассматриваемого временного периода до 2001-2016 гг. В дальнейшем мы оставим один из факторов – ВВП.

Коэффициент корреляции r' между численностью населения и ВВП в период 2001-2016 гг. составил 0,39. Эта ве-

личина меньше 0,5. Следовательно, численность населения и ВВП можно считать независимыми переменными.

При уровне значимости α = 0,01 из (9) находим нижнюю границу доверительного интервала для коэффициента корреляции r_1' = -0,77, верхнюю границу r_2' = 0,40. Ранее для коэффициента корреляции между числом пожаров и численностью населения было получено значение -0,29 (табл. 3). Оно падает в рассчитанный доверительный интервал.

Рассмотрим вопрос о наличии зависимости от времени, который будем учитывать путем задания номера года. Коэффициент корреляции между номером года и числом пожаров за 2002–2016 гг. составил -0,990, а r' = - 0.991. Поэтому число пожаров линейно зависит от номера года. Коэффициент корреляции между номером года и ВВП составил 0,990, а r' = 0.991. Связь номера года и ВВП практически линейна. В итоге получили, что число пожаров и ВВП линейно зависят от времени (номера года). Поэтому имеет место линейная модель

$$Y = -8{,}28 * T + 16826{,}18. \qquad (11)$$

Здесь Y – число пожаров, T – время (задаваемое номером года, в нашем случае принимает значения 2001, 2002, …, 2016). Коэффициенты линейной модели (11) найдены с помощью метода наименьших квадратов [11]. Отметим, что среднее значение ошибки на период базы прогноза равно нулю (табл. 4).

Коэффициент корреляции между ошибкой и номером года составил - $2{,}38652*10^{-15}$. Эта величина практически равна нулю. Следовательно, зависимости между ошибкой модели и номером года нет. Это позволяет считать ошибку модели случайной величиной.

Таблица 4

Сравнение фактических и модельных значений за 2001-2016 гг.

Год	Пожары (тыс.)	Модель	Ошибка	Квадрат
2001	246,5	257,9	-11,4	130,0
2002	260,8	249,6	11,2	125,0
2003	239,2	241,3	-2,1	4,6
2004	233,2	233,1	0,1	0,0
2005	229,8	224,8	5,0	25,2
2006	220,5	216,5	4,0	16,0
2007	212,6	208,2	4,4	19,2
2008	202,0	199,9	2,1	4,2
2009	187,6	191,7	-4,1	16,5
2010	179,5	183,4	-3,9	15,1
2011	168,5	175,1	-6,6	43,6
2012	162,9	166,8	-3,9	15,4
2013	153,5	158,5	-5,0	25,4
2014	150,8	150,3	0,5	0,3
2015	145,9	142,0	3,9	15,4
2016	139,5	133,7	5,8	33,6
среднее	195,8	195,8	0,0	30,6

Прогноз на 2017 год по формуле (11) дал результат 125,4 тыс. пожаров. Фактическое значение 132,4 тыс. [33].

Ошибка прогноза составила 8,8 тыс. пожаров. Относительная ошибка равна 7 %.

Выполним прогноз на 2018 год. При этом происходит расширение базы прогноза на период 2001-2017 гг. Это проведет к изменению коэффициентов модели (11). Расчет привел к результату

$$Y = - 8{,}108 * T + 16480{,}838. \quad (12)$$

Здесь Y – число пожаров, T – время (задаваемое номером года, в нашем случае принимает значения 2001, 2002, …, 2017). Отметим, что среднее значение ошибки на период базы прогноза равно нулю (табл. 5).

Прогноз на 2018 год по формуле (12) дал результат 119,2 тыс. пожаров. На данный момент для 2018 года нет фактических показателей. Поэтому сравнить этот результат не с чем.

Отметим, что расширение базы прогноза приводит к увеличению среднего значения квадрата ошибки. При базе прогноза 2002-2013 гг. среднее значение квадрата ошибки составило 9,06 (табл. 2). Расширение базы прогноза на период 2001-2016 гг. увеличило это значение до 30,6 (табл. 4), В случае базы прогноза 2001-2017 гг. получили 32,3 (табл. 5).

Коэффициент детерминации для модели (12) составил 98 %. Этот результат показывает, что линейная модель (12) объясняет 98 % результатов.

Рассмотрим вопрос о значимости коэффициентов регрессии в линейной модели (12). Параметр при переменной T принято называть коэффициентом регрессии, оставшийся параметр – свободным членом. Задачу упрощают. Для этого уравнение (12) записывают в виде

$$Y - Y_{ср} = a * (T - T_{ср}). \quad (13)$$

В уравнении (13) участвует только коэффициент регрессии a. В нашем случае $Y_{ср} = 192{,}3$, $T_{ср} = 2009$. С помощью регрессионного анализа и метода наименьших квадратов установили, что коэффициент регрессии a = - 8,108. Поэтому в дальнейшем нам надо проверить значимость только коэффициента регрессии.

Таблица 5

Сравнение фактических и модельных значений за 2001-2017 гг.

Год	Пожары (тыс.)	Модель	Ошибка	Квадрат
2001	246,5	257,0	-10,5	111,1
2002	260,8	248,9	11,9	140,9
2003	239,2	240,8	-1,6	2,6
2004	233,2	232,7	0,5	0,2
2005	229,8	224,6	5,2	27,0
2006	220,5	216,5	4,0	16,0
2007	212,6	208,4	4,2	17,7
2008	202,0	200,3	1,7	2,9
2009	187,6	192,2	-4,6	20,9
2010	179,5	184,1	-4,6	20,9
2011	168,5	176,0	-7,5	55,7
2012	162,9	167,9	-5,0	24,5
2013	153,5	159,7	-6,2	39,0
2014	150,8	151,6	-0,8	0,7
2015	145,9	143,5	2,4	5,6
2016	139,5	135,4	4,1	16,6
2017	134,2	127,3	6,9	47,4
среднее	192,2	192,2	0,0	32,3

Обозначим Y_i – реальное число пожаров, $\widehat{Y}_i$ – модельное число пожаров, вычисленное по формуле (12) или (13). Тогда реальное число пожаров связано с модельным формулой

$$Y_i = \widehat{Y}_i + e_i \ , \qquad (14)$$

где e_i – остаток. Этот остаток не объясняется моделью (12) или (13).

Вычислим несмещенную оценку остаточной дисперсии

$$s^2_{ост} = \frac{1}{(n-2)} * \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = 36{,}7. \qquad (15)$$

Здесь n – количество наблюдений. В нашем случае n = 17.

Найдем дисперсию временной переменной

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} (T_i - T_{ср})^2 = 24. \quad (16)$$

Стандартную ошибку коэффициента регрессии a находим по формуле

$$s_a = \frac{1}{\sqrt{n}\,\sigma} * s_{ост} = 0{,}30, \qquad (17)$$

Далее выдвигаем две гипотезы. Гипотеза H0 – коэффициент регрессии $\hat{a} = 0$. Альтернативная гипотеза H1 – коэффициент регрессии $\hat{a} \neq 0$. Для проверки справедливости гипотез вычислим статистику Стьюдента

$$t_a = \frac{a - \hat{a}}{s_a} = -27{,}05. \qquad (18)$$

Зададим уровень значимости $\alpha = 0{,}01$. Число степеней свободы равно g = n - k - 1, где k – число независимых переменных в уравнении регрессии. В нашем случае имеем n = 17, k = 1, поэтому число степеней свободы g = 15. Находим критическое значение

$$t_{кр}(\alpha, g) = t_{кр}(0{,}01, 15) = 2.95, \quad (19)$$

В нашем случае выполняется неравенство

$$|t| > t_{кр}(0{,}01, 15), \qquad (20)$$

Поэтому с помощью критерия Стьюдента [35] гипотеза H0 с вероятностью 0,99 отвергается и принимается гипотеза H1. Следовательно, с вероятностью 0,99 коэффициент регрессии a в моделях (12) или (13) отличен от нуля.

Определим доверительный интервал для коэффициента регрессии. Для этого при заданном уровне значимости нужно найти [36]:

$$t_0 = F^{-1}_{n-k-1}\left(\frac{1+\alpha}{2}\right) = 0{,}683. \qquad (21)$$

Здесь $F^{-1}_{n-k-1}\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)$ – функция, обратная распределению Стьюдента со степенями n – k – 1.

Нижняя граница коэффициента регрессии

$$a_1 = a - t * s_a = -8{,}313. \qquad (22)$$

Верхняя граница коэффициента регрессии

$$a_2 = a + t * s_a = -7{,}903. \qquad (23)$$

Исследуем возможность существования нелинейной модели. Используем стенную функцию

$$Y = a * T^{b}. \qquad (24)$$

Здесь Y – число пожаров, T – время (задаваемое номером года, в нашем случае принимает значения 2001, 2002, …, 2017). Коэффициенты модели a, b мы определим позднее. Проведем линеаризацию. Для этого правую и левую часть уравнения (24) прологарифмируем. Получим

$$\ln Y = \ln a + b * \ln T. \qquad (25)$$

Это позволяет применить метод наименьших квадратов для поиска значений коэффициентов модели a, b. В ре-

зультате расчета мы получили возможность применения модели

$$Y = 6{,}3728*10^{286} * T^{-86{,}1435}. \quad (26)$$

Здесь Y – число пожаров, T – время (задаваемое номером года, в нашем случае принимает значения 2001, 2002, …, 2017). Отметим, что среднее значение ошибки на период базы прогноза равно нулю (табл. 6).

Таблица 6

Сравнение фактических и модельных значений нелинейной модели за 2001-2017 гг.

Год	Пожары (тыс.)	ln Y	ln T	Модель	Ошибка	Квадрат
2001	246,5	7,601402	5,507362	265,0	18,5	341,7
2002	260,8	7,601902	5,563754	253,8	-7,0	48,7
2003	239,2	7,602401	5,4773	243,1	3,9	15,5
2004	233,2	7,6029	5,451896	232,9	-0,3	0,1
2005	229,8	7,603399	5,437209	223,1	-6,7	44,8
2006	220,5	7,603898	5,395898	213,7	-6,8	45,9
2007	212,6	7,604396	5,359412	204,7	-7,9	61,7
2008	202	7,604894	5,308268	196,1	-5,9	34,3
2009	187,6	7,605392	5,234312	187,9	0,3	0,1
2010	179,5	7,60589	5,190175	180,0	0,5	0,3
2011	168,5	7,606387	5,126936	172,5	4,0	15,8
2012	162,9	7,606885	5,093137	165,2	2,3	5,5
2013	153,5	7,607381	5,033701	158,3	4,8	23,2
2014	150,8	7,607878	5,015954	151,7	0,9	0,8
2015	145,9	7,608374	4,982921	145,3	-0,6	0,3
2016	139,5	7,608871	4,938065	139,3	-0,2	0,1
2017	134,2	7,609367	4,899331	133,4	-0,8	0,6
среднее	192,2			192,1	0,0	37,6

Прогноз на 2018 год по формуле (14) дал результат 127,9 тыс. пожаров. Заметим, что нелинейная модель (24) давала среднее значение квадрата ошибки 37,6 (табл. 6). Для линейной модели аналогичная величина равна 32,3 (табл. 5).

Коэффициент детерминации нелинейной одели (14) составил 98 %. Поэтому нелинейная модель (24) в нашем случае не дает увеличения качества прогноза.

Выводы

В итоге исследования доказано, что с вероятностью 0,99 модель Кобба – Дугласа, предложенная Прановым для числа пожаров в Российской Федерации [4, 5], ошибочна.

Установлено, что число пожаров и ВВП в период 2001-2016 гг. практически линейно зависели от номера года. Предложена линейная модель связи числа пожаров в Российской Федерации с номером года. Проверены гипотезы об уровне значимости коэффициента регрессии в линейной модели. С вероятностью 0,99 установлено, что коэффициент регрессии отличен от нуля. С вероятностью 0,99 определен доверительный интервал для коэффициента регрессии.

Рассмотрена возможность описания зависимости числа пожаров в Российской Федерации от номера года нелинейной моделью в виде степенной функции. Сравнение нелинейной модели с линейной показало, что нелинейная модель не приводила к улучшению качества прогноза.

Литература

1. Ширяев Е. В. и др. Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2014. – Вып. 3(55). – С. 8. – URL: http://ipb.mos.ru/ttb.

2. Асанина Д. А., Шишов В. Ф. Прогнозирование количество городских пожаров в регионе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 20. – С. 3256–3260. URL: http://e-koncept.ru/2014/54915.htm.

3. Салихова А. Х. и др. Опыт прогнозирования обстановки с пожарами на территории субъекта Российской Федерации на примере Ивановской области // Техносферная безопасность. – 2018. – № 1 (18). – С. 9–16.

4. Пранов Б. М. О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики //Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2014. – № 5 (57). – С. 5. – http://ipb.mos.ru/ttb.

5. Пранов Б. М. Адекватные междисциплинарные модели в прогнозировании временных рядов статистических данных //Программные продукты и системы. – 2018. – № 3 (31). – С. 444–447.

6. Кайбичев И. А., Яковлев Е. Е. Корреляционный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации за 2001–2015 годы // Актуальные вопросы естествознания: материалы II Межвузовской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2017 года / сост. Н. Е. Егорова. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 158–161.

7. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Регрессионный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации: материалы Дней науки (22–26 мая 2017 г.) в 2-х частях / сост. М. Ю. Порхачев, О. Ю. Демченко. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2017. – Ч. 1. – С. 86–95.

8. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Корреляционный анализ количества пожаров и основных показателей социально-экономического развития Российской Федерации за 2001–2015 годы // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны, Иваново, 29–30 ноября 2017 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 804–808.

9. Калимуллина К. И., Кайбичев И. А. Корреляционный анализ количества пожаров и основных показателей социально-экономического развития Российской Федерации за 2001–2015 годы // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции молодых ученых (4 апреля 2018 г., Минск). – Минск: УГЗ, 2018. – С. 360.

10. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Расчет коэффициента корреляции между количеством пожаров в сельской местности и основными показателями социально-экономического развития Российской Федерации за 2001–2015 годы // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: материалы Дней науки с международным участием (4–8 декабря 2017 г.), посвященных Году гражданской обороны в 2-х частях / сост. М. Ю. Порхачев, О. Ю. Демченко. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2018. – Ч. 1. – С. 54–58.

11. Харченко М. А. Корреляционный аналіз. Воронеж, 2008. 31 с.

12. Российский статистический ежегодник, 2008. М., 2008. 847 с.

13. Российский статистический ежегодник, 2009. М., 2009. 795 с.

14. Российский статистический ежегодник, 2010. М., 2010. 813 с.

15. Российский статистический ежегодник, 2011. М., 2011. 795 с.

16. Российский статистический ежегодник, 2012. М., 2012. 786 с.

17. Российский статистический ежегодник, 2013. М., 2013. 717 с.

18. Российский статистический ежегодник, 2014. М., 2014. 693 с.

19. Российский статистический ежегодник, 2015. М., 2015. 728 с.

20. Российский статистический ежегодник, 2016. М., 2016. 725 с.

21. Российский статистический ежегодник, 2017. М., 2017. 686 с.

22. Пожары и пожарная безопасность в 2005 году. М., 2006. 139 с.

23. Пожары и пожарная безопасность в 2006 году. М., 2007. 137 с.

24. Пожары и пожарная безопасность в 2007 году. М., 2008.137 с.

25. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году. М., 2009. 137 с.

26. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году. М., 2010. 135 с.

27. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году. М., 2011. 140 с.

28. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году. М., 2012. 137 с.

29. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году М., 2013. 137 с.

30. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году. М., 2014. 137 с.

31. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году. М., 2015. 124 с.
32. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году. М., 2016. 124 с.
33. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году. М., 2017. 124 с.
34. Статистика пожаров в Российской Федерации за 2017 // Электронная энциклопедия пожарного дела. URL: http://wiki-fire.org.
35. Шанченко Н.И. Лекции по эконометрике. Ульяновск, 2008. 139 с.
36. Минько А.А. Статистика в бизнесе. Руководство менеджера и фінансиста. М., 2008. 504 с.

Referenses

1. Shiryaev E.V., Statisticheskij analiz pozharov na ob"ektah s obrashcheniem nefteproduktov [Elektronnaya publikaciya] / E.V. SHiryaev, V.P. Nazarov, A.V. Majzlish, A.A. Gogin // Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti», 2014, vyp. 3(55). – 8 s. – Rezhim dostupa: http://ipb.mos.ru/ttb.
2. Asanina D.A., Prognozirovanie kolichestvo gorodskih pozharov v regione [Elektronnaya publikaciya] / D.A. Asanina, V.F. SHishov // Nauchno-metodicheskij ehlektronnyj zhurnal «Koncept». – 2014. – T. 20. – S. 3256–3260. – Rezhim dostupa: http://e-koncept.ru/2014/54915.htm.
3. Salihova A.H., Opyt prognozirovaniya obstanovki s pozharami na territorii sub"ekta Rossijskoj Federacii na primere Ivanovskoj oblasti [Tekst] / A.H. Salihova, D.B. Samojlov, E.A. SHvarev, V.N. Mihalin, A.A. Lazarev, O.S. Zavarihina // Tekhnosfernaya bezopasnost'. – 2018, № 1 (18). – s. 9 – 16.
4. Pranov B.M. O nekotoryh podhodah k modelirovaniyu i prognozirovaniyu vremennyh ryadov pozharnoj statistiki [EHlektronnaya publikaciya]/ B.M. Pranov //Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti». – 2014, № 5 (57). – 5 s. – http://ipb.mos,ru/ttb.
5. Pranov B.M. Adekvatnye mezhdisciplinarnye modeli v prognozirovanii vremennyh ryadov statisticheskih dannyh [Tekst] / B.M. Pranov //Programmnye produkty i sistemy - 2018, № 3 (31). – 444 – 447.
6. Kajbichev I.A., Korrelyacionnyj analiz osnovnyh pokazatelej pozharnoj statistiki v Rossijskoj Federacii za 2001 – 2015 gody [Tekst] / I.A. Kajbichev, E.E. YAkovlev / Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: materialy II Mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ivanovo, 12 aprelya 2017 goda / sost. N.E. Egorova. – Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. – s. 158 – 161.
7. Kajbichev I.A., Regressionnyj analiz osnovnyh pokazatelej pozharnoj statistiki v Rossijskoj Federacii [Tekst] / I.A. Kajbichev, K.I. Kalimullina // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti v Rossijskoj Federacii: materialy Dnej nauki (22-26 maya 2017 g.) v 2-h chastyah / sost. M.YU. Porhachev, O.YU. Demchenko. – Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2017. – ch. 1. – s. 86 – 95.
8. Kajbichev I.A., Korrelyacionnyj analiz kolichestva pozharov i osnovnyh pokazatelej social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii za 2001-2015 gody [Tekst] / I.A. Kajbichev, K.I. Kalimullina // Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj Godu grazhdanskoj oborony, Ivanovo, 29-30 noyabrya 2017 g. – Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. – s. 804-808.
9. Kalimullina K.I., Korrelyacionnyj analiz kolichestva pozharov i osnovnyh pokazatelej social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii za 2001-2015 gody [Tekst] / K.I. Kalimullina, I.A. Kajbichev // Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy: Sbornik materialov XII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh (4- aprelya 2018 g., Minsk). – Minsk: UGZ, 2018. – s. 360.
10. Kajbichev I.A., Raschet koehfficienta korrelyacii mezhdu kolichestvom pozharov v sel'skoj mestnosti i osnovnymi pokazatelyami social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii za 2001-2015 gody. [Tekst] / I.A. Kajbichev, K.I. Kalimullina // Aktual'nye problemy i innovacii v obespechenii bezopasnosti: materialy Dnej nauki s mezhdunarodnym uchastiem (4-8 dekabrya 2017 g.), posvyashchennyh Godu grazhdanskoj oborony v 2-h chastyah. / sost. M.YU. Porhachev, O.YU. Demchenko. – Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2018. – CH. 1. – s. 54-58.
11. Harchenko M.A. Korrelyacionnyj analiz: uchebnoe posobie dlya vuzov. [Tekst] / M.A. Harchenoko. – Voronezh: Izdatel'sko-poligraficheskij centr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008. – 31 s.
12. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2008: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2008. – 847 s.
13. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2009: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2009. – 795 s.
14. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2010: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2010. – 813 s.
15. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2011: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2011. – 795 s.
16. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2012: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2012. – 786 s.
17. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2013: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2013. – 717 s.
18. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2014: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2014. – 693 s.
19. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2015: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2015. – 728 s.
20. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2016: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2016. – 725 s.
21. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik, 2017: Stat. sb. – M.: Rosstat, 2017. – 686 s.

22. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2005 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej N.P. Kopylova. – M.: VNIIPO, 2006. – 139 s.
23. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2006 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej N.P. Kopylova. – M.: VNIIPO, 2007. – 137 s.
24. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2007 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej N.P. Kopylova. – M.: VNIIPO, 2008. – 137 s.
25. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2008 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej N.P. Kopylova. – M.: VNIIPO, 2009. – 137 s.
26. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2009 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej N.P. Kopylova. – M.: VNIIPO, 2010. – 135 s.
27. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2010 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej V.I. Klimkina. – M.: VNIIPO, 2011. – 140 s.
28. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2011 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej V.I. Klimkina. – M.: VNIIPO, 2012. – 137 s.
29. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2012 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej V.I. Klimkina. – M.: VNIIPO, 2013. – 137 s.
30. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2013 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej V.I. Klimkina. – M.: VNIIPO, 2014. – 137 s.
31. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2014 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej A.V. Matyushina. – M.: VNIIPO, 2015. – 124 s.
32. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2015 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej A.V. Matyushina. – M.: VNIIPO, 2016. – 124 s.
33. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2016 godu: Statisticheskij sbornik. Pod obshchej redakciej D.M. Gordienko. – M.: VNIIPO, 2017. – 124 s.
34. Statistika pozharov v Rossijskoj Federacii za 2017 [Elektronnaya publikaciya] / Elektronnaya ehnciklopediya pozharnogo dela. Rezhim dostupa: http://wiki-fire.org.
35. Shanchenko N.I. Lekcii po ehkonometrike: uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij, obuchayushchihsya po special'nosti «Prikladnaya informatika (v ehkonomike)» [Tekst] / N.I. Shanchenko. – Ul'yanovsk: UlGTU, 2008. – 139 s.
36. Min'ko A.A. Statistika v biznese. Rukovodstvo menedzhera i finansista [Tekst] / A.A. Min'ko. – M.: Ehksmo, 2008. – 504 s.

УДК 614.843.6 *sad8_3@mail.ru*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКРЫВНОЙ РУКАВНОЙ ЗАДЕРЖКИ ПРИ БОЕВОМ РАЗВЕРТЫВАНИИ

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE BAG VALVE DELAY WHEN COMBAT DEPLOYMENT

Семенов А. Д., кандидат технических наук,
Харламов Р. И., Бочкарев А. Н. Моисеев Ю. Н.,
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, Иваново

Semenov A. D., Kharlamov R. I.,
Bochkarev A. N., Moiseev Yu. N.,
Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service
of of EMERCOM of Russia, Ivanovo

В статье описывается устройство, сочетающее в себе функции рукавной задержки, рукавного колена для подъема рукавных линий и пожарно-технического оборудования на верхние этажи. Проводится оценка эффективности применения разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки в различные этажи здания. Предложено в качестве показателя эффективности использовать критерий удобства, характеризующий выигрыш во времени проведения боевого развертывания пожарного подразделения на тушение пожара.

Ключевые слова: эффективность использования, показатель эффективности, перекрывая рукавная задержка.

The paper describes a device that combines the functions of sleeve delay, sleeve knee for lifting hose lines and fire-technical equipment to the upper floors. The evaluation of the effectiveness of the developed device when lifting the hose line with the help of a rescue rope to different floors of the building. It is proposed to use the criterion of convenience as an indicator of efficiency, which characterizes the gain in the time of the combat deployment of the fire unit to extinguish the fire.

Keywords: efficiency of use, performance indicator, overlapping sleeve delay.

Важным критерием для оценки эффективной работы пожарных подразделений является время прибытия и развертывания, от которого будет зависеть количество спасенных пострадавших [1-4]. Поэтому чем раньше подразделения пожарной охраны приступят к тушению пожара, тем меньше будет материальный ущерб от его последствий, что определяется тактическими возможностями пожарного подразделения. Тактические возможности пожарных подразделений зависят от тактико-технических характеристик пожарной техники и оборудования, находящегося в расчете. Тактико-технические возможности пожарной техники и оборудования можно повышать за счет их совершенствования, внедрения рационализаторских предложений, укомплектования дополнительным пожарно-техническим вооружением.

Боевое развертывание осуществляется по горизонтали и в этажи зданий, однако тушение пожаров в зданиях повышенной этажности осложняется проведением работ по эвакуации людей и

сложности подачи огнетушащих веществ на большие высоты [1, 2].

Боевое развертывание в этажах зданий и на высоту осуществляется различными способами, основные из них: подъем напорной рукавной линии с помощью спасательной веревки; опускание напорных пожарных рукавов, поднятых на требуемую высоту пожарными; прокладка напорных рукавных линий по маршам лестничной клетки и пожарным лестницам. При этом основное влияние на время боевого развертывания в этажи зданий будет оказывать высота подъема и количество пожарных, участвующих в нем [1-4].

С целью повышения тактических возможностей [5-8] отделений для прокладки магистральных линий в этажи на высоту предложено устройство (рис. 1), сочетающее в себе функции рукавной задержки, рукавного колена, наличие перекрывного устройства, а также устройства, исключающего преждевременный износ спасательной веревки при подъеме/спуске рукавных линий и пожарно-технического оборудования на верхние этажи.

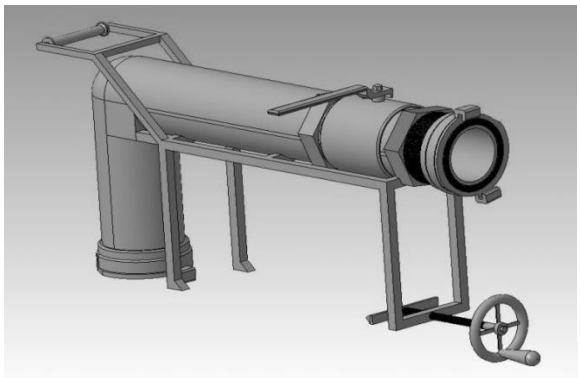


Рисунок 1. 3D-модель перекрывной рукавной задержки

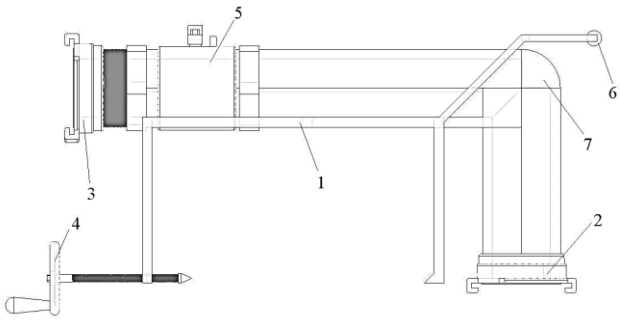


Рисунок 2. Конструкция перекрывной рукавной задержки: 1 – несущая рама; 2, 3 – соединительная муфтовая головка Ø 77 мм; 4 – регулировочный винт; 5 – шаровой кран; 6 – ролик; 7 – корпус

Принцип работы устройства (рис. 2) заключается в следующем: устройство устанавливается на кирпичную кладку балкона незадымляемой лестничной клетки и надежно фиксируется регулировочным винтом *4*. Свободный конец веревки, скользя по ролику *6*, опускается вниз для подъема пожарных рукавов, после чего магистральная линия подсоединяется к соединительной головке *2*, а рабочая линия к соединительной головке *3*.

Оценку эффективности применения разработанного устройства (перекрывной рукавной задержки) проводили по времени боевого развертывания в третий и четвертый этаж учебной башни. Эксперимент заключался в фиксировании времени боевого развертывания (от лестничной площадки первого этажа до лестничной площадки установки пожарного оборудования) без подачи огнетушащих веществ, с подъёмом магистральной рукавной линии Ø 77 мм с помощью спасательной веревки в окно третьего и четвертого этажей учебной башни с использованием разработанной перекрывной рукавной задержки и без нее. Полученные данные времени выполнения упражнения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Время выполнения боевого развёртывания с подъемом магистральной рукавной линии с помощью спасательной веревки

№ п/п	Время выполнения упражнения, с			
	без устройства 3 этаж	без устройства 4 этаж	с устройством 3 этаж	с устройством 4 этаж
1	32,3	48,4	32,4	46,6
2	33,4	49,6	31,4	44,6
3	31,6	48,9	31,6	47,9
4	30,8	47,8	29,8	46,8
5	34,1	48,1	30,1	45,1
6	33,2	49,3	31,2	43,7
7	32,1	48,9	30,1	45,9
8	33,6	50,3	30,6	46,7
9	31,9	49,1	30,9	46,1
10	32,6	47,4	30,6	45,4
Среднее значение	32,5	48,8	30,8	45,9

Анализ экспериментальных данных показал, что при использовании перекрывной рукавной задержки с роликом среднее время выполнения боевого развертывания при подъеме магистральных пожарных рукавов в третий и четвертый этажа учебной башни сократилось. Причем, с повышением высоты подъема пожарных рукавов увеличивается выигрыш во времени боевого развертывания. Так как подъем через фиксированный блок не дает выигрыша в силе, то снижение времени боевого развертывания связано с повышением удобства подъема за счет изменения направления прикладываемой силы и уменьшения сил трения веревки, вследствие использования роликового механизма.

В работе проведен расчет времени боевого развертывания (формула 1, 2) в этажи здания при условии, что начало развертывания проходило с лестничной площадки первого этажа, а завершалось на лестничной площадке этажа, где необходимо установить пожарное оборудование, в качестве поднимаемой, с помощью спасательной веревки, использовали магистральную рукавную линию Ø 77 мм. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Согласно [2] время боевого развертывания в этажах здания определяется формулами:

- при подъеме напорной рукавной линии с помощью спасательной веревки:

$$\tau_{б.р.} = k\cdot(4{,}5\ \beta_3\cdot h_э\cdot(N_э-1)), \qquad (1)$$

- при прокладке напорной рукавной линии опусканием рукавов вниз:

$$\tau_{б.р.} = k\cdot(4{,}4\ \beta_3\cdot h_э\cdot(N_э-1)), \qquad (2)$$

где β_3 – коэффициент, учитывающий влияние массы оборудования на время боевого развертывания; $h_э$ – высота этажа, м; k - коэффициент, учитывающий влияние неучтенных факторов; $N_э$ – количество этажей.

Анализ тактико-технических характеристик пожарных рукавов показал, что масса пожарного рукава Ø 77 мм равна 13 кг, поэтому коэффициент, учитывающий влияние массы оборудования на время боевого развертывания β_3 = 1,2 [2, 9].

Таблица 2

Расчетные значения времени развертывания при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки и прокладке рукавной линии опусканием рукавов вниз

Этажность здания	Время развертывания, с		
	при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки	при прокладке рукавной линии опусканием рукавов вниз	при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки и разработанной рукавной задержки
3	32,4	31,7	30,8
4	48,6	47,5	45,9
5	64,8	63,4	57,3
6	81	79,2	68,8
7	97,2	95	80,3
8	113,4	110,8	91,7
9	129,6	126,7	103
10	145,8	142,5	114,4

Рассмотрев расчетные и эмпирические данные по времени боевого развертывания в третий и четвертый этажи учебной башни (таблица 2), установили, что они хорошо коррелируются. Можно предположить, что расчетные значения времени боевого развертывания будут коррелировать с эмпирическими значениями на всех этажах здания. Исходя из выражений 1 и 2, временные показатели боевого развертывания подразделения будут зависеть от коэффициента, учитывающего влияние неучтенных факторов (погодных условий, удобства подъема оборудования и др.). При условии, что экспериментальные данные получены в одинаковых условиях, а расчетные значения получены при k=1 (характеризует одинаковые условия), отношение времен развертывания с разработанным оборудованием к времени развертывания без него будет характеризовать критерий удобства использования оборудования (3).

$$\omega = (1 - \tau^{у}_{б.р.}/\tau_{б.р.})\cdot 100\%, \qquad (3)$$

где $\tau_{б.р.}$ – расчетное или экспериментальное значение времени боевого развертывания в этаж здания; $\tau^{у}_{б.р.}$ – расчетное или экспериментальное значение времени боевого развертывания в этаж здания при использовании разработанного устройства.

Расчетные значения критерия удобства и времени развертывания с использованием разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчетные значения критерия удобства и времени развертывания с использованием разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки

этажность здания	3	4	5	6	7	8	9	10
критерий удобства *ω, %*	5	6	12	15	18	19	21	22
время развертывания, сек	30,8	45,9	57,4	68,8	80,3	91,8	103	114,4

На основании полученных данных значения критерия удобства и времени развертывания с использованием разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки построили зависимость представленную на рисунке 3.

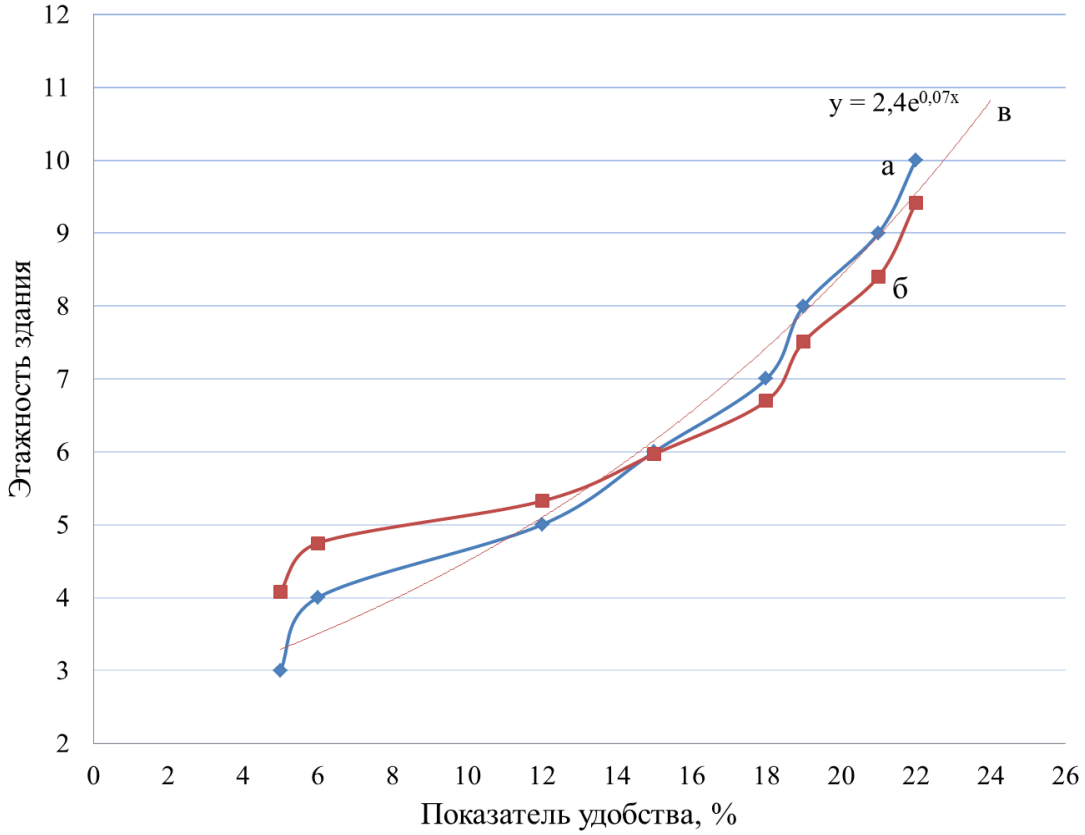


Рисунок 3. Зависимость критерия удобства и времени развертывания с использованием разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки от этажности здания: а) критерий удобства; б) коэффициент усталости; в) линия тренда критерия удобства

Полученная зависимость критерия удобства использования разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки в различные этажи здания подчиняется экспоненциальному закону распределения (рисунок 3, кривая в) и описывается уравнением 4.

$$y = 2{,}4 \cdot e^{0{,}07 \cdot x} \quad , \qquad (4)$$

где x= ω – критерий удобства использования оборудования; y – этаж здания для установки оборудования.

В работах [1-4] показано, что коэффициент усталости пожарных при выполнении работ на пожаре подчиняется экспоненциальному закону распределения (рис. 3 кривая б). Таким образом, полученные данные показывают адекватность применяемого подхода к оценке эффективности применения разработанного пожарного оборудования в проведении боевого развертывания в этажи здания. Применение математического анализа при планировании проведения боевого развертывания пожарных подразделений позволит оптимизировать и повысить эффективность боевых действий подразделений при тушении пожара.

В статье предложено устройство, сочетающее в себе функции рукавной задержки, рукавного колена, наличие перекрывного устройства, а также устройства, исключающего преждевременный износ спасательной веревки при подъ-

еме/спуске рукавных линий и пожарно-технического оборудования на верхние этажи.

Показано, что при использовании перекрывной рукавной задержки с роликом среднее время выполнения боевого развертывания при подъеме магистральных пожарных рукавов с помощью спасательной веревки сократилось. Причем, с повышением высоты подъема пожарных рукавов увеличивается выигрыш во времени боевого развертывания, что характеризует предложенный критерий удобства ω (на 5 % в 3 этаж и на 20 % в 10 этаж).

Установлено, что зависимость критерия удобства использования разработанного устройства при подъеме рукавной линии с помощью спасательной веревки в различные этажи здания подчиняется экспоненциальному закону распределения, что характеризует адекватность применяемого подхода.

Литература

1. Теребнев В. В., Подгрушный А. В. Пожарная тактика: Основы тушения пожара. М., 2012. 322 с.

2. Теребнев В.В., Смирнов В.А., Семенов А.О. Пожаротушение: справочник. Екатеринбург, 2009. 486 с.

3. Подгрушный А. В. Повышение тактических возможностей пожарных подразделений на основе совершенствования управления боевыми действиями: диссертация канд. техн. наук. АГПС, 2003. 258 с.

4. Теребнев В. В., Подгрушный А. В., Артемьев Н. С. Пожаротушение в зданиях повышенной этажности. М., 2009. 117 с.

5. Кирюханцев Е. Е., Иванов В. Н. О повышении эффективности тушения пожаров в высотных зданиях // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – Вып. 5 (51). – URL: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-5/15-05-13.ttb.pdf.

6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123 // Российская газета. 2008. № 163.

7. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ № 1100н от 23.12.2014 «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы»: зарегистрировано в Минюсте РФ от 8 мая 2015 г. № 37203.

8. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты внутренний противопожарный водопровод требования пожарной безопасности: введ. 2009-05-01. М., 2009. 15 с.

9. ГОСТ Р 51049-2008. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний: введ. 2010-01-01. М., 2009. 24 с.

References

1. Terebnev V.V., Podgrushnyj A.V. Pozharnaya taktika: Osnovy tusheniya pozhara: ucheb. posobie. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. 322 s.

2. Terebnev V.V., Smirnov V.A., Semenov A.O. Pozharotushenie: spravochnik. Ekaterinburg: OOO «Izdatel'stvo «Kalan», 2009. 486s.

3. Podgrushnyj A.V. Povyshenie takticheskih vozmozhnostej pozharnyh podrazdelenij na osnove sovershenstvovaniya upravleniya boevymi dejstviyami: dissertaciya kand. tekhn. nauk. AGPS, 2003. 258 s.

4. Terebnev V.V., Podgrushnyj A.V., Artem'ev N.S. Pozharotushenie v zdaniyah povyshennoj ehtazhnosti: ucheb. posobie. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2009. 117 s.

5. Kiryuhancev E.E., Ivanov V.N. O povyshenii ehffektivnosti tusheniya pozharov v vysotnyh zdaniyah // "Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti": internet-zhurnal 2013. Vyp. 5 (51). Rezhim dostupa k zhurn. URL: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-5/15-05-13.ttb.pdf (data obrashcheniya: 05.12.2018).

6. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: federal'nyj zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123 // Rossijskaya gazeta. 2008. № 163.

7. Prikaz Ministerstva truda i social'noj zashchity RF N 1100n ot 23.12.2014 “Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda v podrazdeleniyah federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby” (Zaregistrirovano v Minyuste RF ot 8 maya 2015 g. N 37203).

8. SP 10.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity vnutrennij protivopozharnyj vodoprovod trebovaniya pozharnoj bezopasnosti. – Vved. 2009-05-01. – M.: FGU VNIIPO MCHS Rossii, 2009. – 15 s.

9. GOST R 51049-2008. Tekhnika pozharnaya. Rukava pozharnye napornye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytanij. – Vved. 2010-01-01. - M.: Standartinform, 2009.- 24 s.

УДК: 691.841 *pas_ural@mail.ru*

ПУТИ И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

WAYS AND METHODS OF FIRE EXTINGUISHING IN OIL PRODUCER RESERVOIRS

Перевалов А.С., кандидат технических наук, доцент,
Пастухов К. В.
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург
Мироньчев А. В., кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург

Perevalov A. S., Pastukhov K. V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg
Mironchev A.V.,
Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg

В статье проводится анализ путей и способов тушения пожаров в резервуарах хранения нефтепродуктов. Рассматриваются способы подачи огнетушащих веществ на поверхность и в слой горящей жидкости, способы создания изолирующего слоя над поверхностью горения. Отмечаются основные достоинства и недостатки выявленных приемов тушения, выделяются основные направления повышения пожарной безопасности РВС.

Ключевые слова: резервуар хранения нефтепродуктов, резервуар вертикальный стальной, способ тушения, пожар.

This paper analyzes the ways and means of extinguishing fires in storage tanks of petroleum products. The methods of supplying fire extinguishing substances to the surface and to the layer of burning liquid, methods of creating an insulating layer above the burning surface are considered. The main advantages and disadvantages of the identified methods of extinguishing are noted, the main directions of improving the fire safety of the RVS are highlighted.

Keywords: oil products storage tank, vertical steel tank, method of extinguishing, a fire

На сегодняшний день проблема обеспечения надежности резервуарных конструкций остается открытой. Для определения мероприятий, повышающих уровень определить дальнейшие пути улучшения пожарной безопасности резервуаров хранения нефтепродуктов и направленных на предотвращение различных ЧС, необходимо опираться на анализ произошедших аварий. [1]. Обязательным условием являются знание основных элементов устройства резервуаров вертикальных стальных (далее – РВС) и понимание особенностей развития пожаров в резервуарах хранения нефтепродуктов.

Пожары в резервуарах, в большинстве случаев, начинаются со взрыва паровоздушной смеси и срыва крыши или воспламенения «богатой» смеси без срыва крыши, но с нарушением целостности частей конструкции.

Сила взрыва бóльшая в тех резервуарах, где имеется большое газовое пространство, заполненное смесью паров нефтепродукта с воздухом (низкий уровень жидкости).

Анализ статистических данных об авариях на РВС позволяет отметить общие закономерности их возникновения и развития.

Так, в зависимости от силы взрыва в вертикальном металлическом резервуаре возможно развитие следующих сценариев:

– крыша срывается полностью, ее отбрасывает в сторону на расстояние 20-30 м, жидкость горит на всей площади резервуара;

– крыша несколько приподнимается, отрывается полностью или частично, затем задерживается в полупогруженном состоянии в горящей жидкости;

– крыша деформируется и образует небольшие щели в местах крепления к стенке резервуара, а также в сварных швах самой крыши. В этом случае горят пары ЛВЖ над образованными щелями;

– осколками от взрыва могут повреждаться соседние резервуары.

Развитие пожара зависит:

– от места и причины его возникновения, а также последствий взрыва;

– размеров начального очага;

– особенностей конструкций резервуара и его размеров;

– наличия соседних резервуаров и их особенностей;

– климатических условий и метеоусловий;

– наличие систем противопожарной защиты в резервуарном парке и на объекте;

– наличия объектового подразделения пожарной охраны, его вида и оснащенности силами и средствами;

– отдаленности парка (резервуара) от других служб объекта и времени их прибытия;

– первоначальных действий обслуживающего персонала объекта;

– качества подготовительных мероприятий, проведенных на объекте и в гарнизоне.

Свободный борт стенки резервуара при отсутствии охлаждения в течение 3-5 мин начинает терять свою несущую способность, т. е. появляются визуально определимые деформации из-за прогрева конструкций пламенем.

На резервуарах с плавающей крышей в результате теплового воздействия локального очага происходит разрушение герметизирующего затвора. Полная потеря плавучих свойств и затопление крыши наступает, как правило, через один час.

В железобетонном резервуаре в результате взрыва происходит разрушение части покрытия. Горение на участке образовавшегося проема сопровождается обогревом железобетонных конструкций покрытия. Через 20-30 мин может произойти дальнейшее обрушение конструкций и увеличение площади пожара.

Направленные на повышение пожарной безопасности резервуарных паркой хранения нефтепродуктов разделяются на три системы:

1. Системы предотвращения пожаров.
2. Системы автоматического пожаротушения.
3. Системы пожаротушения подразделениями пожарной охраны.

Поскольку цель данной статьи – анализ путей и способов тушения пожаров в РВС, то остановимся более подробно на последних двух.

Проведенный обзор публикаций и патентный поиск позволили выделить следующие эффективные способы тушения пожаров в РВС:

– Подача огнетушащих веществ на поверхность горящей жидкости.

– Подача огнетушащего вещества в слой горящей жидкости.

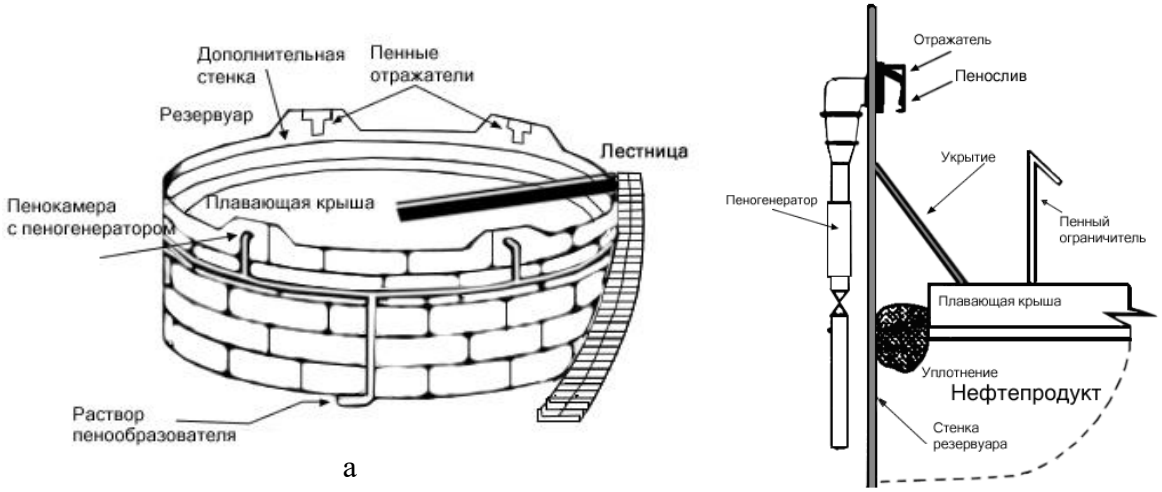
– Создание изолирующего слоя над поверхностью горения.

Способы имеют свои достоинства и недостатки, которые существенно вли-

яют на тушение пожаров. Рассмотрим их более подробно.

Подача огнетушащих веществ на поверхность горящей жидкости

Один из приемов подачи огнетушащего вещества на поверхность горящей жидкости резервуара осуществлется пеногенераторами, расположенными на крыше резервуара или в верхнем его поясе (рисунок 1) [2].



а б

Рисунок 1. Установка для тушения пожара подачей пены через стационарные пеногенераторы: а) общий вид резервуара со стационарными пеногенераторами; б) верхняя часть резервуара с монтированным пеногенератором

При возгорании горючей жидкости по сухотрубам к поверхности резервуара транспортируется раствор пенообразователя, который в корпусе пеногенераторов преобразуется в воздушно-механическую пену. Эта пена покрывает поверхность горючей жидкости и препятствует дальнейшему горению. Данная система может использоваться в автоматическом режиме. Но ее надежность очень низкая, т. к. в большинстве случаев возгорание паровоздушной смеси сопровождается взрывом или мощным хлопком. В этот момент происходит деформация элементов пеногенераторов, прорыв пеногенерирующих сеток, деформация кровли резервуара и его верхних поясов. Иногда происходит отрыв кровли, обрыв пеногенераторов и их коммуникаций.

На основании эксплуатации стационарных систем противопожарной защиты резервуаров и статистики потушенных ими пожаров можно сделать вывод, что данные устройства не обеспечивают надежной защиты, поскольку выходят из строя в начальный момент пожара.

Другим приемом подачи пены и огнетушащих растворов в РВС является установка сухотрубов внутрь резервуара [3].

Перспективным в плане защищенности выглядит способ аэрозольно-порошкового пожаротушения [4, 5**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], базирующийся на достижениях конверсионной твердотопливной ракетной техники [6].

Основным исполнительным элементом такой противопожарной системы является быстродействующий аэрозольно-порошковый модуль ОПАН-100 [77], вытеснительным элементом которого является твердотопливный газогенератор (рисунок 2).

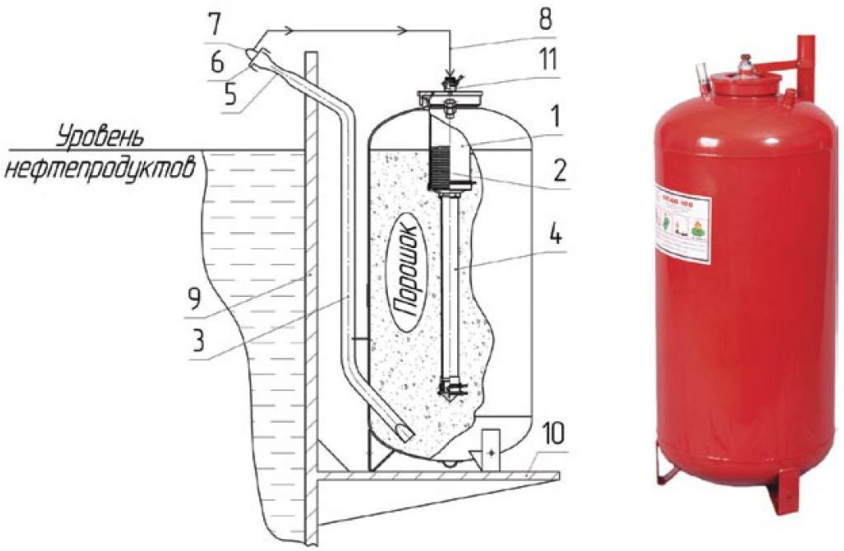


Рисунок 2. Принципиальная схема на резервуаре и внешний вид модуля аэрозольно-порошкового пожаротушения ОПАН-100 с автономной автоматической системой запуска: 1 – твердотопливный аэрозольный газогенератор; 2 – теплосъемный элемент пассивного типа; 3 – трубопровод; 4 – трубопровод барбатажный; 5 – разгонное сопло Лаваля; 6 – сбрасываемая гермозаглушка; 7 – термочувствительный элемент; 8 – линия электро- или термозапуска газогенератора; 9 – стенка резервуара; 10 – существующая монтажная площадка; 11 – пиропатрон запуска газогенератора

Отличительными особенностями, ОПАН-100 являются:

– взрывозащищенное исполнение, в т. ч. от внешнего взрыва;

– высокая надежность и работоспособность в диапазоне температур ± 50 °С;

– отсутствие каких-либо проверок и регламентных работ в течение 10 лет;

– невысокая стоимость модуля и его монтажа;

– высокая пожаротушащая эффективность аэрозольно-порошковой смеси, особенно для нефтепродуктов;

– высокая энергетика струи выбрасываемого порошка (скорость более 200 м/с, дальность до 25 м, время выброса 80 кг порошка менее 20 сек.

В настоящее время автоматические установки газового пожаротушения (АУГП) на базе изотермического модуля для жидкой двуокиси углерода получили на практике достаточно широкое применение для противопожарной защиты различного назначения. Применение огнетушащих газов может обеспечить тушение всех видов нефти и нефтепродуктов и существенно повысить быстродействие автоматических установок пожаротушения [8].

Однако практический опыт применения установок пожаротушения на основе двуокиси углерода для противопожарной защиты резервуаров с нефтью и нефтепродуктами в настоящее время отсутствует. Отдельные опубликованные по данному вопросу работы [9-14] позволяют сделать лишь общий вывод о принципиальной возможности применения указанных систем газового пожаротушения для защиты резервуарных парков.

Также имеется способ тушения резервуаров диоксидом углерода твердым [15].

Гранулы диоксида углерода твердого помещаются в резервуар с горящей жидкостью, и поскольку плотность твердой фазы диоксида углерода выше плотности жидкости, гранулы опускаются на дно резервуара.

Во время движения гранул на их поверхности происходит стремительно протекающая реакция с поглощением тепла - переход вещества из кристаллического состояния непосредственно в газообразное без химического изменения состава - сублимация-возгонка. Результатом этого процесса является активное поглощение тепла от нижнего слоя жидкости.

Помимо поглощения выделяемого тепла жидкости вследствие теплообмена бинарной системы «газ-жидкость» газовые потоки вызывают турбулентные завихрения за счет силы трения, создающие активное смешивание слоев, что приводит к снижению высокой температуры поверхностного слоя.

Кроме того, в процессе сублимации с потерей массы отдельные гранулы поднимаются к поверхности. Данный процесс связан с образованием вокруг гранул постоянной газовой оболочки, создающий действительную подъемную силу, которая влечет дополнительный тепломассоперенос, снижающий энергетический запас поверхностного слоя жидкости.

Выделяющийся газ, преодолев границу среды «жидкость-атмосфера», скапливается над поверхностью зеркала жидкости, в результате чего происходят разбавление и охлаждение зоны горения, и как следствие выше описанных механизмов - погасание пламени.

Подача огнетушащего вещества в слой горящей жидкости

На первоначальном этапе пена подается в негорящий слой жидкости, спустя непродолжительный период времени на поверхности резервуара в результате подъема вспененного огнетушащего состава образуется пенная подушка. Применяется несколько способов подачи пены в горючую жидкость [16-21].

Тушение пожара путем подачи воздуха под давлением в слой подтоварной воды с пенообразователем (рисунок 3).

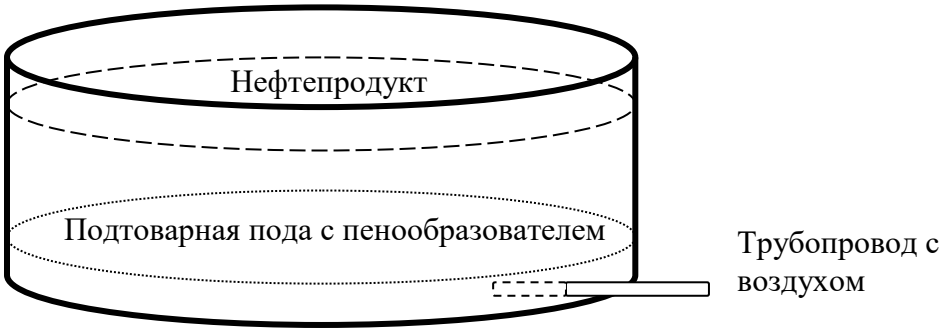


Рисунок 3. Тушение пожара путем подачи воздуха в нижний слой резервуара

При возгорании горючей жидкости в слои подтоварной воды, содержащей поверхностно активные вещества (ПАВ), под определенным давлением подается воздух или негорючий газ, что приводит к образованию пены. Пена поднимается внутри резервуара, покрывает поверхность горючей жидкости и препятствует дальнейшему горению. Трудностями в реализации данного метода является обеспечение отсутствия расслоения ПАВ в подтоварной воде, что может потребовать периодического ее перемешивания, особенно при длительном хранении горючей жидкости в резервуаре. К тому же пена будет подниматься непосредственно над местом выпуска воздуха, что может привести к непопаданию пены в труднодоступные для тушения участки при длительном горении. Для быстрого перекрытия горящей поверхности необходимо увеличить количество мест, в которых будет происходить выпуск воздуха. Это требует разработки системы выпуска воздуха – развитого коллектора. Наличие коллектора на дне резервуара влечет за

собой существенные сложности, затрудняет проведение технологических операций при обслуживании резервуара. Следует учитывать тот факт, что в зимних условиях подтоварная вода может замерзнуть и это приведет к невозможности тушения пожара. Еще одним недостатком является отсутствие возможности перекачки нефтепродукта из горящего резервуара в «чистом» виде, т. к. он перемешан с пеной.

Существенным недостатком этого способа является низкая огнетушащая эффективность тушения пожара, что связано с низкой скоростью образования пены. Увеличить интенсивность пенообразования возможно, но при увеличении расхода инертного газа происходит диспергирование углеводорода и вынос горючего над уровнем резервуара. В результате эффективность предложенного способа-прототипа ограничивается тушением пожаров в резервуарах малого диаметра, не более 3 м.

Для повышения огнетушащей эффективности, что определяется временем тушения пламени, существует способ с двойным образованием пены [16].

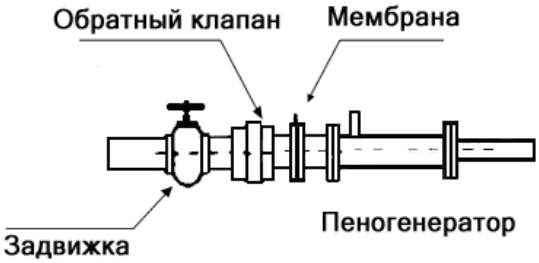
Первая стадия – образование пены в емкости на дне резервуара и вторая – пенообразование после подъема пены, при воздействии теплового потока от факела пламени и при соприкосновении с разогретой металлической стенкой резервуара.

Способ тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах осуществляется путем подачи в основание резервуара огнетушащего вещества, где в качестве огнетушащего вещества, которое подают в основание резервуара, применяется водный раствор уксусной кислоты и кислой соли многовалентного металла, при этом раствор подается в емкость внутри резервуара, под слоем горючей жидкости, которая содержит водный раствор газообразующих веществ, которые при смешении с кислым водным раствором выделяет, во всем объеме, высокодисперсный газ, включая двуокись углерода и азот, которые, проходя через водный раствор, образуют пену низкой кратности. Пена всплывает на горящую поверхность нефтепродукта, вынося в пенных пленках компоненты, которые выделяют азот под действием теплового потока от факела пламени и в местах соприкосновения пены с нагретой поверхностью металлической стенки резервуара. Тушение пожара таким способом происходит путем покрытия всей поверхности горения за счет вторичного эффекта вспенивания.

Тушение пожара путем подачи пены в нижний слой горючего через трубопровод, расположенный в нижней части резервуара (рисунок 4).

Пена поднимается внутри резервуара, обеспечивая перемешивание нефтепродукта, что приводит к снижению температуры его горящего слоя, покрывая поверхность горючей жидкости, препятствует дальнейшему горению. При данном методе тушения пожара пена поднимается непосредственно над местом выпуска воздуха, что может привести к непопаданию пены в образовавшиеся карманы при длительном горении. Для быстрого перекрытия горящей поверхности необходимо увеличить количество мест, через которые будет происходить подача пены.

а



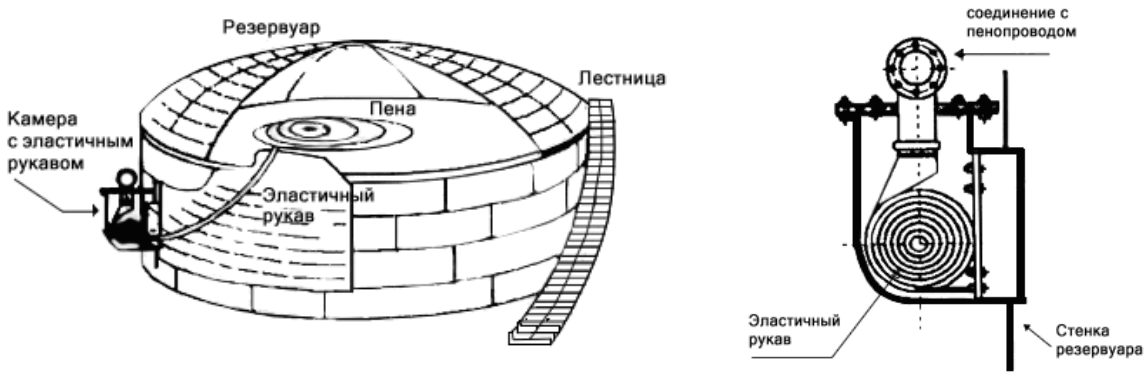
б

Рисунок 4. Установка пожаротушения для подачи пены в слой продукта через пенные насадки: а) общий вид резервуара с трубопроводом для подачи раствора пенообразователя; б) часть трубопровода с оборудованием для подачи раствора пенообразователя

Обязательно следует помнить о том, что поднятие пены на поверхность не такой уже и быстрый процесс. А длительное взаимодействие пены с нефтепродуктом приводит к резкому снижению огнетушащих качеств. Недостатком указанного метода, также как и в предыдущем является возможная перекачка перемешанного с пеной нефтепродукта из горящего резервуара.

Тушение пожара путем подачи пены в слой горючего через рукав, расположенный в нижней части резервуара (рисунок 5).

При возгорании горючей жидкости пена подается в капсулу со скрученным эластичным рукавом, смонтированным в нижней части резервуара, и под давлением разматывает его в резервуаре. Благодаря данному устройству пена подается непосредственно к поверхности горючей жидкости, покрывает ее и препятствует дальнейшему горению. Поскольку при указанном методе пена подается через рукав, перемешивание нефтепродукта в резервуаре не происходит. Установка подачи пены через слой горючего по эластичному рукаву предназначена для тушения пожаров горючих жидкостей в наземных металлических резервуарах, рассчитанных на внутреннее избыточное давление в газовом пространстве до 200 мм водяного столба. Значительным преимуществом данного метода является то, что с пеной на горящую поверхность выносится вся вода с ПАВ, а рукав является защитой от взаимодействия с горючей жидкостью. Недостатком же является тот факт, что по статистике это устройство в большинстве случаев не раскручивается и выходит из строя.



а б

Рисунок 5. Установка пожаротушения для подачи пены в слой продукта через эластичный рукав: а) общий вид резервуара с эластичным рукавом; б) устройство с эластичным рукавом в сборе

Создание изолирующего слоя над поверхностью горения

Проведенный патентный анализ, и обзор публикаций позволили выделить следующие приемы создания изолирующего слоя над поверхностью горения.

Откачка горючей жидкости до изолирующего слоя огнепреградителя [22].

Способ тушения пожара в наземных хранилищах, заключающийся в снижении количества горючей жидкости в резервуаре (в очаге пожара), достигается перекачкой ее из горящего резервуара в запасные емкости через огнепреградители. Наземный резервуар через отверстие в его днище и сливной патрубок соединяют с пустым вакуумированным подземным резервуаром, расположенным соосно с наземным резервуаром (рисунок 6). В данный резервуар перемещается жидкость из наземного резервуара в случае возникновения пожара. При этом емкость подземного резервуара должна быть больше, чем емкость наземного резервуара, а наземный резервуар расположен ниже уровня подземного. На конце сливного патрубка внутри подземного резервуара расположен автоматический клапан, находящийся в закрытом положении при отсутствии пожара и открывающийся автоматически при его возникновении. Открытие и закрытие автоматического клапана обеспечивается последовательно за счет управления датчиками температуры и уровня жидкости, полость подземного резервуара соединена через обратный клапан и дыхательный патрубок с атмосферой.

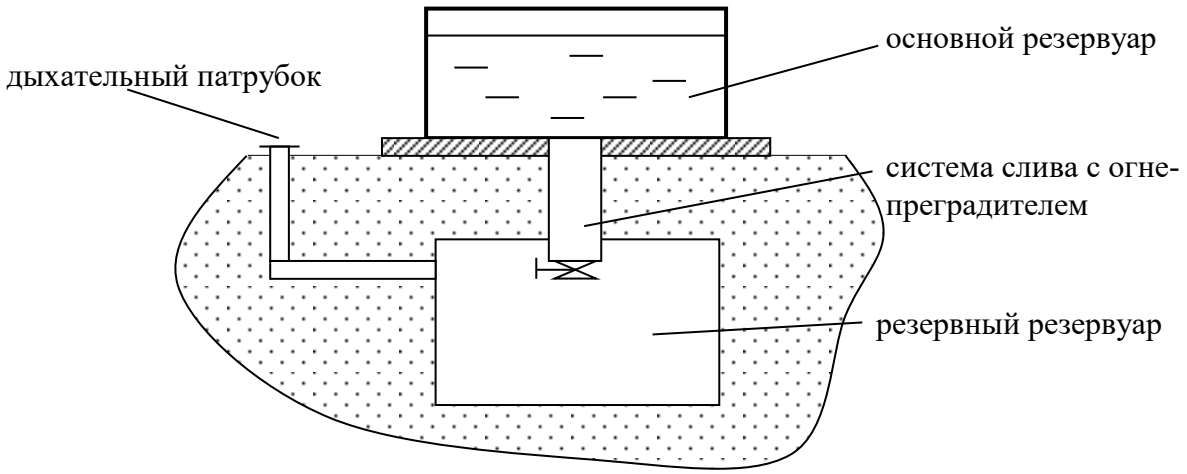


Рисунок 6. Расположение резервного резервуара

Оставшееся на дне резервуара малое количество жидкости не представляет угрозу. В случае если пламя в процессе перетекания жидкости не погасло, то оставшаяся жидкость догорит на дне емкости. Такой процесс не представляет опасности.

Тушение пожаров резервуаров нефтепродуктов на основе сетчатых конструкций [23].

Предложенный способ тушения пожаров в резервуарах направлен на снижение поступления паров, газов и тепловых потоков в зону горения с помощью сеток или сеточных пакетов (рисунок 7).

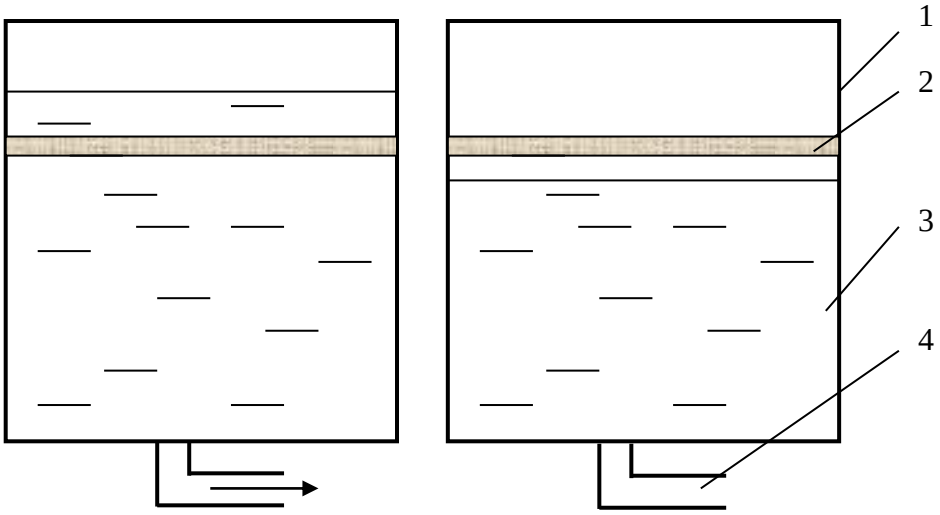


Рисунок 7. Тушение резервуара сетчатыми конструкциями:
1 – резервуар; 2 – сеточный пакет; 3 – нефтепродукт; 4 – система откачки

Для тушения используются сетки или сеточные пакеты, окрашенные вспенивающейся огнезащитной краской. При тепловом воздействии и достижении температуры 150-250 С сеточное покрытие начинает вспениваться. В течение 30-50 с ячейки сетки полностью перекрываются пенококсом, становясь труднопроницаемыми для паров, газов и тепловых потоков, горение прекращается.

Рассмотренные выше способы имеют свои достоинства и недостатки. Вместе с тем следует отметить необходимость их оценки для определения области применения. Таким образом, полученные результаты исследований позволили в качестве основных направлений повышения пожарной безопасности РВС выделить следующие:

– совершенствование и оценка способов подачи огнетушащих веществ на поверхность горящей жидкости;

– совершенствование и оценка способов подачи огнетушащего вещества в слой горящей жидкости;

– совершенствование и оценка способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения.

Литература

1. Перевалов А. С., Пастухов К. В. Анализ пожарной опасности резервуарных парков хранения нефтепродуктов // Сборник материалов Дней науки «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности» 03–07 декабря 2018 г. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2019.

2. Безбородов Ю. Н., Шрам В. Г., Кравцова Е. Г. Резервуары для приёма, хранения и отпуска нефтепродуктов. Красноярск, 2015. 110 с.

3. Галайда С. В., Косторов С. Л. Новый способ подачи пены и огнетушащих растворов в резервуары нефти и нефтепродуктов // Пожаровзывобезопасность. – 2010. Т. 19, № 9. С. 47–50.

4. Патент № RU2244579C1, МПК A62 C 3/00, 35/00. Способ пожаротушения и система пожаротушения для осуществления способа.

5. Серебренников С. Ю. и др. Эффективное применение конверсионных технологий твердотопливной ракетной техники при автоматизации системы пожарозащиты нефтерезервуаров // Экспозиция Нефть Газ. – 2012. – № 1(19).

6. Серебренников С. Ю. и др. Аварийные системы с газогенераторами и двигателями на твердом топливе (Теория и эксперимент). Екатеринбург, 2002. 286 с.

7. ТУ ОПАН 4854-002-02070464-97.

8. Меркулов В. А. Газовое пожаротушение. Состояние и перспективы развития // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 2. – С. 62–63.

9. Бабуров В. П. и др. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения. М., 2007. 298 с.

10. Старков Н. Н. Тушение пожаров нефтепродуктов и полярных жидкостей диоксидом углерода твердым гранулированным: дис. … канд. техн. наук. М., 2009. 191 с.

11. Шарапов С. В., Боблак В. А. Экспериментальные исследования по применению жидкой двуокиси углерода для тушения пожаров в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2012. – № 2. – С. 52–57.

12. Применение установок газового пожаротушения на основе жидкой двуокиси углерода для защиты резервуарных парков хранения нефти и нефтепродуктов: диссертация кандидата технических наук 05.26.03 / Боблак Виктор Александрович. – Санкт-Петербург, 2012. – 139 с.

13. Шарапов С. В., Боблак В. А. Применение жидкой двуокиси углерода для тушения пожаров в резервуарных парках хранения нефти и нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – Т. 22, № 2. – С. 60–67.

14. Грошев А. Д., Переславцева И. И. Преимущества установок пожаротушения диоксидом углерода при ликвидации горении в резервуарах с нефтепродуктами // Пожаровзывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 12. – С. 69–75.

15. Назаров В. П., Филипчук М. В., Старков Н. Н. Тушение нефтепродуктов и полярных жидкостей в резервуаре диоксидом углерода твердым // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т.15, №5. – С. 82-85.

16. Патент РФ RU2595973 C1 A62C 3/06 Способ подслойного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах.

17. Теребнев В. В. Тактика тушения пожаров. Часть 2. Пожаротушение в ограждениях и на открытой местности. М., 2017. 256 с.

18. Молчанов В. П. Закономерности тушения пожаров нефтепродуктов в резервуарах подслойным способом в условиях интенсивного движения жидкости: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1996.

19. Шароварников С. А. Тушение смесевых топлив в резервуарах подачей пены под слой горючего: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1997.

20. Писанная Е. А., Сарилов М. Ю. Разработка способов пожаротушения резервуаров: отчет по научно-исследовательской работе. Комсомольск на Амуре, 2017. С. 43.

21. Патент РФ RU2320385 C2 A62C 3/06 Способ и устройство противопожарной защиты резервуаров с нефтепродуктами.

22. Патент РФ RU2599363 C2 A62C 3/06 Способ тушения пожара в наземных резервуарах.

23. Патент РФ RU2256976 C2 A62C 3/06 Способ тушения и противопожарной защиты.

References

1. Analiz pozharnoj opasnosti rezervuarnyh parkov hraneniya nefteproduktov [Tekst] : A.S. Perevalov, K.V. Pastuhov. – Ekaterinburg: Sbornik materialov dnej nauki «Aktual'nye problemy i innovacii v obespechenii bezopasnosti» 03-07 dekabrya 2018 g.

2. Bezborodov YU.N. Rezervuary dlya priyoma, hraneniya i otpuska nefteproduktov/ YU.N. Bezborodov, V.G.SHram, E.G. Kravcova. - Krasnoyarsk.: SFU, 2015. - 110 s.

3. Novyj sposob podachi peny i ognetushashchih rastvorov v rezervuary nefti i nefteproduktov // S.V. Galajda, S.L. Kostorov. – Pozharovzyvobezopasnost', 2010, tom 19 №9, str. 47-50.

4. Patent №RU2244579S1, MPK A62 S 3/00, 35/00. Sposob pozharotusheniya i sistema pozharotusheniya dlya osushchestvleniya sposoba.

5. Serebrennikov S.YU. EHffektivnoe primenenie konversionnyh tekhnologij tverdotoplivnoj raketnoj tekhniki pri avtomatizacii sistemy pozharozashchity nefterezervuarov [Tekst] : S.YU. Serebrennikov, K.V. Prohorenko i dr. – nauchno-tekhnicheskij zhurnal «EHkspoziciya Neft' Gaz», № 1(19) fevral' 2012.

6. Serebrennikov S.YU. Avarijnye sistemy s gazogeneratorami i dvigate¬lyami na tverdom toplive (Teoriya i ehksperiment). Ekaterinburg: UrO RAN, 2002.-286s.

7. TU OPAN 4854-002-02070464-97 s izm.10.

8. Merkulov V.A. Gazovoe pozharotushenie. Sostoyanie i perspektivy razvitiya // Pozharovryvobezopasnost'. 2003. № 2. S. 62–63.

9. Baburov V.P., Baburin V.V., Fomin V.I. [i dr.]. Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. CH. 2. Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya: uchebnik. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2007. 298 s.

10. Starkov N.N. Tushenie pozharov nefteproduktov i polyarnyh zhidkostej dioksidom ugleroda tverdym granulirovannym: dis. … kand. tekhn. nauk. M., 2009. 191 s.

11. SHarapov S.V., Boblak V.A. EHksperimental'nye issledovaniya po primeneniyu zhidkoj dvuokisi ugleroda dlya tusheniya pozharov v rezervuarnyh parkah hraneniya nefti i nefteproduktov // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii». – 2012. – №2.- S 52–57.

12. Primenenie ustanovok gazovogo pozharotusheniya na osnove zhidkoj dvuokisi ugleroda dlya zashchity rezervuarnyh parkov hraneniya nefti i nefteproduktov : dissertaciya kandidata tekhnicheskih nauk : 05.26.03 / Boblak Viktor Aleksandrovich.- Sankt-Peterburg, 2012.- 139 s.

13. SHarapov S.V., Boblak V.A. Primenenie zhidkoj dvuokisi ugleroda dlya tusheniya pozharov v rezervuarnyh parkah hraneniya nefti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. – 2012. – T.22, №2. – S. 60-67.

14. Groshev A.D., Pereslavceva I.I. Preimushchestva ustanovok pozharotusheniya dioksidom ugleroda pri likvidacii gorenii v rezervuarah s nefteproduktami // Pozharovzyvobezopasnost'. – 2016. – T.25, №12. – S. 69-75.

15. Nazarov V.P., Filipchuk M.V., Starkov N.N. Tushenie nefteproduktov i polyarnyh zhidkostej v rezervuare dioksidom ugleroda tverdym // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2006. – T.15, №5. – S. 82-85.

16. Patent RF RU2595973 S1 A62S 3/06 Sposob podslojnogo tusheniya pozharov nefti i nefteproduktov v rezervuarah.

17. Terebnev V.V. Taktika tusheniya pozharov. CHast' 2. Pozharotushenie v ograzhdeniyah i na otkrytoj mestnosti: uchebnoe posobie / V.V. Terebnev. - M.: KURS, 2017. - 256 s. - Pozharnaya bezopasnost'.

18. Molchanov, V.P. Zakonomernosti tusheniya pozharov nefteproduktov v rezervuarah podslojnym sposobom v usloviyah intensivnogo dvizheniya zhidkosti. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. - M., 1996.

19. SHarovarnikov, S.A. Tushenie smesevyh topliv v rezervuarah podachej peny pod sloj goryuchego. Avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. - M., 1997.

20. Pisannaya E.A. Razrabotka sposobov pozharotusheniya rezervuarov [Tekst] : otchet po nauchno-issledovatel'skoj rabote // E.A. Pisannaya, M.YU. Sarilov. – Komsomol'sk na Amure. 2017. – S. 43.

21. Patent RF RU2320385 S2 A62S 3/06 Sposob i ustrojstvo protivopozharnoj zashchity rezervuarov s nefteproduktami.

22. Patent RF RU2599363 S2 A62S 3/06 Sposob tusheniya pozhara v nazemnyh rezervuarah.

23. Patent RF RU2256976 S2 A62S 3/06 Sposob tusheniya i protivopozharnoj zashchity.

УДК: 621.315.6 *schnayder@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПОВЕРХНОСТНОГО МЕЖКАПЕЛЬНОГО ПРОБОЯ НА РИСК ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА

THE EFFECT OF A SYNERGISTIC MECHANISM BETWEEN SURFACE-DROPLET BREAKDOWN THE RISK OF ELECTRICAL INJURIES

Сачков И.Н., доктор физико-математических наук, профессор,
Чистяков М.А.,
Уральский федеральный университет
им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург,
Куанышев В.Т., кандидат физико-математических наук, доцент,
Уральский технический институт связи и информатики,
Уральский институт ГПС МЧС России Екатеринбург,
Шнайдер А.В., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург

Sachkov I.N., Chistykov M.A.,
Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education, Yekaterinburg,
Kuanishev V. T.,
Ural Technical Institute of Communications and Informatics,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Schneider A.V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Рассматривается электрический пробой увлажненной поверхности. С помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов исследованы эффекты концентрации электрического поля каплями воды, расположенными на поверхности изолятора. Обнаружена возможность возникновения самоорганизующегося проводящего кластера частиц, инициирующего пробой.

Ключевые слова: электрический пробой, электротравматизм, синергетика, концентратор напряжений, дерево причин отказов

The electric breakdown of the moistened surface is considered. The effects of the concentration of the electric field by water droplets located on the surface of the insulator are investigated using computer simulation by the finite element method. The possibility of a self-organizing conducting cluster of particles initiating a breakdown has been found.

Keywords: electric breakdown, electric shock injuries, a synergy, a hub of voltages, fault tree, failure.

Введение

Известно, что важнейшая особенность электротравматизма – высокая тяжесть последствий [1-2]. Число смертельных электротравм на производстве составляет 20–40 % от общего числа всех несчастных случаев со смертельным исходом. Одним из существенных источников опасности является пробой изолятора, в частности пробой, развивающийся по увлажненной поверхности.

При оценке его опасности учитывается, что существует механизм «самоочищения», который заключается в следующем. Под действием высокого напряжения по увлажненному проводящему слою протекает ток утечки [3-5], который приводит к разогреву электролита и, постепенно, к испарению влаги. В результате образуются подсушенные зоны, имеющие «конфигурацию узких лент, располагающихся перпендикулярно линиям тока» [3]. В процессе эксплуатации ширина подсушенных зон быстро возрастает в направлении, элемента перпендикулярном линиям тока [3]. Таким образом, в результате действия описываемого механизма удается избегать технических отказов. Покажем в настоящей работе, что это, однако, не устраняет опасность кратковременных пробоев, способных создать ненулевую вероятность поражения персонала электрическим током.

Рассмотрим ситуацию, при которой к увлажненной поверхности изолятора приложено электрическое напряжение, характеризующееся значением напряженности, многократно меньшим пробивного значения, соответствующего сухой поверхности. Учтем следующие особенности формирования увлажнения путем конденсации атмосферной влаги. Как правило, увлажненная поверхность покрыта рядом капель, расстояния между которыми случайным образом меняются. При этом будем считать, что концентрация капель еще далека от порога протекания для электрического тока. Учтем, что диэлектрическая проницаемость воды аномально велика, равна примерно 80,5 [6], то есть значительно превышает таковую для воздуха. В этих условиях можно ожидать, что капли воды существенно искажают картину исходного однородного электрического поля. При подобных обстоятельствах должны реализовываться эффекты заметной концентрации напряженности электрического поля вблизи поверхности капель. Ранее подобный же эффект концентрации термических напряжений на поверхности включений оказывался существенным для оценок термической прочности двухфазных материалов [7].

Выясним, при каких условиях эффект концентрации напряженности электрического поля приведет к межкапельному электрическому пробою.

Методика расчетов

Ограничимся рассмотрением стационарных двумерных плоскосимметричных картин распределения электрического поля. Рассчитаем распределение напряженности электрического поля вдоль поверхности диэлектрика, покрытого круглыми участками (каплями) воды. С этой целью целесообразно применить подход, основанный на использовании метода конечных элементов. Ранее он был использован для расчета закономерностей ряда явлений: течения электрического тока в композиционных резистивных материалах [8], переноса продуктов деления в твэлах ядерных реакторов [9], синергетических процессов при десорбции опасных веществ из пористых материалов [10] и ряда других [11].

Выделим в рассматриваемой системе элементарную прямоугольную ячейку, изображенную на рис. 1, содержащую круглые области варьируемых размеров и положения, имитирующие капли воды. Диэлектрическую проницаемость матрицы считаем равной $\varepsilon_0 = 1$, а капель $\varepsilon_i = 80{,}5$. Кроме того, учтем наличие областей пробоя, которые представим в виде вытянутых прямоугольников с высокой диэлектрической проницаемостью. Введем систему декартовых координат X,Y. Рассчитаем распределение электрического потенциала $\varphi(X,Y)$ и, соответственно напряженности электрического поля $E(X,Y) = \mathrm{grad}\ \varphi(X,Y)$. С этой целью используем вариационную формулировку процесса переноса, согласно которой искомое распределение потенциала определяется экстремумом функционала [12]:

$$\chi = \int_{S_c} \varepsilon \left(grad\varphi \right)^2 dS . \qquad (1)$$

Учтем наличие граничных условий. При $Y = Y_0$ и $Y = 0$ примем условие изопотенциальности, $\varphi = \varphi_1$ и φ_2 соответственно. При $X = 0$ и $X = X_0$ – примем условие адиабатичности, то есть $\partial\varphi/\partial X = 0$. Разобьем расчетную область треугольными симплекс-элементами [12]. Сетку разбиений адаптируем к границам включений [7, 8].

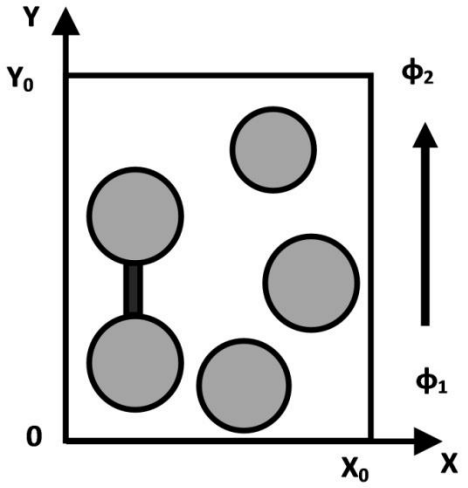


Рисунок 1. Схема расчетной области, серый цвет – капли, черный прямоугольник – область пробоя, стрелка – направление невозмущенного электрического поля E_0

Условия минимума функционала χ (1) позволяют с помощью метода конечных элементов стандартным образом установить узловые значения потенциала во всех точках расчетной области и, соответственно, величины градиентов потенциала grad(φ). Для решения подобной задачи в настоящей работе была создана программа ЭВМ на языке Фортран и проведена серия компьютерных экспериментов, подобная описанным ранее [7-11].

Результаты компьютерного эксперимента

В процессе расчетов анализировались картины пространственных распределений напряженности E(X,Y) в зависимости от взаимного расположения капель и в результате действия «мостиков», возникающих вследствие межкапельных пробоев. Систематизация результатов расчетов привела к выводу, что в определенных точках рассматриваемой среды формируются области как с повышенным, так и с пониженным значением напряженности электрического поля. Охарактеризуем степень возмущения поля безразмерным параметром $k = E/E_0$, равным отношению значения локальной напряженности к ее невозмущенной величине. Обнаруженные закономерности характеризует рис. 2.

Конфигурация «а» соответствует одиночной капле, находящейся достаточно далеко от соседних. Локальная ось y на рис. 2а ориентирована параллельно внешнему полю и проходит через центр капли. Величина L равна диаметру капли d.

Обнаружено, что в рассматриваемых условиях внутри капель напряженность пренебрежимо мала, составляет величину $k \approx 0{,}03$. Напряженность на границе капли резко возрастает. При этом максимальные значения напряженности концентрируются в точках пересечения поверхности капли локальной осью y, параллельной направлению внешнего поля и проходящей через центр капли (см. рис. 2а). Максимальное значение параметра концентрации составляет $k_m = 2{,}00 \pm 0{,}02$. По мере удаления от по-

верхности включения, k меняется по экспоненциальному закону, стремясь к величине k=1, характерному для невозмущенной области поля:

$$k = 1 + (1{,}00 \pm 0{,}02) \cdot \exp[-(1{,}0 \pm 0{,}1)\Delta y / L], \quad (2)$$

где Δy – удаление от капли в направлении y, L – размер (диаметр) капли. Таким образом, значение k_m = 2,00 не зависит от размера капли, а размер возмущенной области пропорционален ее диаметру.

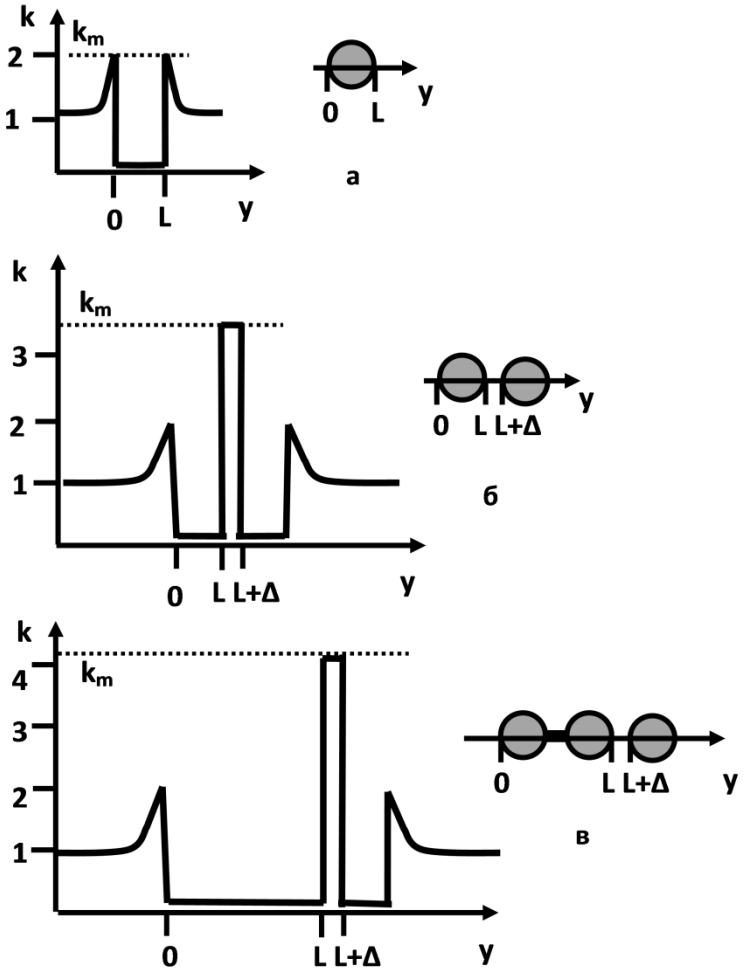


Рисунок 2. Схемы изменения коэффициента концентрации электрического поля k вдоль локальных осей y

Наличие соседней капли иллюстрирует рис. 2б, на нем Δ – расстояние между каплями. Здесь и далее предполагается, что частицы имеют одинаковый размер. Можно видеть, что в промежутке между каплями происходит концентрация напряженности. Расчеты показали, что величина k_m монотонно растет при уменьшении расстояния между каплями Δ. При этом в определенных пределах наблюдается гиперболическая зависимость $k_m(\Delta)$. Значение k_m зависит также от взаимного расположения капель, принимая максимальное значение при соосном их расположении относительно внешнего поля. Отклонение от соосности приводит к уменьшению эффекта концентрации напряженности. Следует также отметить, что на «наружных» поверхностях обеих капель (y=0) также происходит увеличение концентрации напряженности. При этом его изменение пропорционально общей длине группы частиц 2L, в соответствии с формулой (2).

Отметим, что уменьшение расстояния между двумя частицами может привести к ситуации, когда локальное значение напряженности электрического поля между ними окажется выше пробивного напряжения. В результате делается возможным электрический пробой и возникновение единого кластера, состоящего из двух электрически связанных капель. Рис. 3в иллюстрирует ситуацию возникновения подобной конфигурации.

Далее получается, что если вблизи возникшего кластера двух частиц окажется третья частица (рис. 3в), то это приведет к дальнейшему росту коэффициента концентрации в промежутке кластера с третьей частицей. При этом возрастет вероятность нового пробоя и разрастания проводящего кластера.

Систематизация результатов расчетов для ситуации, когда частицы располагаются соосно в направлении невозмущенного электрического поля, то есть вдоль оси Y, привела к следующему выводу. Управляющим фактором для процесса обсуждаемого синергетического роста проводящего кластера является величина L/Δ , где L – текущая длина кластера в направлении внешнего поля (то есть оси Y), Δ – расстояние между кластером и новой частицей. На рис. 3 представлены результаты расчетов зависимости величины максимального коэффициента концентрации k_m от относительной длины многочастичного кластера L/Δ. Приведены данные для различных значений диэлектрической проницаемости. При этом значению ε_0=1 соответствует воздух, а величине ε_0 = 500 – металлизированные частицы.

Установлено, что в обсуждаемых условиях зависимости k_m (L/Δ) с точностью 10 % являются линейными. Величина коэффициента концентрации электрического поля k_m резко зависит от значения диэлектрической проницаемости лишь при ее изменении от 1 до 50. При больших же значениях ε_i – эффект концентрации стабилизируется. Можно видеть также, что рост L, характеризующей длину проводящего кластера, увеличивает, по гиперболическому закону размер области Δ, в которой возможно присоединение новой частицы. Таким образом, процесс роста кластера можно отнести к синергетическому процессу с обострением.

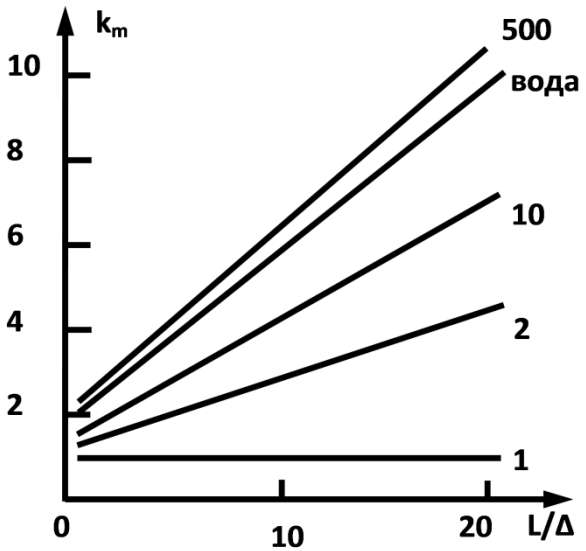


Рисунок 3. Зависимость коэффициента концентрации k_m от длины кластера L и расстояния до новой частицы Δ, цифры у кривых – значения диэлектрической проницаемости капель

На величину эффекта концентрации влияют также и отклонения положения частиц от их взаимной соосности. Охарактеризуем отклонение параметром несоосности γ, смысл которого иллюстрируется вставкой к рисунку 4. На нем представлена схема геометрических факторов, определяющих взаимодействия кластера из двух капель с одиночной частицей. Можно сделать вывод, что пробой возможен лишь для группировок частиц, располагающихся достаточно близко к общей оси, параллельной направлению невозмущенного электрического поля.

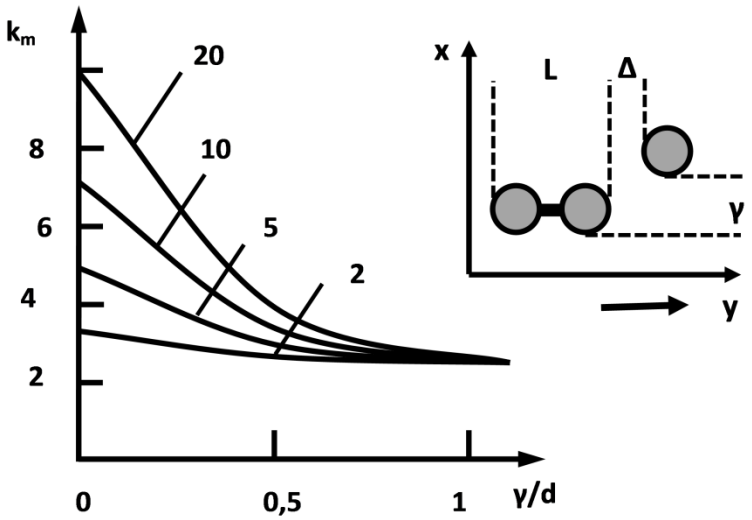


Рисунок 4. Зависимость коэффициента концентрации от параметра несоосности γ, цифры у кривых – значения параметра (L/Δ), d – диаметр одиночной капли; врезка иллюстрирует смысл геометрических параметров, ось y и стрелка – направление невозмущенного поля

Обсуждение

Рассмотрим ситуацию, при которой невозмущенное значение напряженности электрического поля E_0 выбрано много меньшим пробивного E_C. Однако в случае хаотического расположения капель, существует не равная нулю вероятность W_1 , что найдется пара капель, расположенных достаточно близко друг к другу и достаточно соосно, так что концентрация напряженности электрического поля между ними приведет к условию $k_m > E_0/E_C$. При этом локальное значение $E = k_m E_0$ окажется больше пробивного E_C.

Используя данные рис. 3 и 4, можно следующим образом оценить вероятность роста кластера. В частности, если принять, для определенности, что пробивное напряжение в четыре раза меньше приложенного невозмущенного, то можно заключить, что пробой возможен для двух частиц, расположенных на расстоянии Δ_1, меньшем 0,1 их диаметра d при условии, что несоосность не превысит величину 0,25d. Исходя из условия хаотичности расположения частиц можно оценить вероятность W_1 их попадания в указанный интервал Δ и γ. Расчет вероятности иллюстрирует рис. 5. На нем изображено фазовое пространство, координатами которого служат параметры Δ и γ. Заштрихована область значений параметров, при которых k_m>4. Теперь вероятность процесса образования кластера из двух частиц W_1 можно охарактеризовать отношением площадей заштрихованного криволинейного треугольника к общей площади фазового пространства.

На следующей стадии рассматриваемого процесса существует не равная нулю вероятность W_2 существования частицы, расположенной соосно кластеру на расстоянии, не превышающем величи-

ну Δ_2 . В рассматриваемых условиях, с точностью 10 % , $\Delta_2 = 2\ \Delta_1$. Можно видеть, что площадь нового треугольника увеличилась примерно в 2 раза, то есть $W_2 \approx 2\ W_1$. Общая же вероятность возникновения трехчастичного кластера равна произведению $W_{C2} = W_1\ W_2$. Продолжая рассмотрение, можно предположить, что пробой, захватывающий N капель, характеризуется вероятностью $W_{CN} \approx (2\ W_1\ )^N$.

Пробой поверхности изолятора произойдет, когда проводящий кластер сделается проникающим, то есть N превысит критическое значение.

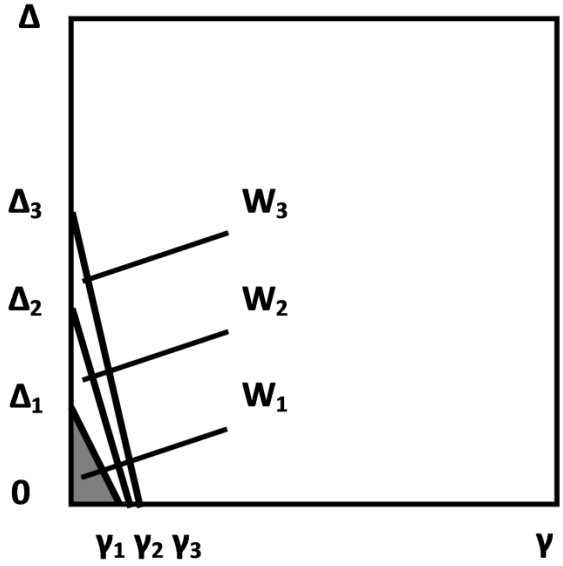


Рисунок 5. Схема расчета вероятностей W_i роста проводящего кластера

Рассматриваемый процесс может прекратиться в результате испарения какой-либо из капель цепочки, благодаря концентрации выделения Джоулева тепла.

Приведенное выше рассмотрение межкапельного пробоя носит качественный характер. Более корректный количественный анализ вероятности пробоя W_{CN} требует применения метода Монте-Карло и компьютерного моделирования схем дерева отказов [13]. Мы предполагаем провести их в последующих наших работах.

Следует также отметить, что представленные результаты носят идеализированный характер, поскольку нами не учитывались особенности развития газового разряда и нестационарные особенности движения носителей тока между каплями. Тем не менее, по нашему мнению, при построении дерева причин опасностей поражения электрическим током необходимо учитывать возможность описанных выше кратковременных маловероятных поверхностных пробоев.

Обсуждавшийся в статье синергетический механизм меж-капельного пробоя может реализоваться также и в иных явлениях, в частности при возникновении атмосферных разрядов в верхних слоях атмосферы, обнаруженных недавно НИИ ядерной физики МГУ [14]. Интересно также выяснить, не связано ли возникновение кратковременных атмосферных разрядов с возникновением кратковременных пробоев между частичками льда, инициируемых ультрафиолетовым излучением, возникающим при обсуждаемых пробоях.

Выводы

1. Капли воды, расположенные на поверхности увлажненного электрического изолятора, являются концентраторами напряженности электрического поля.

2. Наиболее существенно эффект концентрации напряженности проявляется в пространстве между каплями.

3. Межкапельный пробой может инициировать дальнейший самоорганизующийся рост проводящего кластера частиц.

4. Перспективными являются дальнейшие исследования закономерностей поверхностных межкапельных пробоев с использованием комбинации метода конечных элементов и метода Монте-Карло.

Литература

1. Красных А. А. Разработка основ проектирования и создание комплекса электрозащитных средств и устройств мониторинга состояния воздушных линий электропередачи напряжением до 35 кВ для повышения безопасности их эксплуатации: дис. д. т. н.. Киров, 2005. 455 с.

2. Красных А. А. Статистические показатели травматизма в электро-энергетике // Электробезопасность. – 2000. – № 4. – С. 24–31.

3. Альварес Э. Х. Повышение эффективности использования строительной длины и поверхности стержневых стеклопластиковых изоляторов при загрязнении и увлажнении: дис. к. т. н. Ленинград, 1985. 223 с.

4. Александров Г. Н., Иванов В. Л. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения. Л., 1984. С. 40–47.

5. Корбут Е. В. и др. Разрядные напряжения равномерно и неравномерно загрязненных изоляторов // Электричество. – 1978. – № 2.

6. Дейч М. Е., Филиппов Г. А. Газодинамика двухфазных сред. 2-е изд. М., 1981. 400 с.

7. Kuanishev V. T. et al. The concentration parameter thermal microstresses as the thermophysical characteristics of two-phase materials Journal of Physics. URL: https://doi.org/10.1088/1742-6596/891/1/012354.

8. Сачков И. Н. Влияние формы включений на проводимость двумерных регулярных матричных систем // Журн. технич. физики. – 1996. – Т. 66, вып. 12. – С. 48–58.

9. Сачков И. Н. Режимы радиальной переконденсации в цилиндрических объемах // Теплофиз. выс. темп. – 1995. – Т. 33, № 5. – С. 759–764.

10. Sachkov I. N. et al. Development of new FEM programs for synergistic evaporation processes from porous systems // International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering 2018, ICCMSE 2018 (Том 2040). [050017] American Institute of Physics Inc.. https://doi.org/10.1063/1.5079115.

11. Сачков И. Н. Геометрические факторы процессов переноса и фазовых превращений в пространственно неоднородных системах: дис. д. ф.-м. н. Екатеринбург, 2001. 289 с.

12. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М., 1979. 392 с.

13. Белов С. В. и др. Безопасность жизнедеятельности. М., 2001. 487 с.

14. Эксперт: зафиксированное российским спутником явление похоже на открытие. URL: https://ria.ru/20190211/1550669074.html?utm_referrer= https%3A%2F%2Fzen.yandex.com.

References

1. Krasny`x A. A. Razrabotka osnov proektirovaniya i sozdanie kompleksa e`lektrozashhitny`x sredstv i ustrojstv monitoringa sostoyaniya vozdushny`x linij e`lektroperedachi napryazheniem do 35kV dlya povy`sheniya bezopasnosti ix e`kspluatacii. Dis. d.t.n., Kirov, 2005, 455 s.

2. Krasny`x A.A. Statisticheskie pokazateli travmatizma v e`lektro-e`nergetike/ A.A. Krasny`x// E`lektrobezopasnost`. 2000. № 4. - S. 24-31.

3. Al`vares E`. X. Povy`shenie e`ffektivnosti ispol`zovaniya stroitel`noj dliny` i poverxnosti sterzhnevy`x stekloplastikovy`x izolyatorov pri zagryaznenii i uvlazhnenii tema dissertacii. Dis. k.t.n. Leningrad 1985, 223 s.

4. Aleksandrov G.N., Ivanov V.L. Izolyaciya e`lektricheskix apparatov vy`sokogo napryazheniya. L.: E`nergoatomizdat, 1984 g. -s.40-47.

5. Korbut E.V., Merxalev S.D., Rejn B.M., Solomonik E.A. Razryadny`e napryazheniya ravnomerno i neravnomerno zagryaznenny`x izolyatorov. E`lektrichestvo, № 2, 1978.

6. Dejch M.E., Filippov G.A. Gazodinamika dvuxfazny`x sred 2-e izd. – M.: E`nergoizdat, 1981. S. 400

8. Sachkov I.N. Vliyanie formy` vklyuchenij na provodimost` dvumerny`x regulyarny`x matrichny`x sistem //Zhurn. texnich. fiziki. 1996. T. 66, vy`p. 12. S. 48-58.

9. Sachkov I.N. Rezhimy` radial`noj perekondensacii v cilindricheskix ob``emax //Teplofiz. vy`s. temp. 1995. T. 33, № 5. S. 759-764.

11. Sachkov I.N. Geometricheskie faktory` processov perenosa i fazovy`x prevrashhenij v prostranstvenno neodnorodny`x sistemax, Dis. d.f.-m.n. Ekaterinburg – 2001, 289 s.

12. Segerlind L. Primenenie metoda konechny`x e`lementov. M.:Mir, 1979. 392 s.
13. Belov S.V., Il`niczkaya A.V., Koz`yakov A.F. i dr Bezopasnost` zhiznedeyatel`nosti M.: Vy`sshaya shkola, 2001, 487 s.
14. E`kspert: zafiksirovannoe rossijskim sputnikom yavlenie poxozhe na otkry`tie. E`lektronny`j resurs:

УДК 534.838.7:665.664/.6666 *tatulik_vasileva@mail.ru*

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ РАСТВОРИТЕЛЬ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

STUDYING THE EFFECT OF ULTRASONIC VIBRATIONS ON A CHEMICAL SOLVENT TO REMOVE ASPHALT-RESIN-PARAFFIN DEPOSITS

Муфтахова Э.Д., Васильева Т.В.,
Хафизов И.Ф., доктор технических наук, профессор,
Хафизов Ф.Ш., доктор технических наук, профессор,
Султанов Р.М., доктор химических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Muftakhova E.D., Vasilyeva T.V.,
Khafizov I.F., Khafizov F.Sh., Sultanov R.M.,
Ufa State Petroleum Technoljgical University, Ufa

Одной из важных проблем, возникающих при транспортировке, хранении и переработки нефти, является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на стенках промыслового оборудования. АСПО представляет собой сложную углеводородную смесь, которая зачастую препятствует работе нефтяных технологических систем и установок. Образовавшиеся на стенках оборудований отложения затрудняют перекачивание нефти, что может привести к аварийным состояниям и возгоранию. Широко распространенным способом удаления АСПО является химический метод, в основе которого – растворение АСПО различными растворителями. Технология этого метода проста в реализации, и его результат обладает длительным эффектом. В настоящее время имеется много сведений о воздействии ультразвуковых волн на протекание химических реакций и на растворимость веществ.

В связи с этим в статье описаны лабораторные испытания, в которых изучалось влияние ультразвука на моющую, растворяющую и диспергирующую способности химических растворителей АСПО. Представлены результаты проделанных испытаний и сравнительный анализ показателей эффективности испытуемых растворителей с воздействием на них ультразвуковыми колебаниями.

Ключевые слова: асфальтосмолопарафиновые отложения, ультразвуковые колебания, химический растворитель, диспергирующая способность, моющая способность, растворяющая способность.

One of the important problems during transportation, storage and processing of oil is the formation of asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD) on the walls of the manufacturing equipment. ARPD is a complex hydrocarbon mixture, which often interferes with the operation of oil technological systems and installations. The sediments formed on the walls of the equipment make it difficult to pump oil, which can later lead to emergency conditions and fire. A widespread method of removing paraffin is a chemical method, based on dissolving paraffin from various solvents. The technology of this method is simple to implement and its result has a long-lasting effect. Currently, there is a lot of information about the effects of ultrasonic waves on the course of

chemical reactions and on the solubility of substances. In this regard, the article describes laboratory tests in which the effect of ultrasound on the washing, dissolving and dispersing abilities of chemical paraffin solvents was studied. The results of the tests performed and a comparative analysis of the performance indicators of the tested solvents with exposure to ultrasonic vibrations are presented.

Keywords: asphalt-resin-paraffin deposits, ultrasonic vibrations, chemical solvent, dispersing ability, washing ability, dissolving ability.

При эксплуатации нефтепромыслового оборудования на внутренней поверхности образуется сложная углеводородная смесь, в состав которой входят твердые парафиновые углеводороды и смолисто-асфальтеновые вещества, которые формируют асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО) [1]. Образование АСПО приводит к частичному изменению состава нефти, к уплотнению стенок нефтепромыслового оборудования, что уменьшает эффективность работы нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих устройств и может привести к аварийным ситуациям.

В зависимости от природы нефти и содержания в ней твердых углеводородов, а также в зависимости от места отбора проб в состав АСПО входят [2, 3]:

– парафины (20-70 % по массе);

– асфальто-смолистые вещества (АСВ) (20-40 % по массе);

– силикагелевые смолы (массой 5-30 %);

– вода (от долей до нескольких процентов по массе);

– связанная нефть с массой до 60 %;

– механические примеси (1-10 % по массе);

– сера с массовым содержанием до 2 %.

Технология борьбы с АСПО ведется в основном по двум направлениям: предупреждение формирования отложений и удаление уже образовавшихся.

К первому виду борьбы можно отнести: использование защитных покрытий; химические методы (смачиватели, модификаторы, депрессаторы, диспергаторы); физические методы (вибрационные, ультразвуковые, воздействие электрических и электромагнитных полей). Второй вид борьбы включает следующие методы: тепловые методы (промывка горячей нефтью или водой в качестве теплоносителя, острый пар, электропечи, индукционные подогреватели, реагенты, при взаимодействии с которыми протекают экзотермические реакции); механические методы (скребки, скребки-центраторы); химические (растворители и удалители) [4, 5].

Одним из наиболее распространенных и эффективных методов является удаление сформировавшихся отложений с помощью введения химического растворителя. Выбор растворителя – процесс трудоемкий и зависит от состава АСПО. Так как асфальтосмолопарафиновое отложение является многокомпонентным веществом, то в состав растворителя должно входить не одно вещество, а целый комплекс веществ, основными элементами которых чаще бывают ароматические и алифатические углеводороды. Нередко в химический растворитель добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые являются смачивающими реагентами, формирующими защитную гидрофильную пленку и препятствующими прилипанию гидрофобных кристаллов парафина к стенкам труб.

Для достижения характерного эффекта в процессе удаления АСПО нередко прибегают к использованию ультразвукового (УЗ) воздействия в сочетании с химическим. Воздействия УЗ волн на вещество уже давно изучены и известно, что они могут совершать изменения агрегатного состояния вещества, диспергировать его [6], влиять на протекание химического процесса, изменять скорость вза-

имного проникновения молекул между веществами, усиливать реакции и технологические процессы, а также значительно воздействовать на растворимость вещества.

Поиск эффективного растворителя для АСПО чаще всего проводится экспериментальным методом. Известна лабораторная методика по определению эффективности растворяющей и диспергирующей способностей растворителя АСПО, разработанная на основании единых технических требований по основным классам химических реагентов № П1-01.05 М-0044 [7].

В первую очередь образцам АСПО придают форму шариков диаметром 1 см и затем определяют их вес с помощью аналитических весов с точностью 0,005 г. Для этого шарики укладывают на заранее взвешенную металлическую сетку, выполненную в форме корзиночек диаметрами 2 см, высотой 2 см и с размерами ячеек 0,1х0,1 см. После взвешивания данную корзиночку с шариками АСПО помещают в колбу ёмкостью 150 см^3, куда заранее наливают испытуемый растворитель в соотношении 10 г на 1 г АСПО, так, чтобы растворитель целиком обволакивал образец отложений. Опыт выполняют 6 часов или менее при полном растворении образцов. В течение всего испытания регистрируют преобразования физического состояния отложений.

По окончанию эксперимента металлическую корзиночку с отложениями высушивают на воздухе до постоянной массы и взвешивают ее с остатками на аналитических весах с точностью 0,005 г. Содержимое стеклянной колбы отфильтровывают с помощью воронки Бюхнера. Затем фильтр с остатком высушивают на воздухе до постоянной массы и определяют вес на аналитических весах с точностью 0,005 г.

Обработка результатов проделанного эксперимента проводится в соответствии с формулами из методических указаний ОАО «НК «Роснефть» [7].

Определяется масса фильтрата ($G_{\text{фильтрата}}$), т. е. масса растворителя и растворенной части АСПО в соответствии с формулой (1):

$$G_{\text{фильтрата}} = (G_{\text{АСПО}} + G_{\text{р}}) - (G_{\text{ф}} + G_{\text{кор}}), \quad (1)$$

где $G_{\text{АСПО}}$ – начальная масса образца АСПО, $G_{\text{р}}$ – масса испытуемого растворителя, $G_{\text{ф}}$ – масса остатка АСПО на фильтре, $G_{\text{кор}}$ – масса остатка АСПО на корзиночке.

Находится масса АСПО, растворенного в растворителе ($G_{\text{Рч}}$), определяемая в соответствии с формулой (2):

$$G_{\text{Рч}} = G_{\text{АСПО}} - (G_{\text{ф}} + G_{\text{кор}}). \quad (2)$$

А также для обработки результатов осуществляется расчет моющей, диспергирующей и растворяющей способностей растворителя.

Моющая способность растворителя определяется в соответствии с формулой (3) и выражается в процентах:

$$Э_{\text{М}} = \frac{G_{\text{АСПО}} - G_{\text{кор}}}{G_{\text{АСПО}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $Э_{\text{М}}$ – моющая способность растворителя.

Диспергирующая способность растворителя определяется в соответствии с формулой (4) и выражается в процентах:

$$Э_{\text{Д}} = \frac{G_{\text{Ф}}}{G_{\text{АСПО}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $Э_{\text{Д}}$ – диспергирующая способность растворителя.

Ратворяющая способность растворителя определяется в соответствии с формулой (5) и выражается в процентах:

$$Э_{\text{Р}} = \frac{(G_{\text{АСПО}} - G_{\text{кор}}) - G_{\text{Ф}}}{G_{\text{АСПО}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $Э_{\text{Р}}$ – растворяющая способность растворителя.

По описанной лабораторной методике были проделаны несколько испытаний для образца АСПО с месторождения Татарстана с использованием двух химических растворителей РОХ-1 и РОХ-2 с воздействием на них УЗ колебаний, так и без УЗ воздействия. Воздействие ультразвуком на испытуемые растворители производилось в течение 1 минуты с различной мощностью. Растворитель РОХ-1 состоит из ароматического углеводорода, растворитель РОХ-2 – из этого же ароматического углеводорода с добавлением ПАВ. В таблицах 1-2 представлены результаты испытаний.

Таблица 1

Результаты экспериментов без использования УЗ воздействия

Растворитель	Номер эксперимента	Исходная масса образца АСПО $G_{АСПО}$, г	Масса растворителя $G_Р$, г	Масса остатка АСПО на фильтре $G_Ф$, г	Масса остатка АСПО в корзинке $G_{КОР}$, г	Масса АСПО, растворенного в растворителе ($G_{Рч}$), г	Моющая способность растворителя, %	Диспергирующая способность растворителя, %	Растворяющая способность растворителя, %
РОХ-1	1	0,6541	37,50	0,0973	0,0032	0,5536	98,21	12,58	85,80
	2	0,5292	37,50	0,0419	0,0102	0,4771	97,18	7,62	90,06
	3	0,7027	37,50	0,0152	0,0237	0,6638	95,72	3,26	93,38
	4	0,5107	37,50	0,0227	0,0130	0,4750	96,50	4,15	91,08
среднее значение:		**0,5992**	**37,50**	**0,0443**	**0,0125**	**0,5424**	**96,9**	**6,9**	**90**
РОХ-2	1	0,7486	37,94	0,2516	0,0148	0,4822	98,02	33,61	64,60
	2	0,6027	37,94	0,2041	0,0198	0,3788	96,70	33,86	62,85
	3	0,6205	37,94	0,2435	0,0067	0,3703	98,92	39,24	59,70
	4	0,5889	37,94	0,2099	0,0084	0,3706	98,60	35,64	62,93
среднее значение:		**0,6402**	**37,94**	**0,2273**	**0,0124**	**0,4005**	**96,7**	**30,6**	**66, 1**

Таблица 2

Результаты экспериментов с применением УЗ воздействия

Растворитель	Номер эксперимента	Исходная масса образца АСПО $M_{АСПО}$, г	Масса растворителя $M_Р$, г	Масса остатка АСПО на фильтре $M_Ф$, г	Масса остатка АСПО в корзинке $M_{КОР}$, г	Масса АСПО, растворенного в растворителе ($M_{Рч}$), г	Моющая способность растворителя, %	Диспергирующая способность растворителя, %	Растворяющая способность растворителя, %
РОХ-1	1	0,7411	37,50	0,0833	0,0181	0,6400	98,74	12,42	86,32
	2	0,7305	37,50	0,0837	0,0120	0,6350	99,21	12,31	86,90
	3	0,6560	37,50	0,1122	0,0034	0,5400	99,76	17,38	82,38
	4	0,7242	37,50	0,1763	0,0010	0,5470	99,85	24,33	75,52
среднее значение:		**0,7130**	**37,50**	**0,1139**	**0,0086**	**0,5905**	**99,4**	**16,6**	**82, 8**
РОХ-2	1	1,2262	37,94	0,3499	0,0034	0,8426	98,94	36,54	62,40
	2	1,1106	37,94	0,3106	0,0220	0,7780	99,21	34,97	64,24
	3	1,1782	37,94	0,4101	0,2270	0,7454	99,42	36,81	62,61
	4	1,1030	37,94	0,3705	0,0325	0,7000	97,98	37,62	60,36
среднее значение:		**1,1545**	**37,94**	**0,3603**	**0,0712**	**0,7665**	**98,9**	**36,5**	**62,4**

Сравнивая данные таблицы 1 и 2 можно сказать, что УЗ увеличивает показатели моющей и диспергирующей способностей, а показатель растворяющей способности уменьшает. Увеличение диспергирующей способности происходит за счет расщепления АСПО на более крупные осадки, которые впоследствии уменьшают растворяющую способность.

Для удобного сравнения показателей эффективности растворителей РОХ-1 и РОХ-2 построены гистограммы (рис. 1-3), на которых представлены средние значения их моющей, диспергирующей и растворяющей способностей как для случая без воздействия УЗ на растворитель, так и в случае воздействия УЗ на растворитель. По этим гистограммам легко проследить изменения эффективностей растворителей.

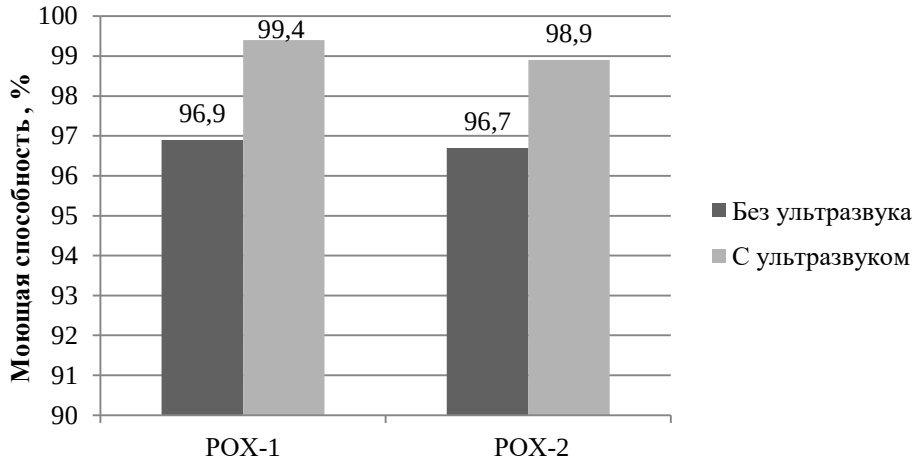


Рисунок 1. Средние значения моющей способности для растворителей РОХ-1 и РОХ-2

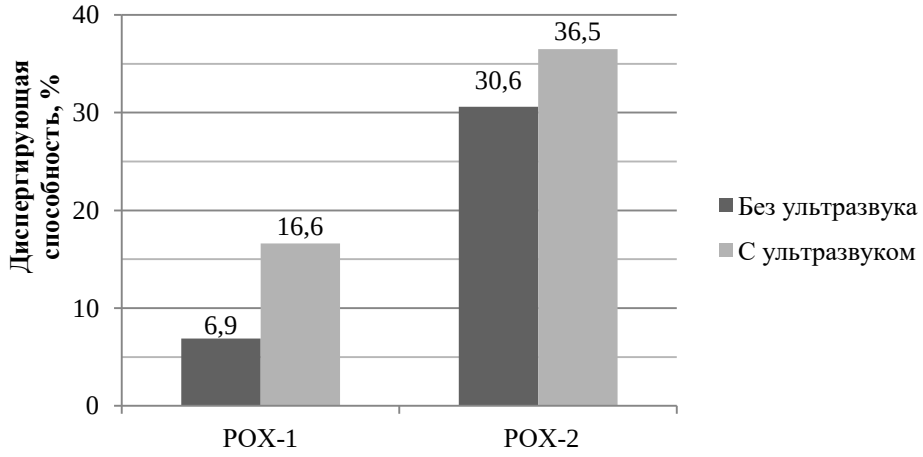


Рисунок 2. Средние значения диспергирующей способности для растворителей РОХ-1 и РОХ-2

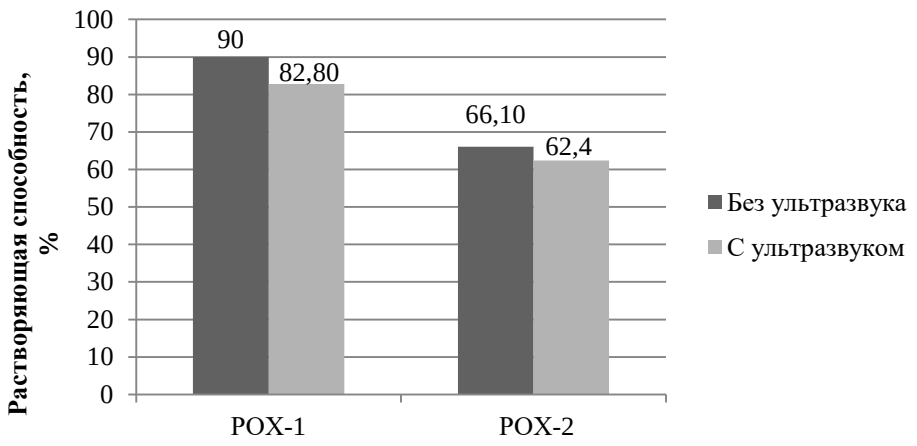


Рисунок 3. Средние значения растворяющей способности для растворителей РОХ-1 и РОХ-2

По данным рис. 1-3 видно, что оба растворителя имеют хорошую эффективность очистки от АСПО (имеют моющую способность свыше 96 %) и поэтому могут использоваться в промышленности. Но из-за расхождений в результатах диспергирующей и растворяющей способностей растворителей при использовании УЗ следует определить, где эффективнее применять тот или иной растворитель.

Для очистки магистральных трубопроводов от АСПО лучше всего применять растворитель, у которого диспергирующая способность имеет низкие показатели, а растворяющая способность – высокие. Из-за небольших диаметров магистральных трубопроводов важно, чтобы большая часть АСПО растворилась в моющем растворе и по окончании процесса очистки оставшаяся нерастворенная часть АСПО в виде осадка не затруднила прокачку реагента по трубопроводу. При этом для эффективной очистки достаточно чтобы моющая способность обладала 80-90 %, так как промывка проходит в динамическом режиме и тем самым моющая способность увеличивается. Поэтому для эффективной очистки магистрального трубопровода больше всего подойдет растворитель РОХ-1 без использования УЗ, обладающий высокой моющей и растворяющей способностями и низкой диспрегирующей спсобностью.

Очистка резервуаров от АСПО проходит в статическом режиме, поэтому важным критерием является высокая моющая способность растворителя. Что касается растворяющей способности и диспергирующей, то требования к ним не столь строги. Резервуары имеют большую емкость и диаметр, поэтому крупные осадки могут создать помеху лишь при сливе отходов, для чего достаточно средних показателей диспергирующей и растворяющей способностей. Но необходимо, чтобы показатель диспергирующей способности не превышал хотя бы 40-50 %. Поэтому для эффективной очистки резервуаров лучше использовать растворители РОХ-1 и РОХ-2 с применением УЗ, которые обладают высокими показателями моющей способности и средними показателями диспергирующей способности равными 16,6 % и 36,5 %

Литератруа

1. Васильева Т. В. и др. Обеспечение пожарной безопасности нефтепромыслового оборудования при удалении АСПО // Материалы 1-й международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» УГНТУ «Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли». Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. – С. 334–335. URL: http://bibl.rusoil.net/base_docs/UGNTU/Konferentcii/PPB2018.pdf.

2. Персиянцев М. Н. Добыча нефти в осложненных условиях. М., 2000. 653 с.

3. Сергиенко С. Р., Таимова Б. А., Талалаев Е. И. Высокомолекулярные неуглеводородные соединения нефти. М., 1959. 412 с.

4. Тронов В. П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними. М., 1970. 192 с.

5. Хохлов Н. Г. и др. Удаление асфальто-смолистых веществ и парафина из нефтепроводов НГДУ «Южарланнефть» // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 110-111.

6. Хафизов Ф. Ш. и др. Совершенствование конструкции ультразвукового газогидродинамического смесителя // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2010. – Вып. 1 (79). – С. 55–60.

7. П1-01.05 М-0044 версия 1.00 Методические указания компании ОАО «НК «Роснефть» Единые технические требования по основным классам химических реагентов. М., 2013. 189 с.

References

1. Vasilyeva T.V., Shayhullina M.M., Khafizov I.F., Permyakov A.V. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti neftepromyslovogo oborudovaniya pri udalenii ASPO [Ensuring fire safety of oilfield equipment during removal of paraffin]. Materialy 1-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 15-letiyu kafedry «Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost'» UGNTU «Aktual'nye problemy i tendencii razvitiya tekhnosfernoj bezopasnosti v neftegazovoj otrasli». [Proceedings of 1 International Scientific and Practical Conference dedicated to the 15th anniversary of the department "Fire and Industrial Safety" UGNTU "Actual problems and trends in the development of technospheric safety in the oil and gas industry."] Ufa, UGNTU Publ., 2018. pp. 334–335. (accessed 22.01.2019). (in Russ.).

2. Persiyancev M.N. Dobycha nefti v oslozhnennyh usloviyah [Oil production in complicated conditions]. Moscow, OOO "Nedra-Biznescentr", 2000. 653 p. (in Russ.).

3. Sergienko S.R., Taimova B.A., Talalaev E.I. Vysokomolekulyarnye neuglevodorodnye soedineniya nefti [High-molecular non-hydrocarbon compounds of oil]. Moscow, Nauka Publ., 1959. 412 p. (in Russ.).

4. Tronov V.P. Mekhanizm obrazovaniya smolo-parafinovyh otlozhenij i bor'ba s nimi [The mechanism of formation of resin-paraffin deposits and the fight against them]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 192 p. (in Russ.).

5. Hohlov N.G., Vagapov R.R., SHagitov Z.M., Mustafin A.S. Udalenie asfal'to-smolistyh veshchestv i parafina iz nefteprovodov NGDU «YUzharlanneft'» [Removal of asphalt-resinous substances and paraffin from oil pipelines of the NGDU "Yuzharlanneft"]. Neftyanoe hozyajstvo - Oil industry, 2006, No 1, pp. 110-111. (in Russ.).

6. Khafizov F.Sh.., Abdullin N.A., Degterev N.S., Khafizov I.F. Sovershenstvovanie konstrukcii ul'trazvukovogo gazogidrodinamicheskogo smesitelya [Design improvement of ultrasonic gas-hydrodynamic mixer]. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov – Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products, 2010, Issue 1 (79), pp. 55-60. (in Russ.).

7. P1-01.05 M-0044 versiya 1.00 Metodicheskie ukazaniya kompanii OAO «NK «Rosneft'» Edinye tekhnicheskie trebovaniya po osnovnym klassam himicheskih reagentov [P1-01.05 M-0044 version 1.00 Methodical instructions of Rosneft Oil Company JSC Uniform technical requirements for the main classes of chemical reagents]. Moscow, OAO «NK «Rosneft'», 2013. 189 p. (in Russ.).

УДК 614.841.48 *spark002@mail.ru*

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ НАНОСТРУКТУР В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОГО РИСКА НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY FOR MANAGING NANOSTRUCTURES TO REDUCE FIRE RISK IN OIL AND GAS INDUSTRY

Иванов А.В., кандидат технических наук, доцент,
Мифтахутдинова А.А.,
Скрипник И.Л., кандидат технических наук, доцент,
Шугаибов Р.А.,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург

Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A.,
Scripnik I.L., Shugaibov R.A.,
Saint-Petersburg University of State Fire Service
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg

Представлены результаты реализации технологии для снижения величин пожарного риска на производственных объектах нефтегазового комплекса с помощью технологии управления свойствами наноструктур в жидких углеводородах. В рамках развития технологий производства материалов с заданными свойствами предложена концепция «умных материалов» для снижения пожарного риска на объектах нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: жидкие углеводороды, «умные материалы», расчетная величина пожарного риска, модификация, стабилизация, переменный частотно-модулированный сигнал.

The results of the implementation of technology for reducing the risk of fire at the production facilities of the oil and gas complex using the technology of controlling the properties of nanostructures in liquid hydrocarbons are presented. As part of the development of technologies for the production of materials with desired properties, the concept of “smart materials” has been proposed for reducing fire risk at oil and gas facilities.

Keywords: oil product, smart materials, fire risk value, modification, stabilization, variable frequency-modulated signal.

Введение

Внедрение новых технологий нефтегазового комплекса (НГК), как правило, связано с увеличением уровня пожарной опасности, ростом вероятности возникновения пожаров и аварийных ситуаций на объектах. Наблюдается некоторое «запаздывание» в развитии технологий обеспечения пожаровзрывобезопасности от внедрения новых высокоэффективных и инновационных промышленных технологий по добыче, переработке и транспортировке нефти и нефтепродуктов [1].

При реализации мероприятий по снижению пожарного риска возникают ограничения, обусловленные «пределами роста» современных технологий обеспечения пожарной безопасности, которые связаны с невозможностью изменения физических свойств (скорость испарения, поверхностное натяжение, статическая электризация и пр.) при обращении с веществами и материалами без использова-

ния технических решений, вносящих существенные изменения в параметры технологического процесса.

Основным трендом, характеризующим переход современных технологий к более прогрессивным является разработка оперативных способов управления свойствами веществ и материалов для придания им качественно новых характеристик. Речь идет о так называемых «умных материалах» (УМ). В настоящее время применение УМ развивается в области медицины, электроники и биотехнологий и др. Углеродные наноструктуры, используемые в данном исследовании, также можно отнести к «умным материалам», так как в зависимости от внешних воздействий и факторов (электромагнитные поля, температура, pH среды) они могут существенно варьировать значения базовой среды, не изменяя ее химический состав. Успешное внедрение данной технологии возможно при решении следующих задач:

- разработки способов оперативного изменения свойств веществ на стадии применения технологий, характеризующихся наибольшей вероятностью возникновения аварийной ситуации или пожара;

- обеспечения относительно невысоких материальных затрат по внедрению УМ в действующие производства и системы обеспечения пожарной безопасности;

- исключения негативного воздействия предлагаемых технологий на человека, окружающую среду, обращающиеся в производстве вещества, материалы и изделия.

Инноватика, отраженная в исследованиях [2, 3], заключается в разработке принципов управления свойствами базовых веществ и материалов за счет изменения их наноструктуры в условиях реагентной и электрофизической модификации. Результаты проведенных исследований влияния характеризующих параметров углеродных наноструктур на процессы парообразования и электризации, позволяют сделать вывод о возможности применения наноматериалов с целью снижения интенсивности воздействия поражения людей, вследствие возможных аварийных ситуаций.

Процесс внедрения технологии создания и применения УМ для обеспечения пожарной безопасности на объектах НГК можно представить в виде функциональной блок-схемы на рисунке 1.

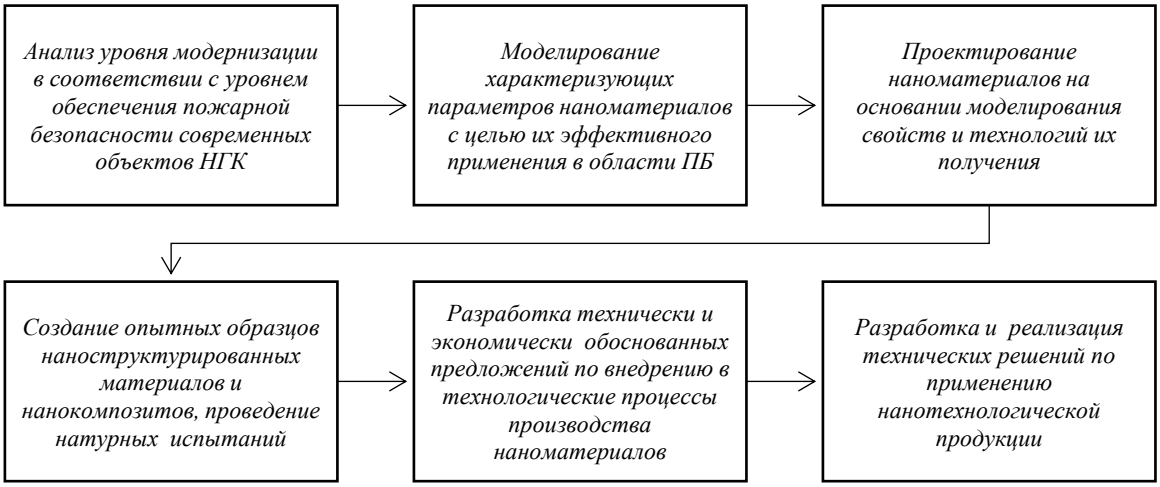


Рисунок 1. Функциональная блок-схема внедрения технологии применения «умных материалов» на объектах НГК

Технологии и технические средства применения УМ основаны на принципах управления свойствами веществ и материалов в условиях динамически из-

меняющихся технологических процессов на объектах НГК. Реализация научно-технических решений в области внедрения технологии применения УМ должно обеспечивать снижение возможных причин возникновения аварийных ситуаций, связанных с выбросом взрывопожароопасных веществ, возможностью разрядов статического электричества, как потенциального источника зажигания на объектах НГК, а также локализацию и ликвидацию последствий из возникновения.

Материалы и методы исследования

Для обоснования эффективности технологии управления свойствами углеродных наноструктур в качестве присадок с целью снижения пожарной опасности процессов при обращении жидких углеводородов на объектах НГК, произведена оценка вклада нанокомпонентной присадки [4] на величины поражающих факторов при возможной аварийной ситуации с выбросом опасного вещества из оборудования. Проведен расчет условной вероятности поражения людей вследствие: избыточного давления на фронте ударной волны и импульса давления при разрыве трубопровода; интенсивности теплового излучения для «огненного шара» при разрыве трубопровода; интенсивности теплового излучения пожара пролива нефтепродукта при разрыве трубопровода; а также на величину индивидуального пожарного риска. Объектами исследования являются модифицированные многослойными углеродными нанотрубками (MWCNT) (в концентрациях 0,5 % об. и 1,0 % об.) жидкие углеводороды: этанол (ГОСТ Р 55878-2013), о-ксилол (ГОСТ 9410-78), бензин НЕФРАС С3-80/120 «БР-1» (ГОСТ 443-76), уайт-спирит НЕФРАС-С4-155/200 (ГОСТ 3134-78), керосин авиационный марки ТС-1 (ГОСТ 10227-86). MWCNT представляют собой протяженные цилиндрические и ветвящиеся наноструктуры, произведенные методом каталитического пиролиза на установке CVDomna [5].

Использование углеродных наноструктур (УНС) позволяет в значительной степени изменять свойства базовых веществ без изменения их химического состава, что делает их перспективными для развития промышленности, в том числе и для обеспечения пожарной безопасности [2, 6]. Вместе с тем существенным ограничением для технологий модификации УНС, является проблема агрегации наночастиц и их последующая седиментация, влекущая нестабильность их физико-химических свойств. Таким образом, с целью стабилизации во времени свойств полученных наножидкостей, образцы подвергались электрофизическому воздействию (ПЧМС) [7]. При воздействии переменного электрического поля с параметрами прибора ПЧМС, происходит переориентация наночастиц вдоль силовых линий приложенного электрического поля, тем самым эффекты, полученные сразу после подготовки наножидкостей, сохраняются на более длительное время [3, 8].

При возникновении наиболее вероятной аварийной ситуации (авария на технологическом трубопроводе при транспортировке нефтепродуктов) на типовом технологическом участке предприятия НГК определены возможные сценарии ее развития (рис. 2), при которых на персонал и население будут воздействовать поражающие факторы.

Решающими факторами, влияющими на процессы парообразования жидких углеводородов при депонировании наноструктур, являются добротность, концентрация наночастиц в жидкостях, динамическая вязкость базовых жидкостей, поверхностное натяжение наножидкостей и диэлектрическая проницаемость [9]. При диспергировании УНС в базовые жидкости интенсивность испарения жидких углеводородов $W_{исп}$ будет изменяться [8, 9]. Поэтому при её определении возникает необходимость введения коэффициента модификации (K_M), определяющего отношение отклонения значений интенсивности испарения модифициро-

ванного УНС жидкого углеводорода ($m^{М}_{экс.исп}$) к базовой жидкости ($m^{Б}_{экс.исп}$):

$$K_M = \frac{m^{М}_{экс.исп}}{m^{Б}_{экс.исп}}. \quad (1)$$

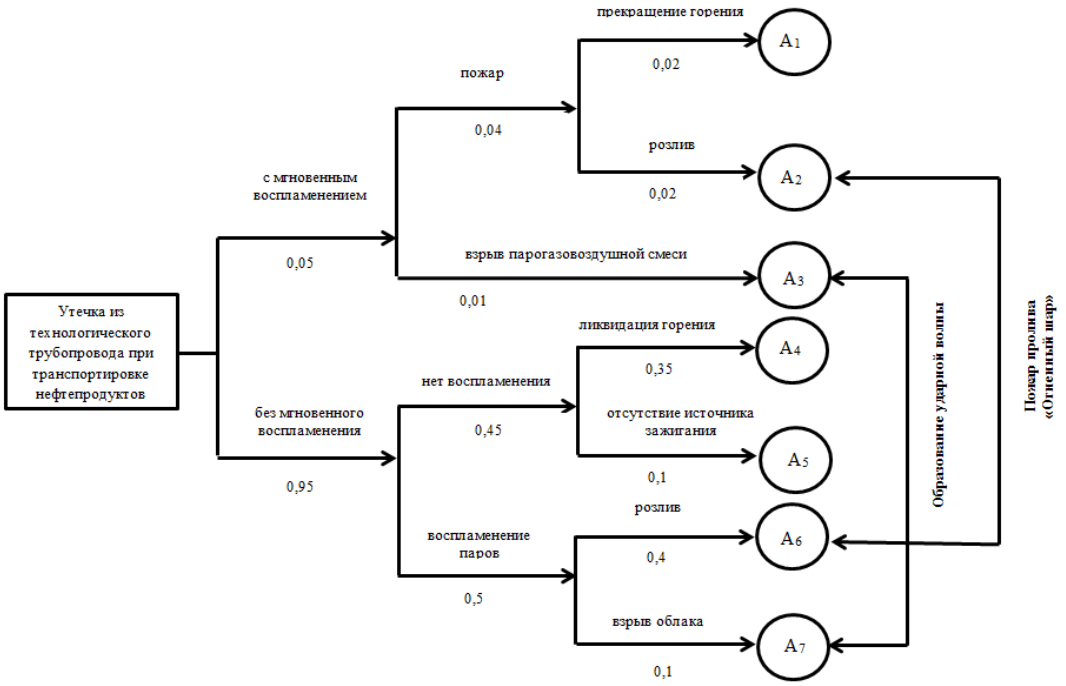


Рисунок 2. «Дерево событий» для сценария разрыва трубопровода при транспортировке нефтепродуктов [10]

При диспергировании УНС в базовые жидкости площадь пролива топлив S также будет изменяться, поэтому при её определении для жидких углеводородов с УНС возникает необходимость дополнительно включить коэффициент K_S, характеризующий отношение экспериментально полученной площади пролива 1 мл модифицированного жидкого углеводорода ($S^{М}_{экс.}$) к базовой жидкости ($S^{Б}_{экс.}$), определяемый как:

$$K_S = \frac{S^{М}_{экс.}}{S^{Б}_{экс.}}. \quad (2)$$

При стабилизации УНС в наножидкостях на основе жидких углеводородов путем электрофизического воздействия полученных наножидкостей интенсивность испарения $W_{исп}$ и площадь пролива жидких углеводородов S также будут изменяться, поэтому при определении данных параметров для модифицированных жидких углеводородов в условиях стабилизации УНС возникает необходимость ввести коэффициенты:

- k_m – коэффициент стабилизации, характеризующий отношение экспериментально полученной интенсивности испарения модифицированного УНС жидкого углеводорода в условиях стабилизации ($m^{с}_{экс.исп}$) к модифицированной жидкости ($m^{М}_{экс.исп}$);
- k_s – коэффициент, характеризующий отношение экспериментально полученной площади пролива 1 мл модифицированного жидкого углеводорода в условиях стабилизации УНС к модифицированной жидкости ($m^{М}_{экс.исп}$):

$$k_m = \frac{m^{с}_{экс.исп}}{m^{М}_{экс.исп}}, \quad (3)$$

$$k_s = \frac{S^{с}_{экс.}}{S^{М}_{экс.}} \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение

В результате учета поправочных коэффициентов K_M и K_S, k_m и k_s в ходе

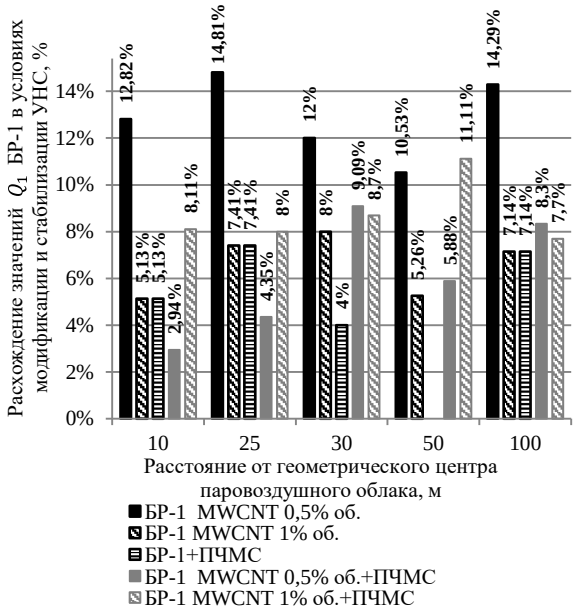
определения расчетных величин пожарного риска [11] установлено снижение условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара:

- избыточного давления на фронте ударной волны при разрыве трубопровода (Q_1);
- интенсивности теплового излучения для «огненного шара» при разрыве трубопровода (Q_2);
- интенсивности теплового излучения пожара пролива нефтепродукта при разрыве трубопровода (Q_3).

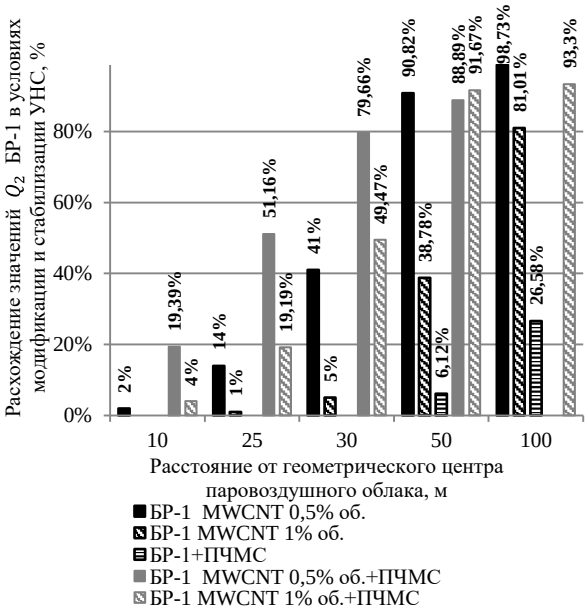
Результаты расчетов процентного расхождения значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара при разрыве трубопровода для транспортировки нефтепродуктов в условиях модификации и стабилизации УНС представлены на рисунках 3*а* – 3*в* и определялись:

$$\Delta = \frac{x_{бж}(x_{Мэкс}) - x_{Мэкс}(x_{Сэкс})}{x_{Мэкс}(x_{Сэкс})} * 100\%, \quad (5)$$

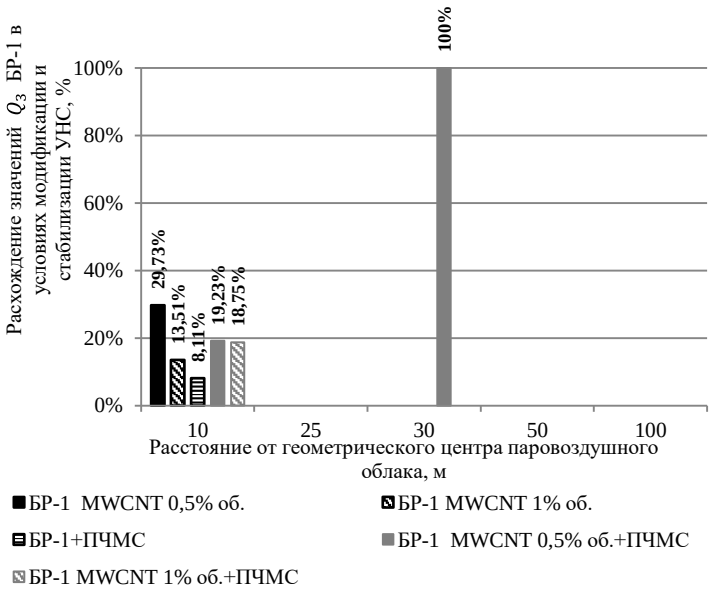
где $x_{бж}$ – значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара вследствие аварии, связанной с выбросом базовых жидкостей, $x_{Мэкс}/x_{Сэкс}$ – значения условных вероятностей поражения людей опасными факторами пожара вследствие аварии, связанной с выбросом жидкостей в условиях модификации и стабилизации УНС соответственно.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Расхождение значений Q_1, Q_2 и Q_3 в условиях модификации и стабилизации стабилизации УНС: а) этанола, б) о-ксилола, в) бензина НЕФРАС С3-80/120 «БР-1», г) уайт-спирита НЕФРАС-С4-155/200

Значение потенциального риска для событий A_3, A_7 (возможность образования ударной волны) и A_2, A_6 (возможность образования «огненного шара) при максимальной условной вероятности поражения человека определялось по формуле:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{j} Q_{di}(a) \cdot Q(A_i) \qquad (6)$$

где $Q_{di}(a)$ – максимальная условная вероятность поражения человека, $Q(A_i)$ – вероятность реализации в течение года i-той ветви логической схемы аварии, год$^{-1}$.

Показатель индивидуального риска для персонала при наиболее опасном событии определялся по формуле:

$$R = P(A) \cdot q \qquad (7)$$

где P(A) – значение потенциального риска для наиболее опасного события, год$^{-1}$, q – вероятность присутствия работников на объекте.

Согласно примерному штатному расписанию и характеру распределения работников на промышленном предприятии НГК принято, что, вероятность их присутствия на объекте за год (при 12-часовом рабочем дне; 250 рабочих дней в году) составляет:

$$q = \frac{12 \cdot 250}{365 \cdot 24} = 0{,}34 \qquad (7)$$

При разгерметизации технологического трубопровода вероятность отказа оборудования составляет $5 \cdot 10^{-3}$, объем выброса принимается максимально возможный 0,05 м^3. Вероятность развития аварии по сценариям «дерева событий» составляет:

$$Q_2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}02 = 10^{-4}$$
$$Q_3 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}01 = 5 \cdot 10^{-5}$$
$$Q_6 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}4 = 2 \cdot 10^{-3}$$
$$Q_7 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}1 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Таблица

Значения потенциального риска $P(A)_{3,7}$ ($P(A)_{2,6}$) и индивидуального риска $R_{3,7}$ ($R_{2,6}$) для персонала в случае реализации аварийной ситуации сценариев A_3 и A_7

№ п/п	Наименование жидкости	K_M/k_m	$P(A)_{3,7}$ год$^{-1}$, 10^{-4}	$R_{3,7}$ год$^{-1}$, 10^{-5}	K_S/k_s	$P(A)_{2,6}$ год$^{-1}$, 10^{-4}	$R_{2,6}$ год$^{-1}$, 10^{-4}
1.	Этанол	1	1,65	0,56	1	21	7,14
2.	Этанол+MWCNT 0,5% об.	0,44	1,38	0,47	0,7	13,65	4,64
3.	Этанол+ MWCNT 1,0% об.	0,52	1,43	0,49	0,77	18,48	6,28
4.	Этанол+ПЧМС	0,69	1,54	0,52	0,72	20,58	7
5.	*Этанол+MWCNT 0,5% об. +ПЧМС*	0,35	*1,32*	*0,45*	0,53	*2,31*	*0,79*
6.	Этанол+ MWCNT 1,0% об. +ПЧМС	0,4	1,38	0,47	0,59	7,98	2,71
7.	о-Ксилол	1	1,43	0,49	1	18,06	6,14
8.	о-Ксилол+MWCNT 0,5% об.	0,4	1,21	0,41	0,62	0,21	0,071
9.	о-Ксилол + MWCNT 1,0% об.	0,43	1,21	0,41	0,64	0,21	0,071
10.	о-Ксилол+ПЧМС	0,81	1,38	0,47	0,79	10,08	3,43
11.	*о-Ксилол+MWCNT 0,5% об. +ПЧМС*	0,25	*1,05*	*0,36*	0,45	*0*	*0*
12.	о-Ксилол + MWCNT 1,0% об. +ПЧМС	0,27	1,1	0,37	0,48	0	0
13.	БР-1	1	2,15	0,73	1	21	7,14
14.	БР-1+MWCNT 0,5% об.	0,47	1,87	0,64	0,72	19,32	6,57
15.	БР-1+ MWCNT 1,0% об.	0,67	1,98	0,67	0,82	21	7,14
16.	БР-1+ПЧМС	0,8	2,04	0,69	0,9	21	7,14
17.	*БР-1+MWCNT 0,5% об.+ПЧМС*	0,4	*1,82*	*0,62*	0,6	*14,7*	*5*
18.	БР-1+ MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,47	1,87	0,64	0,75	19,53	6,64
19.	Уайт-Спирит	1	1,93	0,66	1	21	7,14
20.	Уайт-Спирит+MWCNT 0,5% об.	0,5	1,65	0,56	0,79	16,8	5,71
21.	Уайт-Спирит + MWCNT 1,0% об.	0,67	1,76	0,6	0,83	20,58	7
22.	Уайт-Спирит+ПЧМС	0,75	1,82	0,62	0,88	21	7,14
23.	*Уайт-Спирит+MWCNT 0,5% об.+ПЧМС*	0,42	*1,6*	*0,54*	0,7	*9,66*	*3,28*
24.	Уайт-Спирит + MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,58	1,76	0,6	0,74	18,9	6,43
25.	ТС-1	1	1,43	0,49	1	18,06	6,14
26.	ТС-1+MWCNT 0,5% об.	0,5	1,21	0,41	0,64	0,21	0,07
27.	ТС-1+ MWCNT 1,0% об.	0,7	1,32	0,45	0,69	3,36	1,14
28.	ТС-1+ПЧМС	0,8	1,38	0,47	0,84	10,5	3,57
29.	*ТС-1+MWCNT 0,5% об.+ПЧМС*	0,4	*1,16*	*0,39*	0,56	*0,21*	*0,07*
30.	ТС-1+ MWCNT 1,0% об.+ПЧМС	0,6	1,27	0,43	0,6	0,63	0,21

Обобщенные результаты расчета значений потенциального и индивидуального пожарного риска представлены в таблице 2:

1) Проведя анализ полученных данных можно сделать вывод, для полярных жидких углеводородов значения потенциального пожарного риска в условиях модификации УНС снижаются на ~15%, для неполярных на ~10%, значения индивидуального пожарного риска для полярных жидких углеводородов снижаются на ~25%, для неполярных – на ~50%.

2) При воздействии переменного электрического поля, генерируемого ПЧМС, значения потенциального пожарного риска снижаются на ~30–35%, значения индивидуального пожарного риска снижаются на ~20% по сравнению с жидкими углеводородами в условиях модификации УНС.

3) При использовании УНС в жидких углеводородах снижение расчетных величин пожарного риска достигается за счет создания условий стабилизации наноструктур [7], что позволяет снизить уровень пожарной опасности объектов НГК при модификации н концентраций «умных материалов» (при концентрации 0,5% об. и создании условий стабили-

зации УНС значения потенциального пожарного риска снижается на 30 – 70% по сравнению с жидкостями модифицированными УНС в концентрации 1,0%), что позволяет снизить уровень воздействия поражающих факторов в случае возникновения аварийных ситуаций на предприятиях НГК.

Выводы

1) Специфика управления пожарной безопасностью объектов НГК в условияых развития производства заключается в необходимости решения проблемы применения и реализации инновационных систем и технологий, обеспечивающих пожаровзрывобезопасность их объектов, достижения уровня конкурентноспособности и обеспечения величин пожарного риска.

2) В качестве критериев оценки эффективности применения технологии модификации и стабилизации углеродных наноструктур в среде жидких углеводородов можно использовать расчетные значения условных вероятностей поражения людей, вследствие возможного развития аварийных ситуаций (избыточное давление на фронте ударной волны, интенсивность теплового излучения для «огненного шара», интенсивность теплового излучения пожара пролива нефтепродукта).

3) По результатам проведенных исследований по определению влияния условий модификации УНС жидких углеводородов на расчетные величины пожарного риска наблюдается снижение условных вероятностей поражения людей, вследствие реализации сценариев развития аварийной ситуации на 10 – 20%, а значения индивидуального пожарного риска снижаются в среднем на 60%. В условиях стабилизации УНС по сравнению с модифицированными жидкими углеводородами снижение значений условных вероятностей поражения людей составляет 15%, величина индивидуального пожарного риска снижается в среднем на 62% в сравнении с жидкими углеводородами в условиях модификации УНС.

4) Реализация принципов управления свойствами наноструктур позволяет управлять факторами, влияющими на уровень пожарной опасности производственного объекта НГК. Основным направлением технологии применения «умных материалов» является оперативное изменение свойств базовых жидкостей – нефтепродуктов для предупреждения возникновения взрывопожароопасных ситуаций, что позволяет уменьшить величины индивидуального и потенциального пожарного риска на объектах хранения, транспортировки и переработки нефтепродуктов.

Литература

1. Faisal Khan et al. Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2016. – № 14. – P. 9–17. DOI: 10.1016/j.coche.2016.07.006.

2. Иванов А. В. и др. Управление электростатическими свойствами жидких углеводородов, модифицированных углеродными наноструктурами // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 7. – С. 16–27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

3. Иванов А. В. и др. Физико-технологические принципы и методика управления пожароопасными процессами при обращении с жидкими углеводородами в условиях стабилизации углеродных наноструктур // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 12. – С. 7–18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.

4. Заявка на патент на изобретение № 2018138816 (064514) от 02.11.2018. Способ снижения электризации жидких углеводородов при обращении с ними / А. В. Иванов, А. А. Мифтахутдинова, А. Ю. Сорокин, М. А. Симонова, Г. К. Ивахнюк, Л. В. Медведева.

5. Shah N., Panjala D., Huffman G. P. Hydrogen production by catalytic decomposition of methane // Energy & Fuels. – 2001. – Vol. 15, № 6. – P. 1528–1534. DOI: 10.1021/ef0101964.

6. Иванов А. В., Ивахнюк Г. К, Медведева Л. В. Методы управления свойствами углеводородных жидкостей в задачах обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 26, № 9. – С. 30–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.

7. Пат. 2479005 Российская Федерация. МПК G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз / Г. К. Ивахнюк, В. Н. Матюхин, В. А. Клачков, А. О. Шевченко, А. С. Князев, К. Г. Ивахнюк, А. В. Иванов, В. А. Родионов. – №2011118347/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.

8. Иванов А. В. и др. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2017. – Т. 26, № 9. – С. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

9. Мифтахутдинова А. А., Иванов А. В., Ивахнюк Г. К. Моделирование процессов электризации жидких углеводородов в условиях стабилизации углеродных наноструктур // Техносферная безопасность. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 36–44.

10. Постановление Госгортехнадзора России от 26.04.2000 № 23 / РД 03-357-00 Методические рекомендации по составлению декларации промышленной безопасности опасного производственного объекта.

11. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

References

1. Faisal Khan, Seyed Javad Hashemi, Nicola Paltrinieri, Paul Amyotte, Valerio Cozzani and Genserik Reniers Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2016. – No. 14. – P. 9-17. DOI: 10.1016/j.coche.2016.07.006.

2. Ivanov A.V., Sorokin A.YU., Ivahnyuk G.K., Demekhin F.V. Upravlenie ehlektro-staticheskimi svojstvami zhidkih uglevodorodov, modificirovannyh uglerodnymi nanostrukturami // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2017. T. 26 № 7. – S. 16-27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

3. Ivanov A.V., Miftahutdinova A.A., Ivahnyuk G.K., Basharichev A.V. Fiziko-tekhnologicheskie principy i metodika upravleniya pozharoopasnymi processami pri obrashchenii s zhidkimi uglevodorodami v usloviyah stabilizacii uglerodnyh nanos-truktur // Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety. – 2018. T. 27 № 12. – S. 7-18. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.7-18.

4. Zayavka na patent na izobretenie № 2018138816 (064514) ot 02.11.2018 g. Sposob snizheniya ehlektrizacii zhidkih uglevodorodov pri obrashchenii s nimi Ivanov A.V., Miftahutdinova A.A., Sorokin A.YU., Simonova M.A., Ivahnyuk G.K., Medvedeva L.V.

5. Shah N., Panjala D., Huffman G.P. Hydrogen production by catalytic decomposition of methane // Energy & Fuels. – 2001. –Vol. 15, No. 6. –P. 1528-1534. DOI: 10.1021/ef0101964.

6. Ivanov A.V., Ivahnyuk G.K, Medvedeva L.V. Metody upravleniya svojstvami uglevodorodnyh zhidkostej v zadachah obespecheniya pozharnoj bezopasnosti // Pozha-rovzryvobezopasnost'. — 2016. T. 26, № 9. — S. 30-37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.30-37.

7. Pat. 2479005 Rossijskaya Federaciya. MPK G05B 24/02 (2006.01), H03B 28/00 (2006.01). Sposob i ustrojstvo upravleniya fiziko-himicheskimi processami v veshches-tve i na granice razdela faz. / Ivahnyuk G. K., Matyuhin V. N., Klachkov V. A., SHevchen-ko A. O., Knyazev A. S., Ivahnyuk K. G., Ivanov A. V., Rodionov V. A., — № 2011118347/08; zayavl. 21.01.2010; opubl. 10.04.2013, Byul. № 10.

8. Ivanov A. V., Miftahutdinova A. A., Nefed'ev S. A., Simonova M. A., Masla-kov M. D. Usloviya stabilizacii nanostruktur dlya bezopasnoj transportirovki leg-kovosplamenyayushchihsya zhidkostej // Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety. — 2017. — T. 26, № 9. — S. 35–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

9. Miftahutdinova A.A., Ivanov A.V., Ivahnyuk G.K. Modelirovanie processov ehlektrizacii zhidkih uglevodorodov v usloviyah stabilizacii uglerodnyh nanostruk-tur // Tekhnosfernaya bezopasnost' . — 2018. — T. 21, № 4. — S. 36–44.

10. Postanovlenie Gosgortekhnadzora Rossii ot 26.04.2000 № 23 / RD 03-357-00 Me-todicheskie rekomendacii po sostavleniyu deklaracii promyshlennoj bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo ob"ekta.

11. Prikaz MCHS RF ot 10 iyulya 2009 g. № 404 «Ob utverzhdenii metodiki oprede-leniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah».

УДК 614.849 *alexkrec96@mail.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

DETERMINATION OF THE DEGREE OF ACHIEVEMENT OF TARGETS INDICATORS OF PERFORMANCE OF THE FEDERAL STATE FIRE SUPERVISION ON THE TERRITORY OF THE URAL FEDERAL DISTRICT

Кректунов А.А., кандидат сельскохозяйственных наук,
Шавалеев М.Р., кандидат химических наук,
Тужиков Е.Н., кандидат технических наук,
Черепанов Е.А., Бараковских М.В.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Ольховикова С.В., кандидат философских наук, доцент,
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Krektunov A. A., Shavaleev M.R., Tuzhikov E.N.,
Cherepanov E.A., Barakovskih M.V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense,Yekaterinburg,
Olkhovikova S. V.,
Ural Federal University named after
the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg

В статье дана характеристика базовой модели, определяющей показатели результативности и эффективности осуществления контрольно-надзорной деятельности, приводится методика оценки результативности и эффективности федерального государственного пожарного надзора (далее – ФГПН). Приводятся характеристики ключевых показателей результативности и эффективности федерального государственного пожарного надзора. Проводится расчет ключевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора на территории субъектов Российской Федерации, входящих в состав Уральского федерального округа. На основании проведенных расчетов устанавливается уровень достижения главных показателей результативности ФГПН в указанном регионе.

Ключевые слова: базовая модель, реформа надзорной деятельности, федеральный государственный пожарный надзор, ключевые показатели результативности и эффективности, целевые значения показателей результативности, Уральский федеральный округ.

In the presented article, a characteristic of the basic model is given, which determines the performance indicators and the effectiveness of the implementation of control and supervisory activities, provides a methodology for assessing the effectiveness and efficiency of the Federal State Fire Supervision. The characteristics of key performance indicators and effectiveness of the Federal State Fire Supervision are given. The calculation of key performance indicators of the federal state fire supervision on the territory of the Russian Federation constituent entities of the Urals Federal District is carried

out. Based on the calculations made, the level of achievement of the main indicators of the effectiveness of the FGPN in the specified region was established.

Keywords: basic model, reform of supervisory activities, federal state fire supervision, key performance indicators and efficiency indicators, target values of performance indicators, Ural Federal District.

В настоящее время идет совершенствование системы государственного контроля и уменьшение избыточного давления на бизнес. В этой связи вопросу оценки качества деятельности различных видов государственного контроля (надзора) уделяется все больше внимания. В соответствии с перечнем государственных услуг и государственных функций по осуществлению государственного контроля (надзора), формируемым в рамках реализации приказа Минэкономразвития Российской Федерации от 29 декабря 2018 г. № 753 [1], одним из видов контрольно-надзорной деятельности МЧС России является федеральный государственный пожарный надзор, именно на базе которого, в соответствии с приказом МЧС РФ от 29 декабря 2006 г. № 804 [2], построена единая система надзоров. Таким образом, федеральный государственный пожарный надзор играет первостепенную роль в функционировании системы контроля и надзора МЧС России. Система надзора в области пожарной безопасности также активно реформируется. Изменение системы федерального государственного пожарного надзора не может происходить без ее качественной оценки, поскольку именно результативность и эффективность определяют целесообразность проводимых реформ. В то же время, качественно построенная система управления позволяет добиваться необходимых результатов и, в случае необходимости, перенаправлять усилия в нужное направление.

Первым шагом к внедрению новой системы оценки эффективности стала разработка Министерством экономического развития России базовой модели определения результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности, которая утверждена распоряжением Правительства от 17 мая 2016 года № 934-р [3]. В соответствии с указанным нормативным правовым актом федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие контрольно-надзорную деятельность, определяют перечень показателей для каждого вида контрольно-надзорной деятельности.

Перечень ключевых показателей результативности контрольно-надзорной деятельности для ряда федеральных органов исполнительной власти утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 апреля 2018 г. № 788-р [4]. В МЧС России показателями результативности при осуществлении федерального государственного пожарного надзора являются: количество людей, погибших при пожарах, на 100 тысяч населения (А.1.1); количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тысяч населения (А.1.2) и материальный ущерб, причиненный в результате пожаров, на валовый внутренний продукт (далее – ВВП) Российской Федерации (А.2).

Проведем расчет ключевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора по субъектам Уральского федерального округа (далее – УрФО), в состав которого входят 6 субъектов Российской Федерации: Свердловская область, Челябинская область, Курганская область, Тюменская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Ямало-Ненецкий автономный округ.

Ключевые показатели результативности федерального государственного пожарного надзора на территории субъектов Российской Федерации определим по формулам 1, 2 и 3.

$$\text{А.}1.1 = \left[\frac{N\ \text{жертв}}{N\ \text{населения}}\right] * 100000\ , \quad (1)$$

$$A.1.2 = \left[\frac{N\ \text{травмированных}}{N\ \text{населения}}\right] * 100000, \quad (2)$$

$$A\ 2 = \left[\frac{N\ \text{материального ущерба}}{\text{ВВП РФ}}\right], \quad (3)$$

где $N_{жертв}$ – количество людей, погибших при пожарах на территории субъекта Российской Федерации в конкретном году; $N_{населения}$ – численность населения субъекта Российской Федерации в конкретном году; $N_{травмированных}$ – количество людей, травмированных при пожарах на территории субъекта Российской Федерации в конкретном году; $N_{материального\ ущерба}$ – материальный ущерб, причиненный в результате пожаров на территории субъекта Российской Федерации в конкретном году, млн руб.; ВВП РФ – валовый внутренний продукт Российской Федерации в конкретном году, млн. руб.

Представим необходимые данные для проведения расчетов в таблице 1.

Таблица 1

Статистические данные по числу погибших и травмированных при пожарах, а также материальному ущербу, причинённому в результате пожаров на территории субъектов Уральского федерального округа в 2018 году [5]

Субъект	Количество людей, погибших при пожарах	Количество людей, травмированных при пожарах	Материальный ущерб, причинённый в результате пожаров, млн руб.
Свердловская область	274	316	282,296
Челябинская область	164	256	48,046
Курганская область	86	122	446,438
Тюменская область	159	106	175917
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	54	117	150,160
Ямало-Ненецкий автономный округ	29	73	376,226

Численность населения по субъектам Уральского федерального округа в 2018 году приведена в таблице 2[6].

Таблица 2

Численность населения по субъектам Уральского федерального округа в 2018 году

Субъект УрФО	Численность населения
Свердловская область	4325256
Челябинская область	3493036
Курганская область	845537
Тюменская область	1498779
Ханты-Мансийский автономный округ –Югра	1655074
Ямало-Ненецкий автономный округ	538547

Проведем расчет ключевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора на территории субъектов Уральского федерального округа в 2018 году. Для этого используем статистические данные по пожарам и их последствиям, а также по численности населения, приведенные в таблицах 1 и 2. Размер валового внутреннего продукта Российской Федерации в 2018 году принимаем в сумме 103 626 600 млн рублей [7]. Обобщенные данные представим в таблице 3.

Таблица 3

Рассчитанные ключевые показатели результативности федерального государственного пожарного надзора на территории субъектов Уральского федерального округа в 2018 году

Субъект УрФО	Количество людей, погибших при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.	Количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.	Материальный ущерб, причинённый в результате пожаров относительно ВВП РФ, млн руб.
Свердловская область	6,33	7,3	0,0000027
Челябинская область	4,69	7,32	0,00000046
Курганская область	10,17	14,42	0,0000043
Тюменская область	10,6	7,07	0,001697
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	3,26	7,06	0,0000014
Ямало-Ненецкий автономный округ	5,38	13,55	0,0000036

Приказом МЧС России от 18 декабря 2017 г. № 576 [8] определены целевые значения показателей результативности федерального государственного пожарного надзора по субъектам Российской Федерации, для обеспечения достижения целей реформы контрольно-надзорной деятельности МЧС России. Данные показатели для субъектов Уральского федерального округа приведены в таблице 4.

Таблица 4

Целевые значения показателей результативности федерального государственного пожарного надзора для субъектов Уральского федерального округа в 2018 году

Субъект УрФО	Количество людей, погибших при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.	Количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.	Материальный ущерб, причинённый в результате пожаров относительно ВВП РФ, млн. руб.
Свердловская область	6,85	6,21	0,000088
Челябинская область	5,15	6,67	0,000067
Курганская область	10,98	16,33	0,001128
Тюменская область	10,01	6,62	0,000057
Ханты-Мансийский	3,79	7,89	0,001031

автономный округ – Югра			
Ямало-Ненецкий автономный округ	5,02	16,18	0,000087

В таблице 5 обобщим расчетные данные по ключевым показателям результативности федерального государственного пожарного надзора на территории субъектов Уральского федерального округа в 2018 году и приведенные данные по целевым значениям показателей для этих же субъектов.

Таблица 5

Значения ключевых и целевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора для субъектов Уральского федерального округа в 2018 году

Субъект УрФО	Количество людей, погибших при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.		Количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тыс. населения, чел.		Материальный ущерб, причинённый в результате пожаров относительно ВВП РФ, млн руб.	
	Ключевой показатель	Целевой показатель	Ключевой показатель	Целевой показатель	Ключевой показатель	Целевой показатель
Свердловская область	6,33	6,85	7,3	6,21	0,0000027	0,000088
Челябинская область	4,69	5,15	7,32	6,67	0,00000046	0,000067
Курганская область	10,17	10,98	14,42	16,33	0,0000043	0,001128
Тюменская область	10,6	10,01	7,07	6,62	0,001697	0,000057
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	3,26	3,79	7,06	7,89	0,0000014	0,001031
Ямало-Ненецкий автономный округ	5,38	5,02	13,55	16,18	0,0000036	0,000087

Таким образом, по показателю «количество людей, погибших при пожарах, на 100 тысяч населения» по субъектам Уральского федерального округа установленные целевые значения в 2018 году превышены на территории Тюменской области и Ямало-Ненецкого автономного округа; по показателю «количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тысяч населения» – на территории Свердловской, Челябинской и Тюменской областей; по показателю «материальный ущерб, причинённый в результате пожаров относительно ВВП РФ» – ни один субъект не превысил установленных значений. При этом даже превы-

шенные показатели отличаются от установленных целевых значений на незначительную величину, что говорит о возможности достижения установленных целевых значений в 2019 и 2020 гг.

Следует отметить, что статистическая информация играет главную роль в оценке результативности осуществления федерального государственного пожарного надзора, а вступившие в силу с 1 января 2019 года изменения в порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС РФ от 21 ноября 2008 г. № 714 [9], могут не позволить в полной мере использовать существующую методику оценки, поскольку порядок учета существенно влияет на показатели статистической информации.

Литература

1. Об утверждении порядка ведения перечня государственных услуг и государственных функций по осуществлению государственного контроля (надзора): приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 29 декабря 2018 г. № 753 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: www.pravo.gov.ru.

2. О Концепции создания единой системы государственных надзоров в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: приказ МЧС РФ от 29 декабря 2006 г. № 804 // Текст приказа официально опубликован не был.

3. Основные направления разработки и внедрения системы оценки результативности и эффективности контрольно-надзорной деятельности: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 мая 2016 года № 934-р // Собрание законодательства Российской Федерации от 23 мая 2016 г. № 21. Ст. 3075.

4. О перечне ключевых показателей результативности контрольно-надзорной деятельности федеральных органов исполнительной власти: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 апреля 2018 г. № 788-р // Собрание законодательства Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 19. Ст. 2770.

5. Статистика пожаров. URL: https://www.sites.google.com/site/statistikapozaro/.

6. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce.

7. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/tab1a.xls.

8. Об утверждении перечней показателей результативности и эффективности деятельности надзорных органов МЧС России: приказ МЧС России от 18 декабря 2017 г. № 576 // Текст приказа официально опубликован не был.

9. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий: приказ МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714 // Российская газета от 17 декабря 2008 г. № 257.

References

1. Ob utverzhdenii poryadka vedeniya perechnya gosudarstvennyh uslug i gosudarstven-nyh funkcij po osushchestvleniyu gosudarstvennogo kontrolya (nadzora): prikaz Ministerst-va ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii ot 29 dekabrya 2018 g. № 753 // Ofici-al'nyj internet-portal pravovoj informacii (www.pravo.gov.ru). 29 yanvarya 2019 g.

2. O Koncepcii sozdaniya edinoj sistemy gosudarstvennyh nadzorov v oblasti po-zharnoj bezopasnosti, grazhdanskoj oborony i zashchity naseleniya i territorij ot chrezvy-chajnyh situacij: prikaz MCHS RF ot 29 dekabrya 2006 g. № 804 // Tekst prikaza oficial'no opublikovan ne byl.

3. Osnovnye napravleniya razrabotki i vnedreniya sistemy ocenki rezul'tativnosti i ehffektivnosti kontrol'no-nadzornoj deyatel'nosti: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 17 maya 2016 goda № 934-r // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii ot 23 maya 2016 g. № 21. st. 3075.

4. O perechne klyuchevyh pokazatelej rezul'tativnosti kontrol'no-nadzornoj deyatel'-nosti federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossij-skoj Federacii ot 27 aprelya 2018 g. № 788-r // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Fe-deracii ot 7 maya 2018 g. № 19. st. 2770.

5. Statistika pozharov [EHlektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: https://www.sites.google.com/site/statistikapozaro/.

6. Oficial'nyj sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki [EHlektron-nyj resurs] – Rezhim dostupa: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce.

7. Oficial'nyj sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki [EHlektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/vvp/vvp-god/tab1a.xls.

8. Ob utverzhdenii perechnej pokazatelej rezul'tativnosti i ehffektivnosti deyatel'-nosti nadzornyh organov MCHS Rossii: prikaz MCHS Rossii ot 18 dekabrya 2017 g. № 576 // Tekst prikaza oficial'no opublikovan ne byl.

9. Ob utverzhdenii Poryadka ucheta pozharov i ih posledstvij: prikaz MCHS Rossii ot 21 noyabrya 2008 g. № 714 // Rossijskaya gazeta ot 17 dekabrya 2008 g. № 257.

УДК 614.84 *mansurovtx@rambler.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ОДИНОЧНОЙ И ГРУППОВОЙ ПРОКЛАДКЕ

APPLICATION OF FIRE-PROTECTIVE INTUMESCENT COMPOSITIONS FOR INCREASING THE FIRE SAFETY OF CABLE PRODUCTS WITH A SINGLE AND GROUP GASKET

Мансуров Т. Х.,
Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Головина Е. В.,
Сафронова И. Г., кандидат педагогических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург

Mansurov T. H., Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V., Safronova I. G.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Рассматривается проблема пожарной опасности кабельных изделий, а также вопросы, связанные с проведением огневых испытаний на огнезащитную эффективность огнезащитных кабельных покрытий и полученными при этом результатами, описан способ снижения пожарной опасности кабельных линий, заключающийся в нанесении огнезащитных кабельных составов на поверхность кабеля. Представлено состояние этого вопроса в зарубежной научно-технической литературе.

Ключевые слова: огнезащитные кабельные покрытия, кабельные изделия, пенококс, термическая стойкость, огнезащитная эффективность.

The article discusses the fire hazard of cable products, issues arising from fire tests for fire resistance, the effectiveness of the use of fire-retardant cable coatings and the obtained results, and also the method of reducing the fire hazard of cable lines, which consists of using flame retardants on the cable surface. The state of these issues in foreign scientific and technical literature are considered.

Keywords: fire retardant cable coatings, cable products, foam, thermal resistance, fire retardant efficiency.

Введение

Применение огнезащитных интумесцентных составов для повышения пожарной безопасности кабельных изделий при одиночной и групповой прокладке позволяет снизить тепловое воздействие на защищаемые кабели, уменьшить распространение пламени по кабельным изделиям (КИ) при горизонтальном и вертикальном расположении в пространстве, а также обеспечить увеличение времени работоспособности и целостности электрической цепи кабеля, покрытого огнезащитным составом (далее – ОЗС).

Кабельные изделия относительно пожарной безопасности – это сложный многофакторный комплекс, сочетающий токопроводящие жилы, их горючую оболочку (изоляция проводников, подушки под броней, оболочки кабеля и т. д.), а также источник зажигания (электрические дуговые разряды, частицы раскаленного металла в местах короткого замыкания (КЗ), нагретые в местах больших переходных сопротивлений токопроводя-

щие жилы и детали арматуры и др.), возникающий при аварийных режимах работы.

При этом применение в качестве изоляции ПВХ-пластиката, который, по оценкам специалистов составляет более 65 % от общего числа полимерных материалов в России [1], делает острым вопрос пожаробезопасности КИ. Группой исследователей неоднократно предпринимались попытки совершенствования имеющихся и разработки новых ПВХ-пластикатов пониженной пожароопасности, применяемых в качестве изолирующих материалов КИ [2-4]. Несмотря на совершенствование ПВХ-пластикатов по снижению их горючести, добиться значительного уменьшения возникновения пожароопасных ситуаций все-таки не удалось, что подтверждается статистическими данными по пожарам [5], где кабельные изделия занимают первое место по числу пожаров.

В ходе анализа статистических данных, авторами работы [6] введён коэффициент значимости пожарной опасности электрических изделий (табл. 1), где кабельные изделия занимают лидирующую позицию по пожароопасности.

Таблица 1

Коэффициент значимости пожарной опасности электрических изделий [6]

Электрические изделия	Ранг (место) по числу пожаров, *Rn*	Ранг (место) по размеру ущерба, *Ry*	Ранг (место) по числу погибших, *Rг*	Сумма рангов, *Si*	Коэффициент значимости пожарной опасности, *Ki*	Ранг пожарной опасности изделия
Кабель, провод	01	01	01	03	1	1
Электрокамин	02	03	02	07	0,43	2
Вводной щит	03	02	06	11	0,27	3
Выключатель	04	04	05	13	0,23	4
Телевизор	05	06	04	15	0,20	5
Электроплитка	07	08	03	18	0,17	6
Холодильник	06	05	08	19	0,16	7

В ходе аналогичного исследования [7] был выработан коэффициент пожароопасных отказов от общего числа отказов комплектующих элементов электрических сетей, учитывая который можно сделать вывод, что каждый второй отказ в КИ является пожароопасным (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент пожароопасных отказов от общего числа отказов для комплектующих элементов электрических сетей [7]

Элемент	Коэффициент пожароопасных отказов
Трансформатор (маломощный)	0,3
Дроссель, катушка индуктивности	0,2-0,3
Реле	0,02
Кабели, провода, шнуры	0,5
Выключатели, переключатели	0,05
Предохранители (несрабатывание плавкой вставки за установленное время)	0,1

Клеммные зажимы, разъемы (открытого исполнения)	0,05

Принимая во внимание тенденции по совершенствованию нормативной базы в области пожарной безопасности, на уровне государственных стандартов серий ГОСТ IEC 60332, ГОСТ IEC 61034, ГОСТ IEC 60754, ГОСТ IEC 60331 были введены обязательные требования к КИ по нераспространению горения (индекс «НГ»), по снижению дымовыделения (индекс «LS»), по снижению коррозионной активности (галогенов) (индекс «HF») и по огнестойкости (индекс «FR»). Дополнительно, электросетевые организации самостоятельно разрабатывают стандарты организаций, непротиворечащие требованиям федерального законодательства в области пожарной безопасности, например СТО 34.01-27.1-001-2014 ПАО «Россети» [8]. Однако отсутствие в нормативных документах четких требований при прокладке КИ в кабельных линиях (КЛ) значительно повышает риск возникновения пожароопасных ситуаций, связанных с прохождением электрического тока. Одним из действующих способов снижения пожарной опасности КИ при одиночной и групповой прокладке является применение пассивной огнезащиты в виде тонкослойных интумесцентных (вспучивающихся) огнезащитных кабельных покрытий (ОКП).

Огнезащитное кабельное покрытие – слой вещества (смеси) или материала, полученный в результате его нанесения на поверхность кабелей и обладающий огнезащитной эффективностью [9]. Применение данного вида покрытий на поверхности КИ позволяет минимизировать возможность возникновения пожара, уменьшить ущерб и распространение пожара, благодаря образованию на поверхности КИ негорючего твердого вспененного пористого слоя (пенококса). Для определения огнезащитной эффективности используются методы, изложенные в ГОСТ 53311 [9]. Данные методы (метод определения длины поврежденной пламенем или обугленной части образца кабельной прокладки с ОКП и коэффициента снижения допустимого длительного тока нагрузки для кабеля с ОКП) не позволяют определить огнезащитную эффективность исследуемого материала в целом по итогам испытаний двумя методами.

Помимо обозначенных существуют терминологические проблемы, связанные с неверной трактовкой понятий, в частности «термостойкость». В классической формулировке, изложенной в [10], под термостойкостью (огнеупорных и других хрупких материалов) понимается способность материалов противостоять, не разрушаясь, термическим напряжениям, возникающим при изменении температуры, вследствие нагрева или охлаждения. С позиции химии, термостойкость – это способность химических веществ и материалов сохранять неизменным химическое строение и физические свойства при повышении температуры [11]. Однако ввиду того, что ОКП – многокомпонентный материал, термостойкость кабельного покрытия именно интумесцентного типа не может характеризоваться ни одним из приведенных определений. Ближайшим и в полной мере отражающим существующую проблематику является определение, приведённое авторами работы [12], где под термостойкостью огнезащитного состава интумесцентного типа понимается способность пенококсового слоя сохранять теплозащитные свойства при повышении температуры.

При детальном рассмотрении вопросов огнезащиты кабельных изделий становится очевидным, что данное направление является малоисследованным ввиду протекания сложных процессов теплопереноса в КИ и линейного расширения электропроводящих жил, термоокислительной и термодеструкции ПВХ-пластикатов, а также их ускоренного старения и ухудшения электроизоляционных свойств при повышении температуры, конструктивных особенностей строения КИ, под воздействием внешнего и внутреннего электромагнитного поля.

Помимо процессов, протекающих в самом КИ, необходимо учитывать процессы, протекающие в ОКП при повышении температуры, в момент начала интумесценции, при формировании огнезащитного слоя – пенококса, его адгезию к полимерной оболочке КИ в процессе формирования и дальнейшее поведение вплоть до окончания пожара. Описанные противоречия требуют их разрешения, что является целью исследований многих авторов как в нашей стране, так и за рубежом.

В исследовании [13] при совместном участии представителей Института механики Китайской академии наук и Отделения пожарной охраны Академии Народных вооруженных сил Китая был определен защитный эффект огнезащитного покрытия по снижению сопротивления изоляции кабеля из ПВХ-пластиката. Эксперименты проводились в инфракрасной электрической печи, в которой при помощи электронного контроллера была достигнута температурно-временная кривая аналогичная кривой пожара, представленная в стандарте ISO 834. Испытательный образец представлял собой отрезок кабеля длиной 1 м, состоящий из 4 токопроводящих жил сечением 2,5 кв. мм. При проведении исследований использовались два популярных метода противопожарной защиты КИ. В первом случае ОКП наносилось непосредственно на сам кабель, во втором – кабель был размещен в стальной оцинкованной трубе и покрытие для стальных конструкций наносилось на трубу. По результатам экспериментов было установлено, что время разрушения кабеля увеличивается с увеличением толщины покрытия, при этом если ОКП толще чем 1,5 мм, то при линейном расширении материала КИ, покрытие будет растрескиваться. В случае с экспериментами при нанесении огнезащитного состава (ОЗС) для металлических конструкций на стальную трубу огнезащитный эффект был незначительным при толщине менее 1 мм и более 3 мм. Самое длительное время отказа составило менее 10 минут для случая нанесения ОЗС на стальную трубу толщиной 2,5 мм.

Эти же авторы в работе [14] исследовали термодиффузию вспучивающегося покрытия с целью разработки метода определения эквивалентного коэффициента термодиффузии ОЗС для кабелей. Ввиду необходимости определения огнезащитной эффективности покрытия, авторами был разработан коэффициент термодиффузии интумесцентного изолирующего слоя, однако из-за большого количества факторов влияющих на него в процессе проведения эксперимента, измерение коэффициента сопряжено с рядом трудностей. Благодаря данным, полученным в работе [13], авторы установили взаимосвязь между временем разрушения изоляции кабеля в процессе нагрева, коэффициентом термодиффузии и толщиной вспучившегося слоя с помощью расчетов модели теплопередачи. Авторы работы пришли к выводу, что этот коэффициент может использоваться в качестве показателя эффективности теплоизолирующего слоя, при этом, чем он больше, тем меньше перепад температуры между наружным слоем пенококса и объектом защиты, соответственно хуже теплоизоляция. Метод определения эквивалентного коэффициента термодиффузии огнезащитного покрытия учитывает свойства вспучивающегося покрытия при нагревании и устанавливает ряд условий на основе фактического сценария пожара для компенсирования недостающих или неточных значений в современных методах испытаний теплофизических свойств. По заверению авторов, метод точно отражает характеристики теплоизолирующего слоя и может рассматриваться в качестве эталона.

Первые попытки применения ОКП были предприняты в США ещё в 70-х годах прошлого столетия на кабелях, эксплуатируемых на атомных электростанциях. Начиная с 2000-х годов, ввиду устаревания данных по ОКП и адекватности их применения при расчетах. Комиссия по ядерному регулированию США

(NRC) выступила спонсором различных экспериментов [15] в Национальных лабораториях Sandia (SNL) и Национальном институте стандартов и технологий (NIST). Целью этого исследования было получение термических свойств, температуры воспламенения, скорости горения, распространение пламени и данных по сохранению целостности электрической цепи кабелей с ОКП, обычно используемых на АЭС США. Эксперименты варьировались от стендовых до полномасштабных, с использованием как стандартизированных, так и нестандартизированных методов тестирования.

Температура воспламенения измерялась с помощью конвекционной печи. Характеристики горения кабелей с ОКП измерялись с помощью конического калориметра для определения скорости горения, теплоты сгорания и других свойств. Полномасштабные эксперименты по горизонтальному и вертикальному распространению пламени были проведены для определения поперечного и восходящего распространения пожара. Было оценено влияние ОКП на сохранение целостности электрической цепи во время пожара. По результатам экспериментов Комиссия (NRC) подтвердила обновление существующих методов оценки вероятности возникновения пожара и входных параметров моделирования пожара. В целом был сделан вывод, что использование ОКП для покрытия кабелей задерживает время до пробоя изоляции на несколько минут (до 5 минут независимо от типа покрытия в случае покрытия кабелей, не отвечающих критериям прохождения испытания на вертикальное распространение пламени) и ограничивает распространение пожара по кабелю.

Эти данные могут быть также использованы для разработки новых моделей или для расширения применимости моделей пожаров, разработанных для анализа кабелей без покрытия. Данные также могут быть использованы в качестве входных данных для оценки риска возникновения пожара.

Исследование огнезащитных составов кабельных линий проводилось и в Испании. В работе [16], проведенной испанской корпорацией, управляющей национальной электрической сетью и системой передачи электроэнергии Grupo General Cable Sistemas, испанской компанией по производству электрических проводов и кабелей Red Eléctrica de España и испанским производителем и поставщиком электроэнергии Iberdrola, в которой описаны результаты испытаний огнестойкости кабелей, покрытых огнезащитной краской, вертикальному распространению пожара. В ходе экспериментов было установлено, что ОКП эффективны только на кабелях с низким уровнем огнестойкости и не требуются для огнестойких кабелей. Однако было установлено, что при экспериментах на дымообразующую способность кабеля с ОКП значение светопропускания упало до уровня примерно 50 %, а значит, что во время пожара видимость будет существенно снижена. Другим немаловажным аспектом является минимальная толщина слоя краски, гарантирующая огнестойкость кабеля. В ходе испытаний кабели покрывались со всех сторон равномерно, в то время как в реальных условиях с этим могут возникнуть трудности. Авторы рекомендуют наносить среднюю толщину слоя краски около 3 мм (толщина выше той, что указана производителем).

В нашей стране исследование термостойкости и огнезащитной эффективности ОКП также является приоритетным направлением в области пассивной огнезащиты объектов. В работе [17] в ходе исследований различных рецептур ОЗС выявлены закономерности протекания химических реакций в процессе вспучивания, их влияние на кратность вспучивания и предел распространения пламени по покрытиям, нанесенным на образцы кабеля, исходя из сроков эксплуатации ОКП. Кроме этого, в работе рассмотрены вопросы, касающиеся разработки новых огнезащитных составов для кабелей марок ПК и ПК-Терма, приведены результа-

ты серии огневых испытаний огнезащитных материалов, оценена огнезащитная эффективность разработанных составов стандартными методами, систематизированы теоретические и экспериментальные данные о структуре вспучивающегося покрытия и разработана физико-химическая модель процесса вспучивания покрытия, а также предложена теплофизическая модель процессов тепломассопереноса во вспучивающихся покрытиях. По результатам работы разработаны рецептуры с наилучшим процентным соотношением компонентов ОЗС по кратности вспучивания и по срокам эксплуатации, а также разработаны рекомендации по нанесению ОКП в помещениях и наружных установках.

Исследование огнезащитных характеристик ОКП в различных исследованиях имеет схожие черты, а именно соответствие кривых температуры испытаний стандарту ISO 834. Однако возникает вопрос по исследованию [13], где температурно-временная кривая соответствует кривой стандартного пожара, но процесс интумесценции происходит без огневого воздействия на огнезащитное покрытие, что, вероятно, может вызывать погрешность в измерениях, ввиду отсутствия горения легколетучих компонентов и термоокислительной деструкции в классическом ее понимании. Исследование коэффициента термодиффузии в работе [14], на наш взгляд, является приоритетным направлением исследований в целях разработки метода определения эквивалентного коэффициента термодиффузии огнезащитного покрытия и дальнейшего его применения в оценке огнезащитной эффективности ОКП. Крупномасштабные исследования [15, 16] затрагивают широкий круг вопросов, связанных с основными параметрами ОКП, и имеют схожие выводы по сохранению целостности электрической цепи в условиях реального пожара. Работа [17] излагает закономерности процессов вспучивания, их влияние на кратность вспучивания и распространение пламени по поверхности ОКП, а также предлагает физико-химическую модель процесса вспучивания и теплофизическую модель процессов тепломассопереноса во вспучивающихся покрытиях, что, несомненно, служит хорошей теоретико-математической базой для разработки методики оценки термической стойкости огнезащитных кабельных покрытий.

При изучении вопросов определения огнезащитной эффективности ОКП необходимо также знание рецептур огнезащитных составов, на основании которых, в определенной мере можно прогнозировать поведение и «работу» покрытия в условиях повышения температуры в ходе огневых испытаний, а также формирование пенококса и оценки его термостойкости. Например, в патенте [18] огнезащитный состав содержит дисперсии акриловых полимеров в воде, терморасширяющийся графит, окись магния, окись сурьмы (III), бораты, соли фосфорной кислоты, консервирующие и биоцидные добавки, что позволяет наносить его в помещениях, где одновременно проводятся сварочные работы, а также работать без средств индивидуальной защиты ввиду нетоксичности. По заявлению авторов, применение интеркалированного графита в рецептуре, позволяет снизить температуру начала вспучивания до 150-200 °С.

Патент [19] описывает универсальное силиконовое покрытие, которое предназначено для пассивной огнезащиты несущих металлоконструкций, вентиляционных коробов и кабельных линий. Применяться данное покрытие может как в обычных условиях работы, так и в условиях повышенной влажности, в том числе на АЭС и ТЭС. ОЗС получается путем холодного поверхностно-объемного отверждения, в составе которого присутствует силоксановый каучук, дибутилоловодиацетат, низкомолекулярные силаны (трисбутаноноксим-метилсилан и аминопропил-триметоксисилан), пентэритрит технический и полифосфат аммония аппретированные раствором γ-аминопропилтриметоксисиланом в этаноле, в определенных пропорциях. Вспу-

чивание начинается при температуре от 300 °С с переходом вулканизированной композиции в состояние вулканитовой пены с низкой теплопроводностью и обеспечением антикоррозионной защиты.

Изобретение, описанное в патенте [20], относится к интумесцентным огнезащитным композициям, содержащим вспенивающийся графит, хлоропреновый латекс, карбоксильные группы и вещества, состоящие из полиакрилонитрила, целлюлозы или ее производных, фенолформальдегидных смол, полифурфурилового спирта и полиимид. Данный состав обладает высокой степенью давления при расширении (до 5 бар), что позволяет его использовать для герметизации кабельных каналов, технологических отверстий в стенах и оборудовании в случае пожара. Также данный вспучившийся материал обладает высокой механической прочностью, что положительно влияет на его стойкость к огневому воздействую и воздействию конвективных потоков во время пожара.

Исходя из описаний составов пассивной огнезащиты предложенных патентов можно сделать вывод, что для эффективной работы огнезащитных интумесцентных композиций используются катализатор коксообразования, вспенивающий и коксообразующий агенты, что и обеспечивает ОЗС интумесценцию, строительство углеродного каркаса с низкой теплопроводностью и заданную прочность на всем протяжении огневого воздействия.

Таким образом, анализ исследований в области пассивной огнезащиты КИ позволил прийти к выводу о существовании проблем как в нормативной, так и в экспериментальной её частях, и, следовательно, об актуальности работы в этом направлении. При этом ключевым параметром оценки эффективности ОКП является огнезащитная эффективность состава, с определением которой остается много вопросов и неточностей, что в свою очередь, требует совершенствования нормативной правовой базы в области пассивной огнезащиты и применения ОЗС, разработку новых стандартов, детального изучения зарубежного опыта оценки огнезащитной эффективности ОКП и применение новейших методов анализа, в частности, методов термического анализа для определения термоаналитических характеристик ОКП, напрямую или косвенно связанных с огнезащитной эффективностью огнезащитных кабельных покрытий.

Анализ литературных источников показал, что авторы исследований с помощью тех или иных технических средств добивались температурно-временной кривой пожара, соответствующей стандарту ISO 834. Используя новые методы исследований, были разработаны новые коэффициенты для определения свойств огнезащитных покрытий, предложены новые модели расчета формирования пенокоса и методы расчета тепломассопереноса во вспучившихся покрытиях. Остается открытым вопрос определения огнезащитной эффективности ОКП с использованием стандартов нового поколения, разработанными специально для КИ, покрытых огнезащитным составом. При разработке стандартов нового поколения следует учитывать сложные процессы протекания интумесценции покрытий, тепломассопереноса в покрытии и КИ, усиленного температурного старения изоляции и др., используя наработанный опыт в области пассивной огнезащиты КИ. Немаловажным разрешением вопросов при определении огнезащитной эффективности ОКП будет выработка групп огнезащитной эффективности, исходя из времени огнезащитного действия состава на КИ при одиночной и групповой прокладке, как это предложено в стандартах по определению огнезащитной эффективности для металлических изделий и для древесины. Следует принимать во внимание современные тенденции использования высокоточных методов анализа, например, термических методов анализа и масс-спектрометрии.

Литература

1. Мещанов Г. И. Полимеры в кабельной промышленности. Состояние рынка, перспективы развития производства, ситуация с импортозамещением // Кабели и провода. – 2018. – № 5 (373). – С. 4–9.

2. Мусов И. В. Поливинилхлоридные пластикаты пониженной горючести для кабельной промышленности: автореф. дис. … канд. техн. наук: 02.00.06 / Мусов Исмел Вячеславович. – Нальчик, 2013. – 23 с.

3. Фомин Д. Л. Кабельные поливинилхлоридные пластикаты повышенной пожаробезопасности / автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.17.06 / Фомин Денис Леонидович. – Казань, 2013. – 20 с.

4. Виндижева А. С. Нанокомпозитные кабельные пластикаты на основе поливинилхлорида и алюмосиликатов / автореф. дис. … канд. техн. наук: 02.00.06 / Виндижева Амина Суадиновна. – Нальчик, 2013. – 23 с.

5. Сибирко В. И., Гончаренко В. С., Преображенская Е. С. Комплексный анализ обстановки с пожарами, произошедшими в Российской Федерации в 2007–2016 гг. Предложения по улучшению обстановки с пожарами в Российской Федерации // Комплексный анализ обстановки с пожарами, произошедшими в Российской Федерации в 2007–2016 гг. Предложения по улучшению обстановки с пожарами в Российской Федерации. – 2017. – 80 с.

6. Смелков Г. И., Рябиков А. И. Анализ статистических данных о пожарной опасности электрических изделий // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2009. – № 1 (25). – С. 4–8.

7. Боков Г. В. Влияние комплектующих элементов на пожарную опасность электрических изделий // Пожарная безопасность. – 2018. – № 2. –С. 47–51.

8. СТО 34.01-27.1-001-2014 Правила пожарной безопасности в электросетевом комплексе ОАО Россети. Общие технические требования.

9. ГОСТ Р 53311-2009. Покрытия кабельные огнезащитные. Методы определения огнезащитной эффективности // Справ.-правовая система «КонсультантПлюс».

10. Большая советская энциклопедия. URL: http://bse.sci-lib.com/article110136.html.

11. Химическая энциклопедия. URL: http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4386.

12. Головина Е. В. и др. Оценка термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазового комплекса // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 16. – № 2. – С. 100–106. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-100-106.

13. Wang J., Shu Z.-J., Chen Z. The protective effect of a fire-retardant coating on the insulation failure of PVC cable // Engineering Failure Analysis. – 2013. – Vol. 34. – P. 1–9.

14. Shu Z.-J., Wang J., Zhou L. Method to determine the equivalent thermal diffusion coefficient of the intumescent coating for cables / Z.-J. Shu, J. Wang, L. Zhou // Journal of Coatings Technology & Research. – 2014. –Vol. 11 (5). – P. 817–826.

15. Gonzalez F. et al. Fire-retardant cable coatings – a fresh look into their role in risk-informed performance-based applications // 15th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, Bruges, Belgium. – 2017.

16.Generó N. et al. Performance of medium cable systems on the reaction to fire // XVII Ibero-American Regional Council Of Cigré, Ciudad del Este, Paraguay. – 2017.

17. Еремина Т. Ю. Снижение пожарной опасности строительных конструкций и материалов за счет применения эффективных огнезащитных средств: дисс. …. д-ра. техн. наук: 05.26.03 / Еремина Татьяна Юрьевна. – М., 2004. – 328 с.

18. Состав для получения огнезащитных покрытий: пат. 2272057 Российская Федерация. МПК C09D133/00, C09D5/18, C09K21/14. В. А. Назаренко, С. В. Костиков, С. Ф. Симаков, С. В. Андреев. №2004125101/04; заявл. 18.08.2004; опубл. 20.03.2006.

19. Огнезащитная композиция холодного отверждения для покрытий и способ ее получения: пат. 2492201 Российская Федерация. МПК C09D 5/18, C09K 21/00, C09K 21/14, C08L 83/04, C08K 5/49. К.А. Петерсон, А.А. Арефьев. №2012116216/05; заявл. 23.04.2012; опубл. 10.09.2013.

20. Thermally expandable fire-protection composition comprising expandable graphite, chloroprene latex and compounds forming a paracrystalline carbon skeleton: pat. 5232976 USA. МПК C09K 21/02; C09K 21/00; C09K 21/14; C08J 005/10; C08K 003/04; C08L 013/02. Horacek; Heinz (Linz, AT), Wudy; Hermann (Pfaffstatten, AT). № 5232976; app. 04.12.1992; pub. 03.08.1993.

References

1. Meshchanov, G.I. Polimery v kabel'noj promyshlennosti. Sostoyanie rynka, perspektivy razvitiya proizvodstva, situaciya s importozameshcheniem / G.I. Meshchanov // Kabeli i provoda. – 2018. – № 5 (373). – S. 4–9.

2. Musov, I.V. Polivinilhloridnye plastikaty ponizhennoj goryuchesti dlya kabel'noj promyshlennosti / avtoref. dis. … kand. tekh. nauk: 02.00.06 / Musov Ismel Vyacheslavovich. – Nal'chik, 2013. – 23 s.

3. Fomin, D.L. Kabel'nye polivinilhloridnye plastikaty povyshennoj po-zharobezopasnosti / avtoref. dis. … kand. tekh. nauk: 05.17.06 / Fomin Denis Leonido-vich. – Kazan', 2013. – 20 s.

4. Vindizheva, A.S. Nanokompozitnye kabel'nye plastikaty na osnove poli-vinilhlorida i alyumosilikatov / avtoref. dis. … kand. tekh. nauk: 02.00.06 / Vin-dizheva Amina Suadinovna. – Nal'chik, 2013. – 23 s.

5. Sibirko, V.I., Goncharenko, V.S., Preobrazhenskaya, E.S. Kompleksnyj analiz obstanovki s pozharami, proizoshedshimi v Rossijskoj Federacii v 2007-2016 gg. Predlozheniya po uluchsheniyu obstanovki s pozharami v Rossijskoj Federacii. / V.I. Sibirko, V.S. Goncharenko, E.S. Preobrazhenskaya // Kompleksnyj analiz obstanovki s pozharami, proizoshedshimi v Rossijskoj Federacii v 2007-2016 gg. Predlozheniya po uluchsheniyu obstanovki s pozharami v Rossijskoj Federacii. – 2017. – 80 s.

6. Smelkov, G.I., Ryabikov, A.I. Analiz statisticheskih dannyh o pozharnoj opasnosti elektricheskih izdelij / G.I. Smelkov, A.I. Ryabikov, // Energobezopasnost' i energosberezhenie. – 2009. – № 1 (25). – S. 4-8.

7. Bokov, G.V. Vliyanie komplektuyushchih elementov na pozharnuyu opasnost' elektricheskih izdelij. / G.V. Bokov // Pozharnaya bezopasnost'. – 2018. – № 2. –S.47-51.

8. STO 34.01-27.1-001-2014 Pravila pozharnoj bezopasnosti v elektrosetevom komplekse OAO Rosseti. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya.

9. GOST R 53311-2009. Pokrytiya kabel'nye ognezashchitnye. Metody opredele-niya ognezashchitnoj effektivnosti. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant-Plyus». (data obrashcheniya: 30.03.2019).

10. Bol'shaya sovetskaya enciklopediya [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: http://bse.sci-lib.com/article110136.html.

11. Himicheskaya enciklopediya [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4386.

12. Golovina, E.V. Bezzaponnaya, O.V., Akulov, A.YU., Satyukov, R.S. Ocenka ter-mostojkosti ognezashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovo-go kompleksa / E.V. Golovina, O.V. Bezzaponnaya, A.YU. Akulov, R.S. Satyukov // Nefte-gazovoe delo. – 2018. – T. 16. □ № 2. – S.100-106. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-100-106

13. Wang, J., Shu, Z.-J., Chen, Z. The protective effect of a fire-retardant coating on the insulation failure of PVC cable / J. Wang, Z.-J. Shu, Z. Chen // Engineering Failure Analy-sis. – 2013. –Vol. 34. – P. 1-9.

14. Shu, Z.-J., Wang, J., Zhou, L. Method to determine the equivalent thermal diffu-sion coefficient of the intumescent coating for cables / Z.-J. Shu, J. Wang, L. Zhou // Journal of Coatings Technology & Research. – 2014. –Vol. 11 (5). – P. 817-826.

15. Gonzalez, F., Taylor, G., McGrattan, K., Stroup, D., Salley, M. H. Fire-retardant cable coatings – a fresh look into their role in risk-informed performance-based applications / F. Gonzalez, G. Taylor, K. McGrattan, D. Stroup, M. H. Salley // 15th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, Bruges, Belgium. □ 2017.

16. Generó, N., Martínez, J. d. D., Rovira, J., Martín, S., Maíz, G., Denche, G. Perfor-mance of medium cable systems on the reaction to fire / N. Generó, J. d. D. Martínez, J. Rovi-ra, S. Martín, G. Maíz, G. Denche // XVII Ibero-American Regional Council Of Cigré, Ciu-dad del Este, Paraguay. □ 2017.

17. Eremina, T.YU. Snizhenie pozharnoj opasnosti stroitel'nyh konstrukcij i materialov za schet primeneniya effektivnyh ognezashchitnyh sredstv. diss. …. d-ra. tekh. nauk: 05.26.03 / Eremina Tat'yana YUr'evna. – Moskva, 2004. – 328 s.

18. Sostav dlya polucheniya ognezashchitnyh pokrytij: pat. 2272057 Rossijskaya Fe-deraciya. MPK C09D133/00, C09D5/18, C09K21/14. V.A. Nazarenko, S.V. Kostikov, S.F. Simakov, S.V. Andreev. № 2004125101/04; zayavl. 18.08.2004; opubl. 20.03.2006.

19. Ognezashchitnaya kompoziciya holodnogo otverzhdeniya dlya pokrytij i sposob ee polucheniya: pat. 2492201 Rossijskaya Federaciya. MPK C09D 5/18, C09K 21/00, C09K 21/14, C08L 83/04, C08K 5/49. K.A. Peterson, A.A. Aref'ev. № 2012116216/05; zayavl. 23.04.2012; opubl. 10.09.2013.

20. Thermally expandable fire-protection composition comprising expandable graphite, chloroprene latex and compounds forming a paracrystalline carbon skeleton: pat. 5232976 USA. MPK C09K 21/02; C09K 21/00; C09K 21/14; C08J 005/10; C08K 003/04; C08L 013/02. Horacek; Heinz (Linz, AT), Wudy; Hermann (Pfaffstatten, AT). № 5232976; app. 04.12.1992; pub. 03.08.1993.

УДК: 62.02 *gubinata@jsc-amulet.ru*

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «НОРМИРОВАНИЯ – ЛИНЕЙНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

ABOUT THE POSSIBILITY OF PREDICTING THE OCCURRENCE OF AN EMERGENCY WITH USE THE METHOD OF "RATIONING – LINEAR TRANSFORMATION"

Губина Т. А., Зубровский Г. Б., Мосолов А. А.,
АО «ПВП «Амулет», Москва
Мосолов А. С., кандидат технических наук,
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева, Москва,
Прус Ю. В., доктор физико-математических наук,
Российский государственный социальный университет, Москва

Gubina T. A., Zubrovskiy G. B., Mosolov A. A., JSC Amulet, Moscow
Mosolov A.S., Candidate of Technical Sciences,
D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
Prus U. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Russian State Social University, Moscow

В статье рассмотрена возможность применения математических методов для определения комбинаций отказов элементов технологических блоков производственно-технологических процессов на опасных производственных объектах. В частности, применение метода «нормирования – линейная трансформация» позволяет упорядочить прогнозные оценки последствий реализации главных событий после применения метода «Анализ дерева событий». Описанный в статье подход может быть полезен в части разработки компенсационных мероприятий для системы технологической безопасности опасных производственных объектов, в частности, объектов ТЭК.

Ключевые слова: приоритетный сценарий развития аварийной ситуации, технологическая безопасность, безопасность объектов ТЭК, террористический акт, угроза технического воздействия, внутренний нарушитель.

The article considers the possibility of using mathematical methods for determine the combinations of failures of elements of technological blocks of industrial-technological processes at hazardous production facilities. In particular, the use of the method "rationing – linear transformation" allows to regularize the predictive estimates of consequences of implementation of the main events after the application of the method "Analysis of the event tree". The approach described in article can be useful regarding development of compensatory measures for the system of technological safety of hazardous production facilities, in particular, of objects of fuel and energy facilities.

Keywords: priority scenario of an emergency, technological safety, safety of fuel and energy facilities, act of terrorism, threat of technical impact, internal intruder.

Достоверные прогнозные вероятностные оценки возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах чрезвычайно важны при организации мониторинга технологических процессов, что нашло отражение в ряде постановлений Правительства РФ, приказах Ростехнадзора,

документах Министерства по чрезвычайным ситуациям России. В сфере топливно-энергетических комплексов (ТЭК) эта задача закреплена Федеральным законом № 256-ФЗ от 21.07.2011 [1] и Постановлениями Правительства Российской Федерации № 458, 459, 460, 993 [2-5].

Очевидно, определяющими факторами, позволяющими классифицировать опасные производственные объекты по степени их потенциальной опасности, в т.ч. от акта незаконного вмешательства, являются масштабы социально-экономических последствий [1].

Поэтому целесообразно рассмотреть решение задачи получения прогнозных вероятностных оценок возникновения чрезвычайных ситуаций через призму объектов ТЭК, которые, наряду с объектами химической и нефтехимической отраслей, составляют основу национальной экономики Российской Федерации.

Управление современными производственно-технологическими процессами – последовательность большого количества операций, требующих от персонала высокой квалификации, умения принимать решения в сложных, зачастую нестандартных ситуациях. Опасность реализации террористических угроз, в том числе «тонкого технологического терроризма», на опасных производственных объектах может быть обнаружена и пресечена комплексом защитных мер. Особое внимание следует уделять возможности реализации «Угрозы технического воздействия» [6].

Логично допустить, что «Угрозу технического воздействия», в том числе дистанционно, реализует внутренний нарушитель, обладающий высокой квалификацией, владеющий современными методиками прогнозирования Ростехнадзора и МЧС в части определения наиболее вероятного сценария развития аварийной ситуации.

Проблема определения возможного сценария развития аварийной ситуации требует своего решения, поскольку межведомственной комиссии необходимо представлять в этой части обоснованные математические расчеты на защите категории потенциальной опасности объекта ТЭК в результате реализации акта незаконного вмешательства.

В настоящей статье представлен алгоритм метода, целью которого являются:

- обоснование выбора внутренним нарушителем сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты в результате реализации базовой угрозы «Угроза технического воздействия»;
- усовершенствование системы комплексной безопасности объекта посредством разработки компенсационных мероприятий для защиты от совершения террористических актов.

Данный Метод позволит установить последовательность действий для определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации при совершении угрозы технического воздействия в рамках акта незаконного вмешательства в отношении объекта защиты.

Приоритетным назовем сценарий, при котором значения показателей негативных последствий стремятся к наивысшим при максимальной вероятности его реализации.

Критериями выбора приоритетного сценария в случае исследования проблемы на объектах ТЭК устанавливаем следующие:

Критерий 1 – вероятность отказа системы.

Критерий 2 – зоны чрезвычайной ситуации, м.

Критерий 3 – экономический ущерб, руб.

Критерий 4 – количество пострадавших, чел.

При этом определяем, что значения показателей указанных критериев могут быть выражены в числовых значениях (количество критериев, существенных для приоритетного сценария развития аварийной ситуации, может быть увеличено).

Алгоритм определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации представлен на рис. 1.

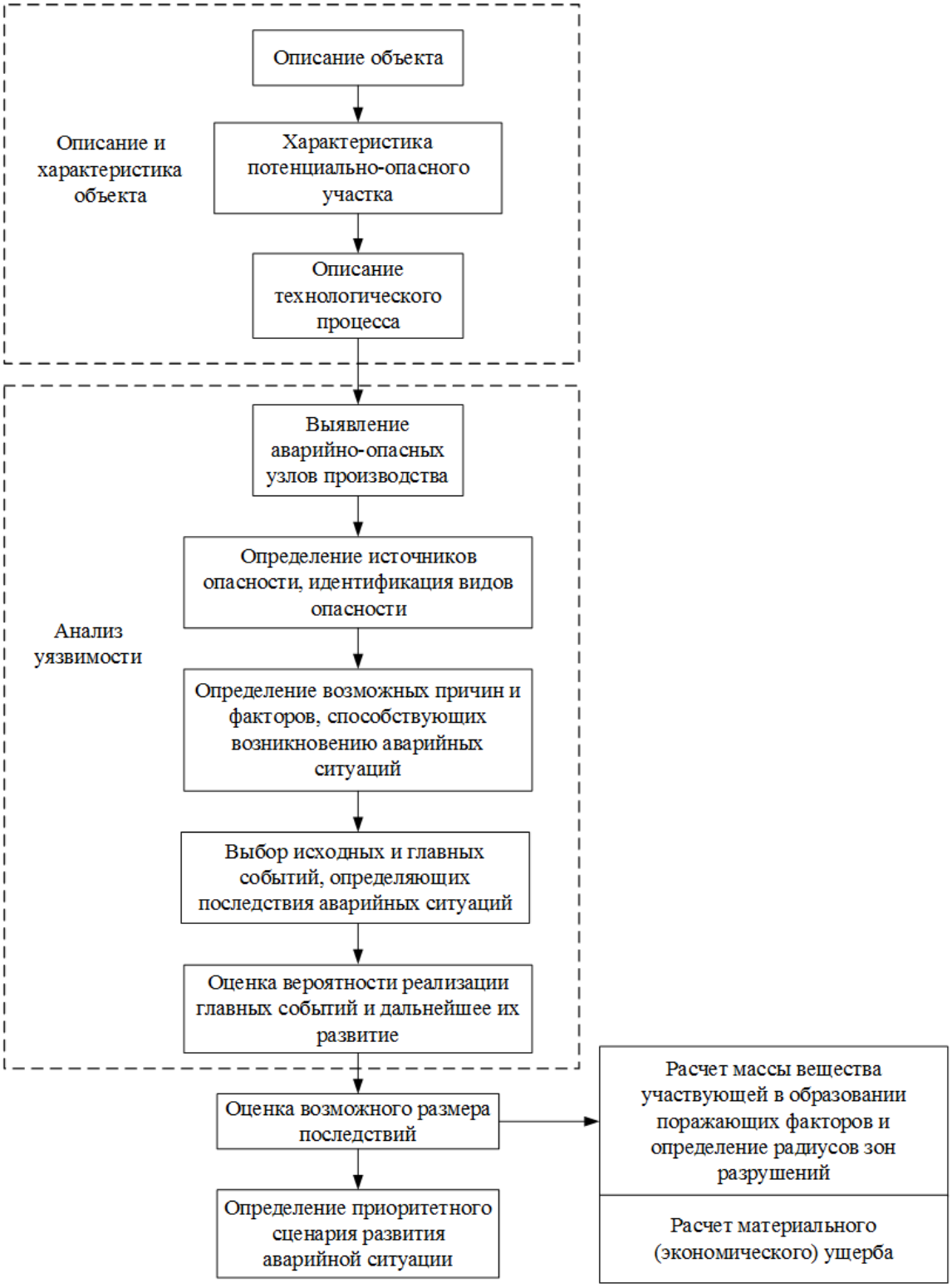


Рисунок 1. Алгоритм метода определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации

Работа метода поясняется на примере оценки безопасности реакторной печи изомеризации комбинированной установки изомеризации с блоком предварительной гидроочистки сырья, содержащей четыре элемента: регулирующие клапана (PT 2105, PT 2092), реакторную печь изомеризации (П-202) и клапан-отсекатель UV 1051.

Для начала необходимо провести сбор и обработку исходной информации:

- наименование объекта – реакторная печь изомеризации комбинированной установки изомеризации с блоком предварительной гидроочистки сырья;
- проектная мощность установки – 300 000 т/год (по сырью);
- метод производства – низкотемпературная каталитическая изомеризация пентанов, гексанов и их смесей;
- описание технологического процесса – в реакторном блоке изомеризации в среде водородсодержащего газа на платиносодержащем оксидном катализаторе СИ-2 протекают целевые реакции изомеризации парафиновых и нафтеновых углеводородов, гидрирование ароматических и нафтеновых углеводородов. П-202 – реакторная печь изомеризации, предназначена для нагрева газосырьевой смеси (пентан-гексановая фракция) перед реактором Р-201/1;
- схема технологической установки;
- данные по количеству персонала и режиму их работы – средняя численность 9 человек, максимальная численность 11 человек, обход установки производится один раз в два часа;
- данные по показателям безотказной работы элементов технологической схемы установки и т. д.

На рис. 2 (а) показана схема последовательного соединения элементов технологической схемы, вероятность безотказной работы (Р) которых, в соответствии с [7], равны: 0,9655; 0,9655; 0,9818 и 0,9655 соответственно. Вероятность отказа (Q) вычисляется по формуле 1:

$$Q = 1 - P. \quad (1)$$

Также на рис. 2 (б) представлено дерево событий для этой системы. Нижняя ветвь системы соответствует желаемому режиму работы системы, верхние ветви – нежелательному.

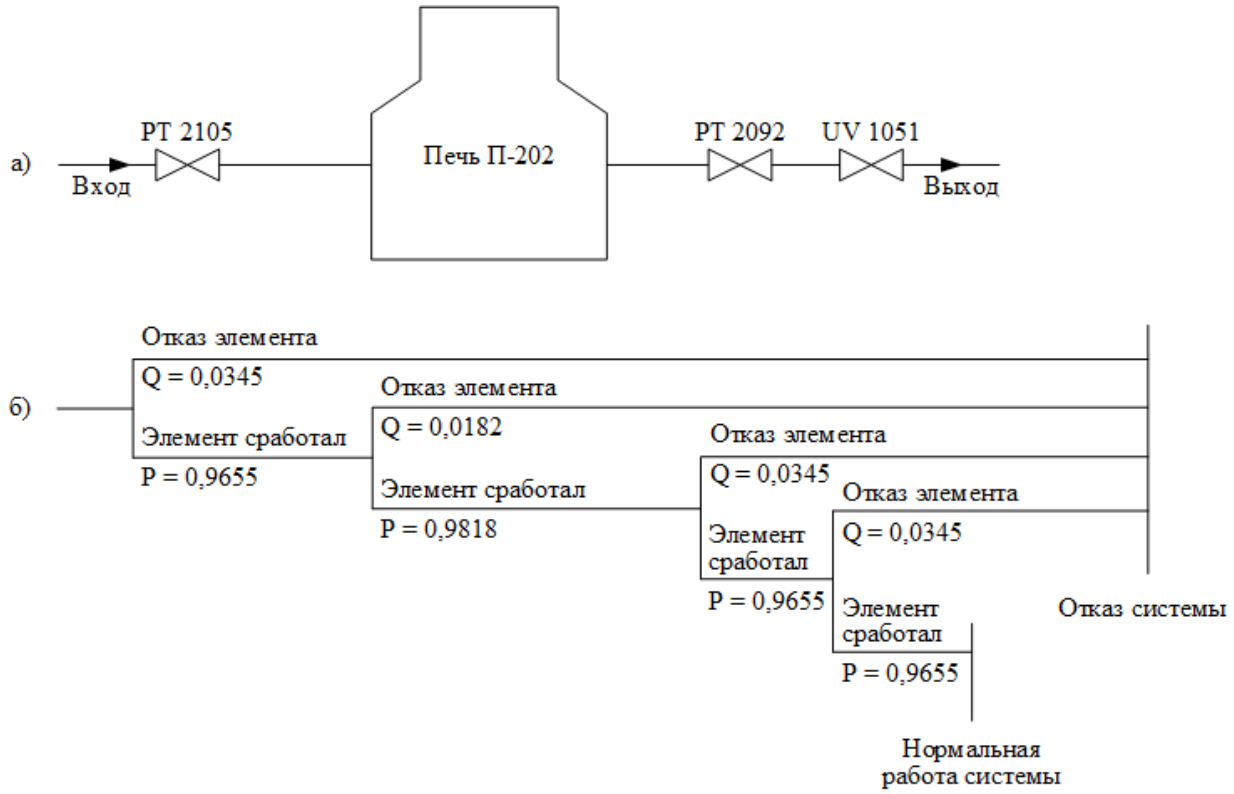


Рисунок 2. а) схема последовательного соединения элементов печи; б) дерево событий данной системы

Вероятность безотказной работы системы равна:

$$P_{системы} = 0{,}9655 \cdot 0{,}9818 \cdot 0{,}9655 \cdot 0{,}9655 = 0{,}8836.$$

А вероятность отказа системы:

$$Q_{системы} = 1 - 0{,}8836 = 0{,}1164.$$

Результаты расчета вероятности работоспособного состояния и вероятности отказа системы для различных комбинаций элементов, можно представить в виде таблицы решений (табл. 1).

Таблица 1

Таблица решений элементов системы

№ комбинации	Состояние				Вероятность отказа системы
	РТ 2105	**П-202**	**РТ 2092**	**UV 1051**	
1	Работает	Работает	Работает	Работает	
2	Работает	Работает	Работает	Отказ	0,9655 · 0,9818 · 0,9655 · 0,0345 = 0,0316
3	Работает	Отказ	Работает	Работает	0,9655 · 0,0182· 0,9655 · 0,9655 = 0,0164
4	Работает	Работает	Отказ	Работает	0,9655 · 0,9818· 0,0345 · 0,9655 = 0,0316
5	Отказ	Работает	Работает	Работает	0,0345 · 0,9818 · 0,9655 · 0,9655 = 0,0316
6	Отказ	Работает	Отказ	Работает	0,0345 · 0,9818· 0,0345 · 0,9655 = 0,0011
7	Отказ	Отказ	Работает	Работает	0,0345 · 0,0345· 0,9655 · 0,9655 = 0,0011
8	Отказ	Работает	Работает	Отказ	0,0345 · 0,9818 · 0,9655 · 0,0345 = 0,0011
9	Работает	Отказ	Отказ	Работает	0,9655 · 0,0182 · 0,0345 · 0,9655 = 0,0006
10	Работает	Работает	Отказ	Отказ	0,9655 · 0,9818· 0,0345 · 0,0345 = 0,0011
11	Работает	Отказ	Работает	Отказ	0,9655 · 0,0182· 0,9655 · 0,0345 = 0,0006
12	Работает	Отказ	Отказ	Отказ	0,9655 · 0,0182 · 0,0345 · 0,0345 = 2,0915 · 10^{-5}
13	Отказ	Отказ	Работает	Отказ	0,0345 · 0,0182 · 0,9655 · 0,0345 = 2,0915 · 10^{-5}
14	Отказ	Работает	Отказ	Отказ	0,0345 · 0,9818· 0,0345 · 0,0345 = 4,0316 · 10^{-5}
15	Отказ	Отказ	Отказ	Работает	0,0345 · 0,0182 · 0,0345 · 0,9655 = 2,0915 · 10^{-5}
16	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	0,0345 · 0,0182 · 0,0345 · 0,0345 = 7,4736 · 10^{-7}
Суммарная величина					**0,1164**

Из таблицы решений следует, что наиболее вероятными отказами системы являются комбинации № 2, 4 и 5 с вероятностью отказа 0,0316, при отказе одного из элементов системы. Наименее вероятным отказом является комбинация № 16 с вероятностью 7,4736 · 10^{-7}, при отказе всех элементов системы.

Достижению главного события (нарушение функционирования блока) предшествует исходное событие или комбинация исходных событий.

Исходное событие – единичный отказ в системах (элементах) объекта, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и (или) условий безопасной эксплуатации. Исходное событие включает все зависимые отказы, являющиеся его следствием [8].

Исходными событиями, приводящими к наступлению главного, являются отказы наиболее уязвимых элементов технологической схемы (критерий 1), для выявления которых необходимо:

- рассмотреть интересующий участок схемы технологического процесса (с указанием всех потоков, основных и резервных элементов системы);
- рассчитать вероятности безотказной работы каждого из элементов системы или взять из справочных данных;

- рассчитать вероятность отказа всей системы при различных вариантах комбинаций отказов элементов этой системы.

Комбинации с наибольшей вероятностью отказа будут являться наиболее уязвимыми местами.

На основании оценки уязвимости технологического процесса можно выделить следующие главные события:

- разрыв на полное сечение/ разгерметизация подводящего трубопровода реакторной печи изомеризации;
- прогар труб змеевика;
- разрыв на полное сечение/ разгерметизация отводящего трубопровода реакторной печи изомеризации.

Для разных комбинаций отказов системы возможно рассматривать одно и тоже главное событие. Например, для комбинаций №2, 4 и 10 (Таблица 1) главным событием является разрыв / разгерметизация отводящего трубопровода реакторной печи изомеризации, т. к. данные отказы элементов соответствуют участку трубопровода после печи изомеризации. Аналогичным образом определяем главные события для всех комбинаций таблицы решений элементов системы, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Соответствие комбинаций отказов элементов главным событиям

Главное событие	№ комбинации
Разрыв на полное сечение/ разгерметизация подводящего трубопровода реакторной печи изомеризации	5, 6, 8, 15, 16
Прогар труб змеевика	3, 7, 9, 11, 12, 13
Разрыв на полное сечение/ разгерметизация отводящего трубопровода реакторной печи изомеризации	2, 4, 10, 14

Таким образом, расчет последствий сводится к анализу и оценке последствий трех главных событий, для которых необходима информация по ведению технологического процесса, а именно данные об опасных веществах, обращающихся в оборудовании, и определение основных видов и источников опасности реакторного блока изомеризации: газосырьевая смесь относится к горючим жидкостям, при сгорании которой, в основном выделяется двуокись углерода, окись углерода, окислы азота, окислы серы, органические кислоты и вода. Поэтому авария на данном участке может привести к серьезным последствиям.

Определение возможных причин наступления событий, предшествующих отказам элементов технологической схемы, проводится на основе результатов анализа уязвимости технологического процесса и информации по источникам и видам опасности.

Например, для комбинации № 5 возможны следующие исходные события: температурные деформации или динамические воздействия, которые возможно реализовать посредством влияния на параметры технологического процесса путем превышения значений этих параметров выше регламентированных, различными возможными способами.

Виды возможных аварий на реакторной печи изомеризации и характер их воздействия на окружающую среду определяются номенклатурой обращающихся опасных веществ, их физико-химическими свойствами, особенностями технологического процесса, характеристиками применяемого технологического оборудования, системы технологической безопасности и особенностями их компоновки.

Согласно годовым отчетам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (ФСЭТАН), на реакторной печи изомери-

зации могут реализоваться аварии, сопровождающиеся пожарами или взрывами. Основным поражающим фактором в случае аварий являются термическое поражение или ударная волна.

Для главного события «прогар труб змеевика» возможен следующий сценарий развития аварийной ситуации: прогар труб змеевика → пожар в печи для нагрева газосырьевой смеси изомеризации П-202 → воздействие теплового излучения → разрушение оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала.

Для главных событий «разрыв на полное сечение/ разгерметизация подводящего/отводящего трубопровода реакторной печи изомеризации» возможны следующие сценарии развития аварийной ситуации:

1) разгерметизация трубопровода → образование взрывоопасной смеси на открытой площадки → наличие источника зажигания → взрыв газовоздушной смеси (ГВС) на открытой площадке → воздействие избыточного давления ударной волны → разрушение зданий, сооружений, оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала;

2) разгерметизация трубопровода → образование пролива → наличие источника зажигания → пожар разлития на открытой площадке → воздействие теплового излучения → разрушение оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала.

Вероятность реализации сценария развития аварий оценивалась с помощью графо-аналитического метода «анализ дерева событий». Данные по частотам реализации инициирующих событий принимались в соответствии с Приложением 2 [9], а также на основании статистических данных из расчетно-пояснительных записок планов ликвидации аварийных ситуаций на аналогичных производственных объектах (Таблица 3).

Таблица 3

Интенсивность аварийных отказов технологического оборудования

Обозначение	**Тип отказа оборудования**	**Частота (вероятность) отказа**
Q_1	Прогар труб змеевика печи П-202	1×10^{-4} год$^{-1}$
Q_2	Разгерметизация трубопровода[1]	5×10^{-6} год$^{-1}$

Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события [10].

На рис. 3-4 представлены деревья событий для случаев прогара труб змеевика и разгерметизации трубопровода реакторной печи изомеризации комбинированной установки изомеризации.

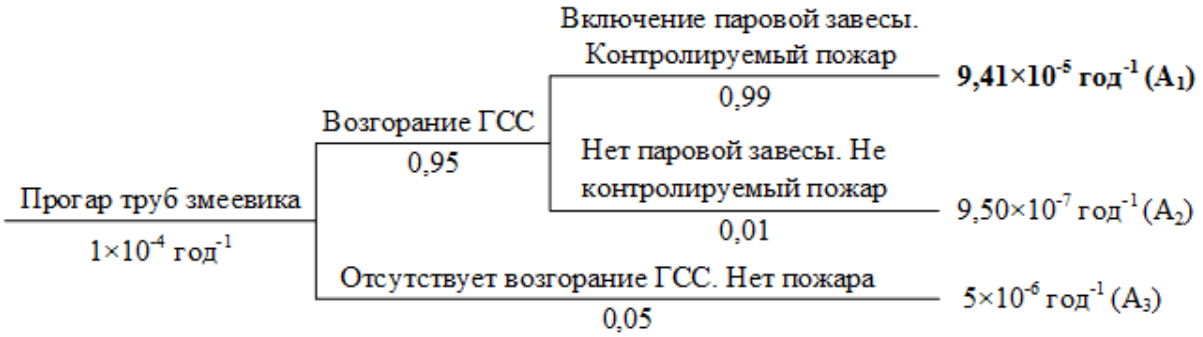


Рисунок 3. Дерево событий при прогаре труб змеевика

[1] Вероятность увеличивается на порядок, чем в данных [7], в виду того, что в трубопроводе агрессивная среда.

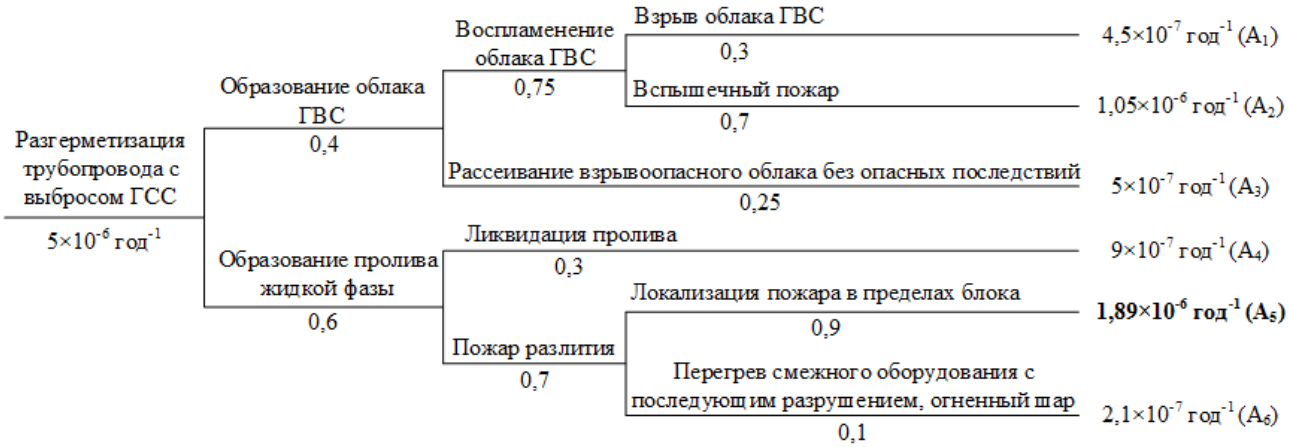


Рисунок 4. Дерево событий при разгерметизации трубопровода

Из представленных сценариев следует, что наиболее вероятным сценарием при прогаре труб змеевика является контролируемый пожар, с вероятностью $9{,}4110^{-5}$ год$^{-1}$. А при разгерметизации трубопровода – пожар пролития с дальнейшей локализацией пожара в пределах блока, с вероятностью $1{,}8910^{-6}$ год$^{-1}$.

Расчет параметров пожара пролива, зоны чрезвычайной ситуации и оценка количества пострадавших проводились в соответствии с Приложением В [11], с использованием программного продукта Токси$^{+RISK}$ версии 4.3.5 (Критерий 2, 4). А оценка последствий, в части материального ущерба для полученных зон чрезвычайной ситуации, в соответствии с РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах» [12] (Критерий 3). Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчета последствий пожара пролива

Наименование участка	Зона ЧС (воспламенение резины, 14,8 кВт/м^2), м	Материальный (экономический) ущерб, тыс. руб.	Количество пострадавших, чел
Подводящий участок трубопровода печи изомеризации	28,45	21 498, 9	-
Реакторная печь изомеризации	16,13	6 380, 8	-
Отводящий участок трубопровода печи изомеризации	26,99	9 337, 6	-

По совокупности полученных результатов определяется приоритетный сценарий с помощью математических методов и алгоритмов.

Метод нормирования критериев [13] **предусматривает** приведение полученных значений критериев по всем комбинациям отказов к единому безразмерному виду, т. е. осуществляется их «нормирование». В качестве метода нормирования применим способ приведения критериев к безразмерному виду – линейная трансформация.

При определении приоритетного сценария развития аварийной ситуации предпочтительны максимальные значения критериев, т. к. нарушитель стремится совершить террористический акт с наихудшими последствиями при максимальной их реализации. Формула перехода от ненормированного значения показателя x_i к нормируемому x_i^n, имеет вид:

$$x_i^n = \frac{x_i - f_i^{min}}{f_i^{max} - f_i^{min}}, \qquad (2)$$

где f_i^{min}, f_i^{max} – соответственно минимальное (наихудшее) и максимальное (наилучшее) значение показателя на множестве допустимых альтернатив.

Для всех рассматриваемых комбинаций элементов системы по выбранным критериям определения приоритетного сценария получены числовые значения которые занесены в таблицу 5.

Таблица 5

Расчетные числовые значения критериев приоритетного сценария

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС, м	Экономический ущерб, руб.	Количество пострадавших, чел.
K_2	0,0316	26,99	9337,6	-
K_3	0,0164	16,13	6380,8	-
K_4	0,0316	26,99	9337,6	-
K_5	0,0316	28,45	21498,9	-
K_6	0,0011	28,45	21498,9	-
K_7	0,0011	16,13	6380,8	-
K_8	0,0011	28,45	21498,9	-
K_9	0,0006	16,13	6380,8	-
K_{10}	0,0011	26,99	9337,6	-
K_{11}	0,0006	16,13	6380,8	-
K_{12}	$2{,}0915 \cdot 10^{-5}$	16,13	6380,8	-
K_{13}	$2{,}0915 \cdot 10^{-5}$	16,13	6380,8	-
K_{14}	$4{,}0316 \cdot 10^{-5}$	26,99	9337,6	-
K_{15}	$2{,}0915 \cdot 10^{-5}$	28,45	21498,9	-
K_{16}	$7{,}4736 \cdot 10^{-7}$	28,45	21498,9	-

Далее для каждого критерия выбираем максимальное и минимальное значения и, в соответствии с формулой 2, определяем нормируемые значения критериев определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации (таблица 6). Приоритет присваивается такой комбинации, где сумма нормированных значений имеет наивысший (максимальный) показатель.

Таблица 6

Нормированные значения критериев определения приоритетного сценария

Комбинация	Нормированные значения вероятности	Нормированные значения зоны ЧС	Нормированные значения экономического ущерба	Σ нормированных значений
K_2	1	0,881493506	0,195580132	2,077
K_3	0,518766601	0	0	0,519
K_4	1	0,881493506	0,195580132	2,077

K_5	1	1	1	3
K_6	0,035709957	1	1	2,036
K_7	0,035116702	0	0	0,035
K_8	0,035709957	1	1	2,036
K_9	0,018514149	0	0	0,019
K_{10}	0,035709957	0,881493506	0,195580132	1,113
K_{11}	0,018514149	0	0	0,019
K_{12}	0,000638738	0	0	0,0006
K_{13}	0,000638738	0	0	0,0006
K_{14}	0,001253192	0,881493506	0,195580132	1,078
K_{15}	0,000638738	1	1	2,0006
K_{16}	0	1	1	2

По полученным суммарным показателям нормированных значений критериев определения приоритетного сценария, очевидно, что наиболее приоритетным вариантом для нарушителя является комбинация K_5 с суммарным нормированным значением равным 3.

Комбинация K_5 – это отказ регулирующего клапана PT 2105, т. е. развитие аварии на подводящем участке трубопровода реакторной печи изомеризации. В результате проведенного анализа причин наступления аварийных ситуаций, возможен следующий сценарий развития аварии (рис. 5).

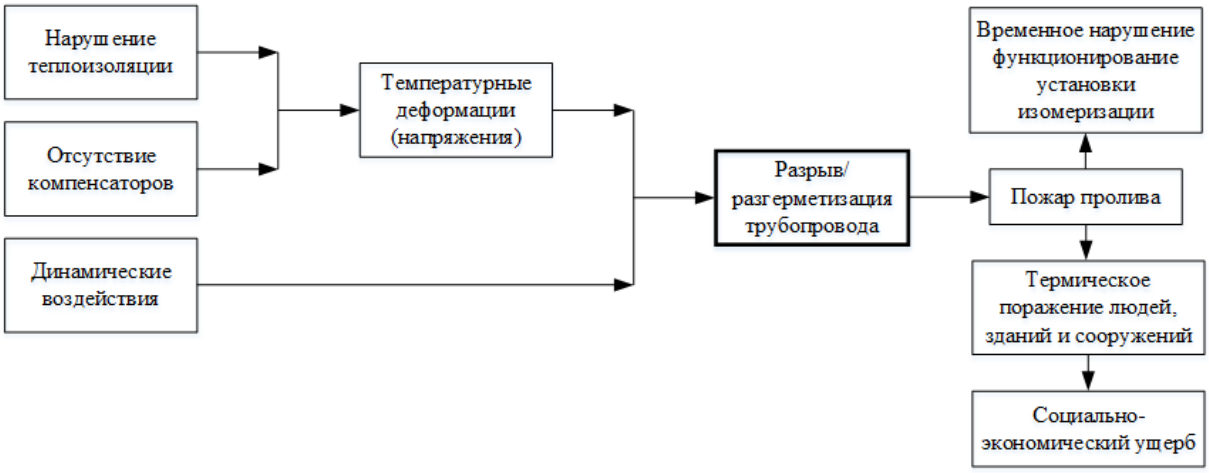


Рисунок 5. Сценарий развития приоритетной аварийной ситуации

В настоящей статье представлен алгоритм выбора приоритетного сценария развития аварийной ситуации и способа воздействия на технологические процессы. Предложен вариант решения важнейшей задачи в рамках выполнения требований ФЗ-256 от 21.07.2011 г.

Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (ред. от 06.07.2016).

2. Постановление Правительства РФ от 05.05.2012 № 458-дсп «Об утверждении Правил по обеспечению безопасности и антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса».

3. Постановление Правительства РФ от 05.05.2012 № 459 «Об утверждении Положения об исходных данных для проведения категорирования объекта топливно-энергетического комплекса, порядке его проведения и критериях категорирования».

4. Постановление Правительства РФ от 05.05.2012 № 460 «Об утверждении Правил актуализации паспорта безопасности объекта топливно-энергетического комплекса».

5. Постановление Правительства РФ от 19.09.2015 № 993-дсп «Об утверждении требований к обеспечению безопасности линейных объектов топливно-энергетического комплекса».

6. Методические рекомендации по анализу уязвимости производственно-технологического процесса и выявлению критических элементов объекта, оценке социально-экономических последствий совершения на объекте террористического акта и антитеррористической защищенности объекта при проведении категорирования и составления паспорта безопасности объекта топливно-энергетического комплекса, Министерство энергетики РФ, 2012 год.

7. СТ ЦКБА 008-2014. Арматура трубопроводная. Расчет надежности и безопасности на этапе проектирования (ред. от 01.01.2018).

8. Исходное событие. Термины МЧС России. URL: http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87827/.

9. Шебеко Ю. Н. и др. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. М., 2012. 242 с.

10. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».

11. ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

12. РД 03-496-02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (ред. от 01.01.2004).

13. Бешелев С. Д., Гурвич Р. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М., 1980. 263 с.

References

1. Federalnyy zakon ot 21.07.2011 g. № 256-FZ "O bezopasnosti obyektov toplivno-energeticheskogo kompleksa" (red. ot 06.07.2016 g.).

2. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 05.05.2012 g. N 458-dsp «Ob utverzhdenii Pravil po obespecheniyu bezopasnosti i antiterroristicheskoy zashchishchennosti obyektov toplivno-energeticheskogo kompleksa».

3. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 05.05.2012 g. N 459 «Ob utverzhdenii Polozheniya ob iskhodnykh dannykh dlya provedeniya kategorirovaniya obyekta toplivno-energeticheskogo kompleksa. poryadke ego provedeniya i kriteriyakh kategorirovaniya».

4. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 05.05.2012 g. N 460 «Ob utverzhdenii Pravil aktualizatsii pasporta bezopasnosti obyekta toplivno-energeticheskogo kompleksa».

5. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 19.09.2015 g. N 993-dsp «Ob utverzhdenii trebovaniy k obespecheniyu bezopasnosti lineynykh obyektov toplivno-energeticheskogo kompleksa».

6. Metodicheskiye rekomendatsii po analizu uyazvimosti proizvodstvenno-tekhnologicheskogo protsessa i vyyavleniyu kriticheskikh elementov obyekta. otsenke sotsialno-ekonomicheskikh posledstviy soversheniya na obyekte terroristicheskogo akta i antiterroristicheskoy zashchishchennosti obyekta pri provedenii kategorirovaniya i sostavleniya pasporta bezopasnosti obyekta toplivno-energeticheskogo kompleksa. Ministerstvo energetiki RF. 2012 god.

7. ST TsKBA 008-2014. Armatura truboprovodnaya. Raschet nadezhnosti i bezopasnosti na etape proyektirovaniya (red. ot 01.01.2018 g.).

8. Iskhodnoye sobytiye. Terminy MChS Rossii. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87827/ (data obrashcheniya 11 noyabrya 2018 goda).

9. Shebeko Yu.N.. Shebeko A.Yu. i dr. Posobiye po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh obyektov. - M.: VNIIPO. 2012. - 242 s.

10. Prikaz Rostekhnadzora ot 11.04.2016 N 144 "Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskiye osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i otsenki riska avariy na opasnykh proizvodstvennykh obyektakh».

11. GOST R 12.3.047-2012 SSBT. Pozharnaya bezopasnost tekhnologicheskikh protsessov. Obshchiye trebovaniya. Metody kontrolya.

12. RD 03-496-02. Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke ushcherba ot avariy na opasnykh proizvodstvennykh obyektakh (red. ot 01.01.2004 g.).

13. Beshelev S.D. Gurvich R.G. Matematiko-statisticheskiye metody ekspertnykh otsenok. M.: Statistika. 1980. 263 s.

УДК 614.849 *pas_ural@mail.ru*

О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ В МЧС РОССИИ

ABOUT THE PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ROBOTICS IN EMERCOM OF RUSSIA

Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Перевалов А. С., кандидат технических наук, доцент,
Рассохин М. А., Цыганков А. П.,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

Tuzhikov E. N., Perevalov A. S. Rassohin M. A. Cygankov A. P.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of
Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В статье рассматриваются вопросы состояния и перспективы развития робототехнических комплексов и их применения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера в системе МЧС. Описаны направления применения робототехники в условиях современного развития общества, науки и техники.

Ключевые слова: робототехника, пожарная безопасность, концепция, развитие.

Issues of the state and prospects for the development of robotic complexes and their application in the aftermath of emergency situations of natural and man-made nature in the system of the Ministry of Emergency Situations are considered. The actual areas and directions of application of robotics in the conditions of modern development of society and science and technology are marked.

Keywords: robotics, fire safety, concept, development.

Во все времена пожары были и остаются самыми значимыми катастрофами человечества. Пожар как чрезвычайная ситуация (далее – ЧС) проявляется как природное, так и техногенное явление, в зависимости от тех факторов и условий, которые послужили первопричиной.

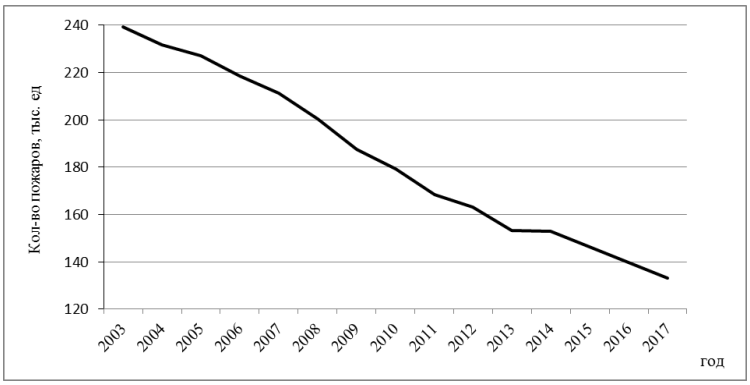


Рисунок 1. Динамика количества пожаров в России за последние 15 лет

В России ежегодно происходит более 130 тысяч пожаров (рисунок 1), от которых погибают до 8 тыс. человек (рисунок 2) и травмируются до 10 тысяч че-

ловек (рисунок 3), прямой материальный ущерб превышает 14 млрд руб. (рисунок 4) [1-5].

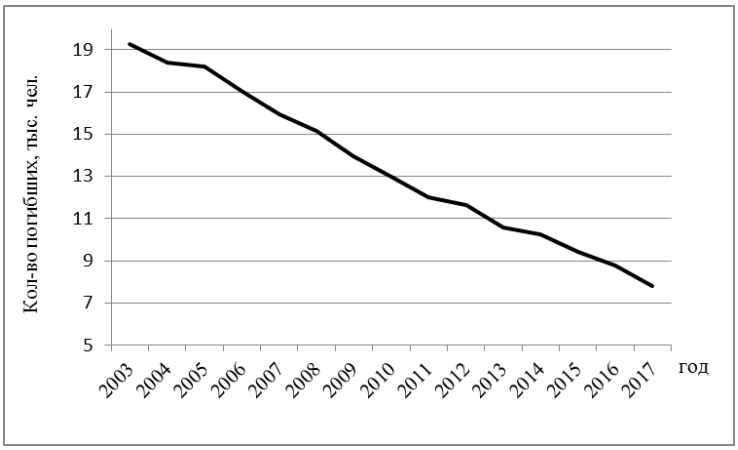


Рисунок 2. Динамика количества погибших в результате пожаров в России за последние 15 лет

Рисунок 3. Динамика количества травмированных в результате пожаров в России за последние 15 лет

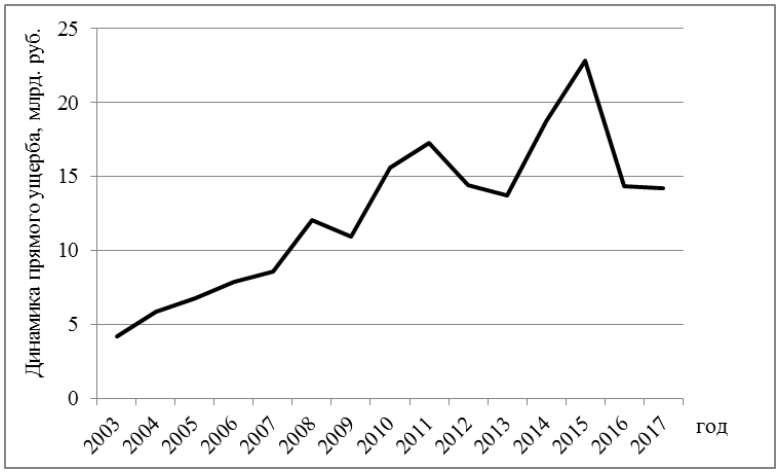


Рисунок 4. Динамика прямого материального ущерба от пожаров в России за последние 15 лет

Из анализа статистических данных видно, что в последние годы при складывающейся тенденции уменьшения основных показателей пожарной опасности

происходит увеличение прямого материального ущерба от пожаров, что негативно отражается на экономике страны и на социально-экономическом благополучии граждан России.

Представленная динамика хорошо отражает политику государства в области обеспечения пожарной безопасности, направленной на сохранение жизни и здоровья граждан России, защиту материальных ценностей от пожаров, что проявляется в процессе формирования и развития системы обеспечения пожарной безопасности. Особое внимание уделяется мерам по профилактике пожаров, так как намного эффективнее предотвратить катастрофу, чем бороться с её последствиями. В систему мероприятий по борьбе с пожарами и их последствиями входят как организационные, так и технические решения, связанные с современными достижениями общества, науки и техники [6-15].

Так, с начала XX века в мировой практике стало бурно развиваться внедрение в пожарную безопасность робототехники. Стоит отметить, что Россия является одной из первых стран в мире, где законодательными и нормативными актами был введен новый вид автоматических установок пожаротушения – роботизированные установки пожаротушения (далее – РУП) [16]. Рост количества природных и техногенных катастроф привел к необходимости внедрения инновационных технологий в области пожарной безопасности, что потребовало ускорения разработки пожарных роботов (далее – ПР), применяемых в ЧС. Использование безлюдных технологий с высокой эффективностью позволяет проводить работы в условиях повышенной опасности и особого риска, минимизировав риски поражения пожарных спасателей опасными факторами ЧС. Решение задачи использования РУП является вопросом национальной безопасности Российской Федерации.

В 2014 и 2016 годах в МЧС России обсуждались вопросы развития, совершенствования и использования в борьбе с ЧС робототехники. По результатам проведенной работы была утверждена Концепция развития робототехнических систем (далее – РТС) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года [17], согласно которой к робототехническим системам (далее – РТС) относятся автоматизированные самодвижущиеся технические устройства (машины), выполняющие заданные человеком функции и другие работы без непосредственного его участия в рабочей зоне в определенных условиях и при взаимодействии с окружающей средой.

По выполняемым задачам и технологическим возможностям РТС подразделяются на следующие классы:

– тяжелый класс: выполняются первоочередные задачи при ликвидации последствий ЧС, крупномасштабные и трудоемкие работы;

– средний класс: выполняются отдельные виды аварийно-спасательных и восстановительных работ;

– легкий класс: выполняются разведывательные работы и отдельные технологические операции [18].

На вооружении МЧС в настоящее время имеются РТС как зарубежного, так и отечественного производства, предназначенные для решения задач по защите территории и населения от ЧС природного и техногенного характера. К ним относятся: «Ель», «Кедр», «Атаман», «Щит», «АКВА-ЧС», «КАСКАД», «ТРОПА», LUF, DOK-ING и др.

В пожарно-спасательных подразделениях МЧС России стоит 24 комплекса для проведения подводных работ, более 70 единиц РТС для целей пожаротушения, а также 20 – для проведения инженерных работ [19]. Ниже приведено описание некоторых из РТС, применяющихся в МЧС России при ликвидации последствий ЧС.

МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС (рисунок 5) используется при ЧС на местности, где расположены опасные для жизни и здоровья спасателей производства –

атомные, химические и другте объекты. РТС используют для доставки огнетушащих средств в зону ЧС в условиях повышенной радиации, химического заражения, возникновения взрыва [20].

Рисунок 5. РТС «МРУП-СП-Г-ТВ-У-40-17КС»

Пожарный робот ПР-ЛСД-С40Уш-ИК-ТВ ЭФА® шаровой, серии «Андроид» (рисунок 6), применяемый как для охлаждения строительных и технологических конструкций, непосредственного тушения пожаров, так и для осаждения облаков ядовитых или радиоактивных газов, паров и пыли.

Рисунок 6. Внешний вид ПР-ЛСД-С40Уш-ИК-ТВ ЭФА® шаровой, серии «Андроид»

Особенности: техническое зрение – интеллектуальный детектор пламени для идентификации загораний до 0,1м^2 в видимом спектре и ИК-диапазоне и определения координат и площади загорания [21].

К достоинствам подобных РТС относится возможность одновременного обнаружения очага загорания на ранней стадии, определение его расположения, площади пожара, точная подача огнетушащего вещества и быстрое тушение по определенному алгоритму, прекращение процесса тушения при отсутствии при-

знаков горения, повторное тушение при возобновлении пожара.

На сегодняшний день во многих подразделениях МЧС России есть подобные системы, но их недостаточно и они не всегда максимально эффективны. Постоянное совершенствование РТС, освоение и внедрение новых технологий, снижение затрат на эксплуатацию и содержание РТС за счет внедрения повышения их эффективности применения и эксплуатационной технологичности вызвано современными тенденциями развития робототехники.

В связи с чем складываются две насущные проблемы в перспективах развития и применения робототехники в МЧС России:

1. Роль человека не исключена из процесса спасения: процесс создания и использования безлюдных технологий выполняется с трудом, риски поражения пожарных-спасателей в условиях ЧС не минимизированы.

2. Низкий уровень подготовки операторов РТС: максимально положительный эффект от использования робототехники возможен только при наличии высокопрофессиональных операторов РТС.

Решение представленных проблем авторы видят в следующем комплексе задач:

– развить систему подготовки специалистов управления РТС;

– повысить уровень взаимодействия структурных подразделения МЧС в вопросах разработки и внедрения РТС;

– стандартизировать требования к РТС;

– совершенствовать нормативно-техническую базу, регламентирующую порядок разработки, испытания и применения РТС;

– детально проработать жизненный цикл РТС от создания до утилизации;

– совершенствовать РТС и приемы выполнении ими АСР;

– определиться с кругом задач, решаемых только РТС;

– определить потребное количество РТС и их дислокацию;

– расширить пожарно-спасательные технологии, основанные на применении РТС с адаптивными системами искусственного интеллекта.

Использование робототехники в обеспечении техногенной и пожарной безопасности позволит повысить эффективность проведения пожарно-спасательных операций и снизить гибель и травматизм личного состава подразделений МЧС России, а также материальный ущерб от последствий ЧС.

Литература

1. Статистика по пожарам // Официальный сайт МЧС России. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari.

2. Стоимость человеческой жизни // Центр стратегических исследований. URL: https://www.rgs.ru/pr/csr/lifecost/index.wbp.

3. К вопросу оценивания общего экономического ущерба от пожаров / Е. Н. Тужиков, А. Н. Тырсин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 4 (28). – С. 95–104.

4. Расчет социально-экономического ущерба гибели и травмирования гражданина РФ / Е. Н. Тужиков, А. С. Перевалов // Техносферная безопасность. – 2016. – № 1 (19). – С. 7–14.

5. Тужиков Е. Н. и др. Влияние стоимости жизни среднестатистического гражданина РФ на общий ущерб от пожаров / //Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: материалы Дней науки (12–16 октября 2015 г.) / сост. М. Ю. Порхачев, О. Ю. Демченко. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2016. – С. 79–83.

6. ГОСТ Р 53326–2009. Техника пожаротушения. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний.

7. ГОСТ Р 54344-2011 «Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний».

8. ГОСТ Р 55895-2013 «Техника пожарная. Системы управления робототехнических комплексов для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Общие технические требования. Методы испытаний».

9. ГОСТ Р ИСО 8373-2014 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения».

10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Парламентская газета от 31 июля 2008 г. № 47-49.

11. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Указ Президента Российской Федерации от 6 июля 2004 г. № 868 // Собрание законодательства Российской Федерации от 12 июля 2004 г. № 28. Ст. 2882.

12. О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники: Указ Президента Российской Федерации от 16 декабря 2015 г. № 623 // Собрание законодательства Российской Федерации от 21 декабря 2015 г. № 51 (часть III). Ст. 7313.

13. О государственной программе Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах»: Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 300 // URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102349661&intelsearch=%CF%EE%F1%F2%E0%ED%EE%E2%EB%E5%ED%E8%E5+%CF%F0%E0%E2%E8%F2%E5%EB%FC%F1%F2%E2%E0+%D0%EE%F1%F1%E8%E9%F1%EA%EE%E9+%D4%E5%E4%E5%F0%E0%F6%E8%E8+%EE%F2+15+%E0%EF%F0%E5%EB%FF+2014+%E3.+%B9+300.

14. Приказ МЧС России от 03.02.2016 № 39 «О совершенствовании разработки и применения робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России» // Документ опубликован не был.

15. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки автоматической пожарной сигнализации и пожаротушения. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 № 175; введ. 01.05.2009. М., 2009.

16. Интервью с компанией «ЭФЭР». URL: http://securportal.ru/news/intervyu-s-kompaniey-efer/.

17. Решение коллегии МЧС России 16/ III от 10.08.2016 «О концепции развития робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года» // Документ опубликован не был.

18. Применение робототехнических средств МЧС России для ликвидации последствий техногенных чрезвычайных ситуаций Н. В. Северов, А. В. Байков // Вестник КРСУ. – 2012. – Том 12, № 7. – С. 134–138.

19. Киборгов пошлют в огонь. Роботы помогут МЧС тушить пожары и спасать людей. URL: https://rg.ru/2016/08/15/mchs-priniala-koncepciiu-razvitiia-robototehniki.html.

20. Мировые инновационные технологии в области пожарно-спасательной техники / В. А. Глазков, Р. М. Рамазанов, Е. Н. Тужиков // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: материалы Дней науки (6–9 декабря 2016 г.) в 2-х частях / сост. М. Ю. Порхачев, О. Ю. Демченко. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2017. – Ч. 1. – С. 73-76.

21. Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» URL: http://www.firerobots.ru/production/catalog/item_7241.html.

References

1. Statistika po pozharam. Ofitsialnyy sayt MChS Rossii. URL: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

2. Stoimost chelovecheskoy zhizni. Tsentr strategicheskikh issledovaniy. URL: https://www.rgs.ru/pr/csr/lifecost/index.wbp. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

3. K voprosu otsenivaniya obshchego ekonomicheskogo ushcherba ot pozharov/E.N. Tuzhikov. A.N. Tyrsin//Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2013. № 4(28). S. 95-104.

4. Raschet sotsialno-ekonomicheskogo ushcherba gibeli i travmirovaniya grazhdanina RF/ E.N. Tuzhikov. A.S. Perevalov//Tekhnosfernaya bezopasnost. 2016. № 1(19). S. 7-14.

5. Vliyaniye stoimosti zhizni srednestatisticheskogo grazhdanina RF na obshchiy ushcherb ot pozharov/E.N. Tuzhikov. A.G. Pushkarev. I.G. Sheveleva. K.V. Pastukhov//Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii [Tekst] : materialy Dney nauki (12-16 oktyabrya 2015) / sost. M.Yu. Porkhachev. O.Yu. Demchenko. – Ekaterinburg : Uralskiy institut GPS MChS Rossii. 2016. – S. 79-83.

6. GOST R 53326–2009. Tekhnika pozharotusheniya. Ustanovki pozharotusheniya robotizirovannyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy.

7. GOST R 54344-2011 «Tekhnika pozharnaya. Mobilnyye robototekhnicheskiye kompleksy dlya provedeniya avariyno-spasatelnykh rabot i pozharotusheniya. Klassifikatsiya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy».

8. GOST R 55895-2013 «Tekhnika pozharnaya. Sistemy upravleniya robototekhnicheskikh kompleksov dlya provedeniya avariyno-spasatelnykh rabot i pozharotusheniya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy».

9. GOST R ISO 8373-2014 «Roboty i robototekhnicheskiye ustroystva. Terminy i opredeleniya».

10. Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: Federalnyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ // Parlamentskaya gazeta ot 31 iyulya 2008 g. № 47-49.

11. Voprosy Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony. chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 6 iyulya 2004 g. № 868 // Sobraniye zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii ot 12 iyulya 2004 g. № 28 st. 2882.

12. O Natsionalnom tsentre razvitiya tekhnologiy i bazovykh elementov robototekhniki: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 16 dekabrya 2015 g. № 623 // Sobraniye zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii ot 21 dekabrya 2015 g. № 51 (chast III) st. 7313.

13. O gosudarstvennoy programme Rossiyskoy Federatsii «Zashchita naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy. obespecheniya pozharnoy bezopasnosti i bezopasnosti lyudey na vodnykh obyektakh: Postanovleniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 15 aprelya 2014 g. № 300 // URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102349661&intelsearch=%CF%EE%F1%F2%E0%ED%EE%E2%EB%E5%ED%E8%E5+%CF%F0%E0%E2%E8%F2%E5%EB%FC%F1%F2%E2%E0+%D0%EE%F1%F1%E8%E9%F1%EA%EE%E9+%D4%E5%E4%E5%F0%E0%F6%E8%E8+%EE%F2+15+%E0%EF%F0%E5%EB%FF+2014+%E3.+%B9+300. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

14. Prikaz MChS Rossii ot 03.02.2016 № 39 «O sovershenstvovanii razrabotki i primeneniya robototekhnicheskikh kompleksov (sistem) spetsialnogo naznacheniya v sisteme MChS Rossii// Dokument opublikovan ne byl.

15. SP 5.13130.2009. Sistemy protivopozharnoy zashchity. Ustanovki avtomaticheskoy pozharnoy signalizatsii i pozharotusheniya. Normy i pravila proyektirovaniya : prikaz MChS Rossii ot 25.03.2009 № 175; vved. 01.05.2009. — M. : FGU VNIIPO MChS Rossii. 2009.

16. Intervyu s kompaniyey «EFER». URL: http://securportal.ru/news/intervyu-s-kompaniey-efer/. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

17. Resheniye kollegii MChS Rossii 16/ III ot 10.08.2016 «O kontseptsii razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov (sistem) spetsialnogo naznacheniya v sisteme MChS Rossii do 2030 goda»// Dokument opublikovan ne byl.

18. Primeneniye robototekhnicheskikh sredstv MChS Rossii dlya likvidatsii posledstviy tekhnogennykh chrezvychaynykh situatsiy N. V. Severov. A.V. Baykov/Vestnik KRSU. 2012. Tom 12. № 7. S. 134-138.

19. Kiborgov poshlyut v ogon. Roboty pomogut MChS tushit pozhary i spasat lyudey. URL: https://rg.ru/2016/08/15/mchs-priniala-koncepciiu-razvitiia-robototehniki.html. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

20. Mirovyye innovatsionnyye tekhnologii v oblasti pozharno-spasatelnoy tekhniki/ V. A. Glazkov. R. M. Ramazanov. E. N. Tuzhikov//Aktualnyye problemy i innovatsii v obespechenii bezopasnosti [Tekst] : materialy Dney nauki (6-9 dekabrya 2016 g.) v 2-kh chastyakh / sost. M. Yu. Porkhachev. O. Yu. Demchenko. – Ekaterinburg : Uralskiy institut GPS MChS Rossii. 2017. Ch. 1 / sost. M. Yu. Porkhachev. O. Yu. Demchenko. – 2017. S. 73-76.

21. Inzhenernyy tsentr pozharnoy robototekhniki «EFER» URL: http://www.firerobots.ru/production/catalog/item_7241.html. (Data obrashcheniya: 28.01.2019).

УДК 614.841 *make_hasanov@mail.ru*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ

MODERN CONDITION AND PROSPECTS OF APPLICATION OF FIREPROOF WOOD FOR CONSTRUCTION OF QUICKLY CREATED OBJECTS OF CULTURAL AND HISTORICAL VALUE

Сивенков А. Б., доктор технических наук, профессор,
Академия ГПС МЧС России, Москва,
Хасанова Г. Ш., Кокшетауский технический институт
КЧС МВД Республики Казахстан, Кокшетау

Sivenkov A. B., Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow,
Khasanova G. Sh., Kokshetau Technical Institute
Emergency Committee of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau

В статье рассмотрен процесс дымообразования огнезащищенной древесины в режимах тления и пламенного горения. Приведены результаты экспериментов по изучению древесины на дымообразующую способность. Поскольку в работе предполагается исследовать снижение пожарной опасности древесины как конструкционного материала, используемого для строительства быстровозводимых объектов культурно-исторического значения при помощи минеральных огнезащитных средств, то состав и свойства исследуемых антипиренов будут иметь большое значение. Для снижения пожарной опасности древесины предлагается использовать новое поколение водорастворимых олигомерных антипиренов, содержащих минеральные наполнители, имеющих в своем составе гидроксид щелочного металла. Сделан вывод о влиянии огнезащитного покрытия на основе щелочного катализатора и полифункционального соединения на снижение дымообразующей способности огнезащищенной древесины. Полученный эффект огнезащиты проявляется в более интенсивном обугливании поверхностного слоя огнезащищенной древесины, тем самым выявлено снижение концентраций газообразных продуктов пиролиза древесины. Дана характеристика процесса обугливания древесины. Установлено, что обработка древесины составом с щелочным катализатором и полифункциональным соединением приводит к изменению некоторых пожарно-технических характеристик, а именно дымообразующей способности, т. е. позволяет снизить процесс обугливания и увеличить предел огнестойкости деревянных строительных конструкций быстровозводимых объектов культурно-исторического значения.

Ключевые слова: огнезащита, древесина, пожарная опасность, деревянные строительные конструкции, дым, дымообразующая способность.

The article describes the process of smoke formation of fire-protected wood in modes of smoldering and fiery burning. The results of experiments on the study of wood for smoke-generating ability are given. Since the work is intended to investigate the re-

duction of fire danger of wood, as a structural material used for the construction of pre-fabricated objects of cultural and historical importance using mineral flame retardants, the composition and properties of the investigated flame retardants will be of great importance. To reduce the fire danger of wood, it is proposed to use a new generation of water-soluble oligomeric flame retardants containing mineral fillers containing alkali metal hydroxide. The conclusion is made about the effect of a fire retardant coating based on an alkaline catalyst and a polyfunctional compound on the reduction of the smoke-forming ability of fire-protected wood. The resulting effect of fire protection is manifested in a more intense charring of the surface layer of fire-protected wood, thereby revealing a decrease in the concentrations of gaseous products of wood pyrolysis. The characteristic of the process of charring wood. It has been established that the treatment of wood with a composition with an alkaline catalyst and a polyfunctional compound leads to a change in some fire-technical characteristics, namely, the smoke-forming ability, i.e. allows you to reduce the process of charring and increase the fire resistance of wooden building structures of pre-fabricated objects of cultural and historical significance.

Keywords: fire protection, wood, fire danger, wooden building constructions, smoke, smoke-forming ability.

Введение

В настоящее время в России, Казахстане и других странах накоплен богатый опыт применения древесины в архитектуре современных быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения. Широкое распространение деревянных строительных конструкций в качестве экологически безопасного строительного материала получило благодаря их отличным конструктивным качествам, внесезонности применения, высоким показателям физико-механических свойств при малой плотности, которые в сочетании с современными технологиями строительства быстровозводимых зданий позволяют реализовывать разнообразные архитектурные формы.

Создание материалов пониженной горючести привело к повышенному выделению дыма и токсичных продуктов при термическом разложении и горении. Серьезные последствия пожаров вызывают тревогу исследователей, которые изучают причины пожаров и условия пожаробезопасного применения материалов в строительстве. Разработка эффективных пожарно-профилактических мероприятий и успешное тушение возникших пожаров зависят от правильности и полноты оценки пожарной опасности материалов и систем в целом. Однако оценка пожароопасности по одному, двум параметрам, как правило, недостаточна.

Наряду с высокими эксплуатационными характеристиками в условиях пожара при горении древесины образуются побочные эффекты: дымообразование, уменьшение видимости и содержание в дыме газообразных токсичных соединений и др. Особенно опасны пожары в зданиях с массовым пребыванием людей. Основной причиной гибели людей при пожарах на данных объектах является отравление токсичными газами и ядовитыми веществами.

Как отмечают Г.И. Сметанкина и С.А. Романченко, «пожары являются наиболее распространенной причиной чрезвычайных ситуаций в зданиях с массовым пребыванием людей. Поэтому снижение пожарного риска до законодательно утвержденного уровня должно рассматриваться как важнейший индикатор и характеристика эффективности принимаемых решений по обеспечению пожарной безопасности» [2].

Нормативные документы Республики Казахстан по пожарной безопасности устанавливают требования к системе противопожарной защиты зданий в виде

применения огнезащитных составов (антипирен) и строительных материалов пониженной горючести для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций [3].

Обеспечение пожарной безопасности является одной из ключевых задач при проектировании, строительстве и эксплуатации современных быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения.

Для снижения горючести древесины и материала на основе древесины применяются добавки, затрудняющие воспламенение и снижающие скорость распространения пламени – антипирены, которые изменяют процесс термического разложения древесины в процессе горения. В проблеме пожарной безопасности древесинных и полимерных композиционных материалов приоритетное значение имеют собственно огнезащитные средства и их взаимодействие с материалом, а также уменьшение их влияния на несущие конструкции [4].

Поэтому возникает необходимость огнезащиты деревянных конструкций быстровозводимых объектов культурно-исторического значения.

В работе был проведен анализ в области снижения пожарной опасности современных быстровозводимых зданий и сооружений, в частности снижения дымообразующей способности огнезащищенной древесины с использованием пропиточных составов, а также определение перспективных направлений разработок в области огнезащиты древесины.

В связи с этим, учитывая специфику конструктивного исполнения деревянных быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения, значительное количество материалов и конструкций, имеющих высокую пожарную опасность и массового пребывания людей, одним из наиболее важнейших вопросов обеспечения пожарной безопасности является рассмотрение вопросов снижения дымообразующей способности при горении огнезащищенной древесины.

Дымообразующая способность древесины является одной из важнейших характеристик, от которых зависит безопасность людей при пожаре в зданиях и сооружениях с применением деревянных конструкций [5].

Результаты проведенных экспериментальных исследований являются основным видом доказательства теоретических вероятностных расчетов, прогнозов и гипотез огнезащитного действия исследуемых огнезащитных составов.

Результаты экспериментального исследования и их обсуждение

Исследование влияния огнезащитных средств на дымообразование при горении древесины проводили по [3] п. 4.18.

Для снижения пожарной опасности древесины в работе предлагается использовать новое поколение водорастворимых олигомерных антипиренов, содержащих минеральные наполнители, имеющих в своем составе гидроксиды щелочных металлов.

Согласно требованиям стандарта [6] экспериментальные исследования со средствами огнезащиты были проведены в двух режимах: в режиме тления во всём диапазоне возможных величин внешнего радиационного теплового потока, а именно от 10,0 до 35,0 кВт/м^2 и в режиме пламенного горения, при максимальной величине внешнего радиационного теплового потока, а именно 35,0 кВт/м^2.

При исследовании дымообразующей способности древесины с огнезащитными средствами представлял интерес более детальное исследование влияние механизмов огнезащитного действия антипиренов на дымообразование защищаемого материала. На рисунке 1 приведены экспериментальные данные по влиянию антипиренов на дымообразующую способность древесины. Из данных графиков видно, что влияние различных антипиренов на дымообразо-

вание древесины неоднозначно. Так, огнебиозащитный состав «КСД-А» с расходом 400 г/м^2 увеличивает коэффициент дымообразования древесины при самовоспламенении образцов и при испытании в режиме горения, хотя до температуры самовоспламенения древесина, обработанная огнебиозащитным составом «КСД-А» имеет более низкий коэффициент дымообразования, это можно объяснить тем, что состав "КСД-А" препятствует терморазложению древесины и выделению дыма до момента самовоспламенения. Например, в режиме тления при плотности теплового потока 20 кВт/м^2 необработанная древесина имеет коэффициент дымообразования D_m=756 м^2/кг, а в режиме горения при воздействии горелки и плотности теплового потока 35 кВт/м^2 коэффициент дымообразования D_m=258 м^2/кг. По сравнению с необработанной древесиной огнебиозащитный состав «КСД-А» в режиме тления при плотности теплового потока 20 кВт/м^2 имеет коэффициент дымообразования D_m=600 м^2/кг, а в режиме горения при воздействии горелки и плотности теплового потока 35 кВт/м^2 коэффициент дымообразования D_m=296 м^2/кг.

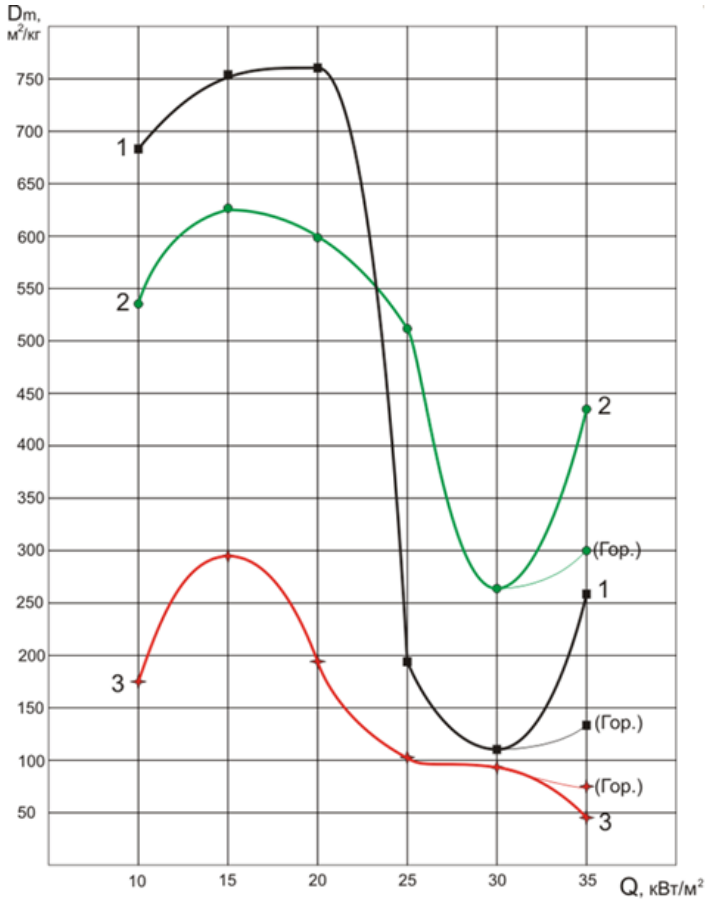


Рисунок 1. Зависимость коэффициента дымообразования древесины с антипиренами от величины плотности внешнего радиационного теплового потока: 1 – сосна необработанная; 2 – сосна с огнебиозащитным составом «КДС-А» (расход 400 г/кв. м); 3 – сосна с составом, содержащим гидроксид калия и полифункциональное соединение (расход 400 г/кв. м)

Из результатов испытаний видно, что наибольшей эффективностью в снижении дымообразования древесины обладает пропиточный состав, содержащий щелочной катализатор и полифункциональное соединение, который уменьшает коэффици-

ент дымообразования древесины, тем самым улучшая ее показатели. По результатам испытаний в режиме тления при плотности теплового потока 20 кВт/м^2 данный состав имеет коэффициент дымообразования D_m = 195 м^2/кг, а в режиме горения при воздействии горелки и плотности теплового потока 35 кВт/м^2 коэффициент дымообразования составляет D_m = 67 м^2/кг.

Заключение

Полученные результаты экспериментальных исследований подтверждают предварительные выводы о влиянии пропиточных составов на дымообразующую способность огнезащищенной древесины.

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что наибольшей эффективностью в снижении дымообразования древесины обладает пропиточный состав, содержащий в качестве основных компонентов щелочной катализатор и полифункциональное соединение. Данный состав уменьшает коэффициент дымообразования древесины, тем самым улучшает синергический эффект. По результатам испытаний в режиме тления при плотности теплового потока 20 кВт/м^2 данный состав имеет коэффициент дымообразования D_m = 195 м^2/кг, а в режиме горения при воздействии горелки и плотности теплового потока 35 кВт/м^2 коэффициент дымообразования составляет D_m = 67 м^2/кг.

Исследование зависимости дымообразующей способности исследуемых материалов от плотности внешнего теплового потока, как в режиме тления, так и в режиме пламенного горения, показало, что огнебиозащитный состав «КСД-А» не изменил группу по дымообразующей способности необработанной древесины и относится к материалам с высокой дымообразующей способностью, а экспериментальный состав, содержащий катализатор и полифункциональное соединение, позволяет перевести древесину из группы материалов с высокой дымообразующей способностью в группу с умеренной дымообразующей способностью.

Таким образом, обработка древесины составом с щелочным катализатором и полифункциональным соединением приводит к изменению некоторых пожарно-технических характеристик, а именно дымообразующей способности. Полученный эффект огнезащиты проявляется в более интенсивном обугливании поверхностного слоя огнезащищенной древесины, тем самым выявлено снижение концентраций газообразных продуктов пиролиза древесины.

В заключении необходимо отметить, что в условиях современного строительства быстровозводимых зданий и сооружений культурно-исторического значения оценка эффективности огнезащитных пропиточных составов и покрытий с получением высокоэффективных показателей позволяет целенаправленно обеспечивать требуемые показатели пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций и решение проблемы обеспечения безопасности людей в чрезвычайных ситуациях.

Литература

1. Гусев А. И., Пазникова С. Н., Кожевникова Н. С. Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, №3. – С. 30–35.
2. Сметанкина Г. И., Романченко С. А. Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности общественных зданий // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – №1 (7) С. 274–278. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti-obschestvennyh-zdaniy.
3. Об утверждении технического регламента «Общие требования к пожарной безопасности». Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 23 июня 2017 года № 439: зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 17 августа 2017 года № 15501.
4. Нуркулов Ф. Н. Исследование огнезащитной эффективности олигомерных антипиренов для древесины и полимерных материалов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2016. – № 10(31). URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3776.

5. Покровская Е. Н. и др. Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 10. – С. 40–45.

6. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 01.01.91. М., 1989, 1996, 2001.

References

1. Gusev A.I., Paznikova S.N., Kozhevnikova N.S. Improving the fire resistance of wooden construction structures. Fire and Explosion Safety. 2006. Vol. 15. No. 3. P. 30-35.

2. Smetankina G.I., Romanchenko S.A. Actual problems of fire safety in public buildings // Modern technologies for civil defense and emergency response. 2016. №1 (7) P. 274-278. URL:https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti-obschestvenvenyh-zdaniy (appeal date: 05/15/2019).

3. On approval of the technical regulation "General requirements for fire safety." Order of the Minister of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan dated June 23, 2017 No. 439. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on August 17, 2017 No. 15501.

4. Nurkulov F.N. Study of the flame retardant efficiency of oligomeric flame retardants for wood and polymeric materials // Universum: Technical sciences: electron. scientific journals 2016. № 10 (31). URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3776 (access date: 04/28/2019).

5. Pokrovskaya E.N., Portnov F.A., Kobelev A.A., Korolchenko D.A. Smoke-forming ability and toxicity of products of combustion of wood materials with surface modification by organoelemental compounds. Fire and Explosion Safety. 2013. Vol. 22. No. 10. P. 40-45.

6. GOST 12.1.044-89 (ISO 4589-84) SSBT. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. - Introduced 1/1/91. - M.: Publishing house of standards, 1989; Publishing and printing complex "Standards publishing house", 1996, 2001.

УДК 614.84 : 621.791 : 927.55 *bezzaponnay@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES CAMOFLUAGE POWDER BASED ON NICKEL USED TO HARDEN THE SURFACES OF FIRE-TECHNICAL EQUIPMENT

Криворогова А. С.,
Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург,
Krivorogova A. S., Bezzaponnaya O. V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

Для восстановления поврежденных и упрочнения новых деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, авторами статьи предлагается использовать метод сверхзвукового плазменного напыления самофлюсующегося порошка на основе никеля на поверхность деталей оборудования, подвергающихся в ходе эксплуатации, интенсивному износу. Износ лопастей может привести к ухудшению напора при подаче огнетушащих средств. Методом сверхзвукового плазменного напыления предлагается восстанавливать изношенные либо упрочнять новые изделия, изготовленные из алюминиевых сплавов. Для исследования физико-химических процессов, протекающих в ходе напыления порошкового состава, применён метод синхронного термического анализа (Nietzsch STA 449 F5 Jupiter®). Рассматривали поведение порошка при нагреве до 1400 °С в воздушной среде и в аргоне. По полученным данным определены температуры плавления и образовывающиеся при плавлении силициды никеля, которые придают прочность покрытиям.

Ключевые слова: пожарное оборудование, крыльчатка рабочего колеса насоса, сверхзвуковое плазменное напыление, синхронный термический анализ, самофлюсующийся порошок на основе никеля, температура плавления.

To restore the damaged and hardening of new parts made of aluminum alloys, the authors of the article propose to use the method of supersonic plasma spraying of self-fluxing nickel-based powder on the surface of equipment parts subjected to intensive wear during operation. Worn blades can lead to a deterioration in pressure when applying extinguishing agents. The method of supersonic plasma spraying is proposed to restore worn out or strengthen new products made of aluminum alloys. The method of simultaneous thermal analysis (Nietzsch STA 449 F5 Jupiter®) was used to study the physicochemical processes occurring during the deposition of the powder composition. Considered the behavior of the powder when heated to 1400 ° C in air and in argon. According to the data obtained, the melting points and nickel silicides formed during melting, which give strength to the coatings, are determined.

Keywords: impeller of the impeller pump, supersonic plasma spraying, simultaneous thermal analysis, tamifluswine powder based on Nickel, melting temperature.

Для эффективной работы пожарных подразделений на месте ликвидации пожара необходимо, чтобы оснащение пожарных расчетов было исправным и находилось в удовлетворительном состоянии. Комплект пожарно-технического вооружения (ПТВ) для подачи огнетушащих веществ в очаг пожара состоит из пожарных рукавов и гидравлического оборудования. Его использование позволяет формировать насосно-рукавную систему пожарного автомобиля (мотопомпы) в целях обеспечения подачи огнетушащих веществ. Элементы, составляющие комплект ПТВ, являются наиболее часто используемым пожарно-техническим оборудованием и естественным образом, подвергающимся износу, окислению под действием агрессивной среды, в частности средств пожаротушения, истиранию резьбы, что, в конечном итоге, требует их восстановления или замены. Поэтому необходимо искать и внедрять технологии, позволяющие обеспечивать работоспособность применяемого оборудования в течение длительного времени, а также возможность применения данных технологий для восстановления изношенных деталей до нормативных размеров, тем самым, продлевая срок их службы. При этом подразумевается, что затраты на восстановление деталей будут экономически оправданными в сравнении с затратами на производство и доставку новых запасных частей.

В качестве примера рассмотрим крыльчатку рабочего колеса насоса (рис. 1), подвергающегося износу. Материал, из которого изготавливаются крыльчатки, – сплав алюминия АЛ9.

Рисунок 1. Износ крыльчатки рабочего колеса насоса

Как видно из рисунка, лопасти насосов под действием мелких частиц, находящихся в воде и кавитации, подвергаются износу, что приводит к уменьшению мощности подачи струи. На рис. 1 отчетливо видно, что происходит с крыльчаткой рабочего колеса насоса под действием агрессивных сред.

На сегодняшний день для увеличения времени эксплуатации новых деталей и повышения их износостойкости, для повышения коррозионной стойкости, а также для восстановления и реновации повреждённых и изношенных деталей всё чаще применяют плазменные технологии. На поверхность деталей сверхзвуковым плазменным напылением наносится металлический порошок, частицы которого, попадая в плазменную струю, нагреваются и одновременно разгоняются до сверхзвуковых скоростей. При ударе частичек порошка о поверхность материала их ки-

нетическая энергия переходит в тепловую – происходит диффузионное проникновение элементов покрытия в основу, что увеличивает прочность сцепления в 2-3 раза. При ударе и затвердевании примерно в четыре раза увеличивается степень расплющивания частиц, что приводит к повышению степени аморфизации материалов и сплавов, соответственно, к снижению среднего размера пор в 10 раз, что и влияет на улучшение сопротивления материала износу и коррозии [1].

Твердость и износостойкость покрытий зависят, в значительной степени, от физико-химических свойств исследуемого порошкового сплава. Данные сведения можно получить с помощью методов термического анализа [2-4].

Исследование порошкового состава ПР-Н77Х15С3Р2 проводили методом синхронного термического анализа (СТА) на приборе Nietzsch STA 449 F5 Jupiter® в среде воздуха и в инертной среде аргона, в интервале температур 25÷1400 °С, со скоростью нагрева 10 К/мин, в корундовых тиглях. Задачей исследований являлось изучение термолиза порошкового состава с целью получения сведений о процессах его наплавления для оптимизации режима плазменной обработки поверхности деталей. Термограммы, полученные в ходе испытаний порошкового состава ПР-Н77Х15С3Р2, представлены на рис. 2, 3.

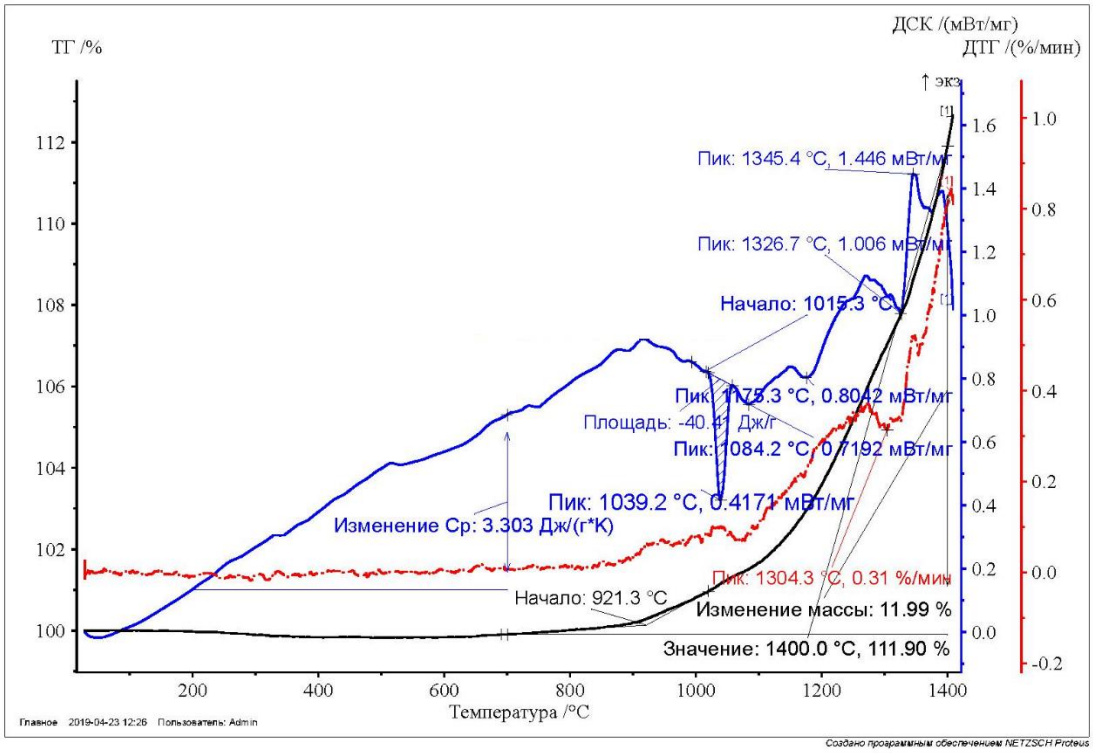


Рисунок 2. Термограмма порошкового состава ПР-Н77Х15С3Р2 (СР 2) в воздухе

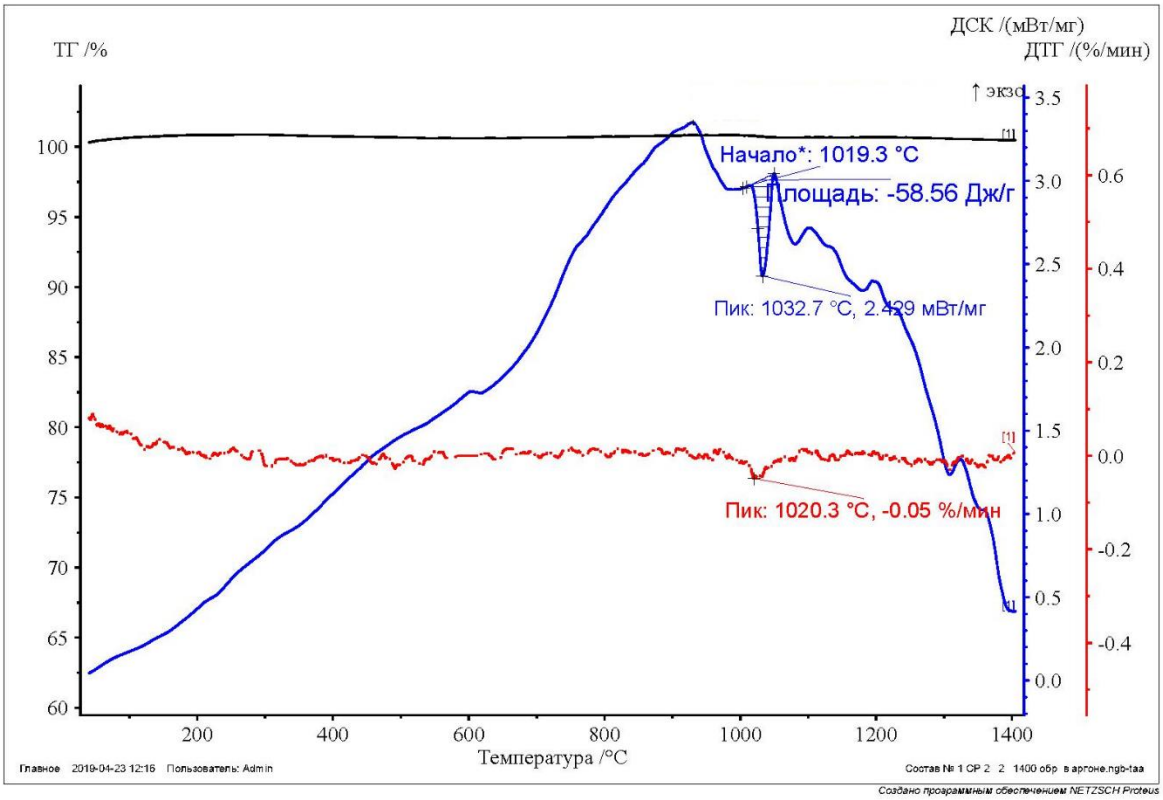


Рисунок 3. Термограмма порошкового состава ПР-Н77Х15С3Р2 (СР 2) в аргоне

Анализ термогравиметрической кривой в окислительной среде (рис. 2) свидетельствует об интенсивном протекании процесса окисления исследуемого состава, начиная с температуры 700 °С. В результате окисления порошкового состава масса исследуемого порошка в интервале температур ~700÷1400 °С увеличивается на 12 %. Скорость окисления, согласно кривой дифференциальной термогравиметрии (ДТГ), с повышением температуры возрастает.

В воздушной среде на ДСК кривой ярко выражен эндотермический пик с максимумом при температуре 1039,2 °С (температура плавления ~1015,3 °С), эндотермический эффект составил 40,4 Дж/г. В инертной среде на ДСК кривой максимум эндотермического пика при температуре 1032,7 °С (температура плавления ~1019,3 °С), эндотермический эффект составляет 58,56 Дж/г. Полученные данные соответствуют температуре плавления порошкового сплава, входящего в исследуемый состав. По температурам плавления (началам перегиба) последующих эндотермических пиков установлено образование силицидов никеля Ni_3Si, Ni_3Si_2, Ni_2Si, температуры плавления которых составили 1059 °С, 1156 °С и 1276 °С соответственно. Надо отметить, что такие температуры уже практически не достигаются в условиях стандартного (целлюлозного) режима пожара. Образующиеся силициды способствуют повышению твёрдости и износостойкости покрытия. Масс-спектральный анализ показал, что никакие пары или газы в ходе термолиза порошкового сплава в среде воздуха не выделяются.

В инертной среде аргона (рис. 3), как и следовало ожидать, окисления порошкового состава не происходит. Эндотермические пики, характеризующие плавление компонентов порошкового состава, имеют значения близкие к температурам плавления, полученным в окис-

лительной среде (в пределах погрешности метода).

Таким образом, исследование многокомпонентного самофлюсующегося сплава на никелевой основе методами термического анализа в интервале температур до 1400 °С позволило установить образование силицидов никеля – соединений, придающих износостойкость металлическим деталям после напыления данного порошка на их поверхность. Безусловно, применение такого порошка для покрытия деталей пожарного оборудования позволит повысить их износо- и жаростойкость, способствуя продлению срока службы такого оборудования и применению его при высоких температурах пожара.

Литература

1. Петров С. В. Технологическое использование плазмы продуктов сгорания и ее генерирование // Экотехнол. и ресурсосбережение. – 1999. – № 3. – С. 73–80.

2. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: методические рекомендации / Е. Д. Андреева и др. М., 2010. 60 с.

3. Головина Е. В. и др. Применение метода термического анализа для комплексного исследования и совершенствования вспучивающихся огнезащитных составов // Техносферная безопасность. – 2017. – № 2(15). – С. 3–7.

4. Bezzaponnaya O. V., Golovina E. V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicon base O.V. // Russian journal of Applied chemistry, 2018. – Vol. 91, No. 1. – Pp. 96–100.

References

1. Petrov. S. V. Tekhnologicheskoye ispolzovaniye plazmy produktov sgoraniya i eye generirovaniye [Tekst] : nauchnoye izdaniye / S. V. Petrov // Ekotekhnol. i resursosberezheniye. - 1999. - N 3. - P. 73-80.

2. Primeneniye termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pozharov: metodicheskiye rekomendatsii / E.D. Andreyeva. M.Yu. Printseva. S.A. Kondratyev. I.D. Cheshko / pod red. prof. I.D. Cheshko. M.: VNIIPO. 2010. 60 p.

3. Golovina E.V.. Bezzaponnaya O.V.. Mansurov T.Kh.. Akulov A.Yu. Primeneniye metoda termicheskogo analiza dlya kompleksnogo issledovaniya i sovershenstvovaniya vspuchivayushchikhsya ognezashchitnykh sostavov // Tekhnosfernaya bezopasnost. – 2017. – № 2(15). – P. 3-7.

4. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicon base O.V. // Russian journal of Applied chemistry, 2018. – Vol. 91. – No. 1. – Pp. 96-100.

УДК 004.942:614.841 *sergey-subachev@yandex.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПОЖАРА НА ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

MODELING OF THE PROTECTION OF PEOPLE AND EQUIPMENT FROM HEAT FLOW OF THE FIRE IN THE TERRITORY OF THE INDUSTRIAL FACILITIES

Карькин И. Н., кандидат физико-математических наук,
Контарь Н. А., Pyrosim.ru, Екатеринбург,
Субачев С. В., кандидат технических наук, доцент,
Субачева А. А., кандидат педагогических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург

Kar'kin I. N., Kontar N. A.,
Pyrosim.ru, Yekaterinburg,
Subachev S. V., Subacheva A. A.,
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg

В статье представлен алгоритм расчета теплового потока, падающего на облучаемый объект, в процессе пожара на производственном объекте при наличии между очагом пожара и облучаемым объектом противопожарной стены (экрана) или здания. Алгоритм реализован в компьютерной программе PromRisk, предназначенной для расчета пожарных рисков на производственных объектах.

Ключевые слова: моделирование пожаров, тепловой поток, расчет пожарного риска, пожарная опасность производственных объектов.

The paper presents an algorithm for calculating the heat flux incident on the irradiated object in the process of a fire at an industrial facility if there is a fire wall or a building between the fire and the irradiated object. The algorithm is implemented in the computer program "PromRisk", designed to calculate fire risks at industrial facilities.

Keywords: modeling of fires, heat flow, calculation of fire risk, fire hazard of industrial facilities.

Согласно методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1, 2] при расчете теплового потока в определенной точке территории объекта при пожаре пролива горючих жидкостей и сжиженных горючих газов используется модель, учитывающая эффективный диаметр пожара, высоту пламени, расстояние до облучаемого объекта и наличие ветра [1, прил. 3, разд. VI, IX]. В случае факельного горения при струйном истечении горючих газов и горючих жидкостей для определения теплового потока допускается использовать эту же модель, принимая высоту пламени равной длине факела, а эффективный диаметр пожара – диаметру факела.

Эта модель отражает распространение тепла излучением от пламени пожара при отсутствии каких-либо препятствий на отрезке между очагом пожара и облучаемым объектом. Однако на практике такие препятствия имеются довольно часто. И если при расчете пожарного риска на территории производственного объекта не учитывать здания и сооружения, за которыми персонал объекта мо-

жет укрыться от теплового потока пожара, то величина риска будет необоснованно завышена (рисунок 1).

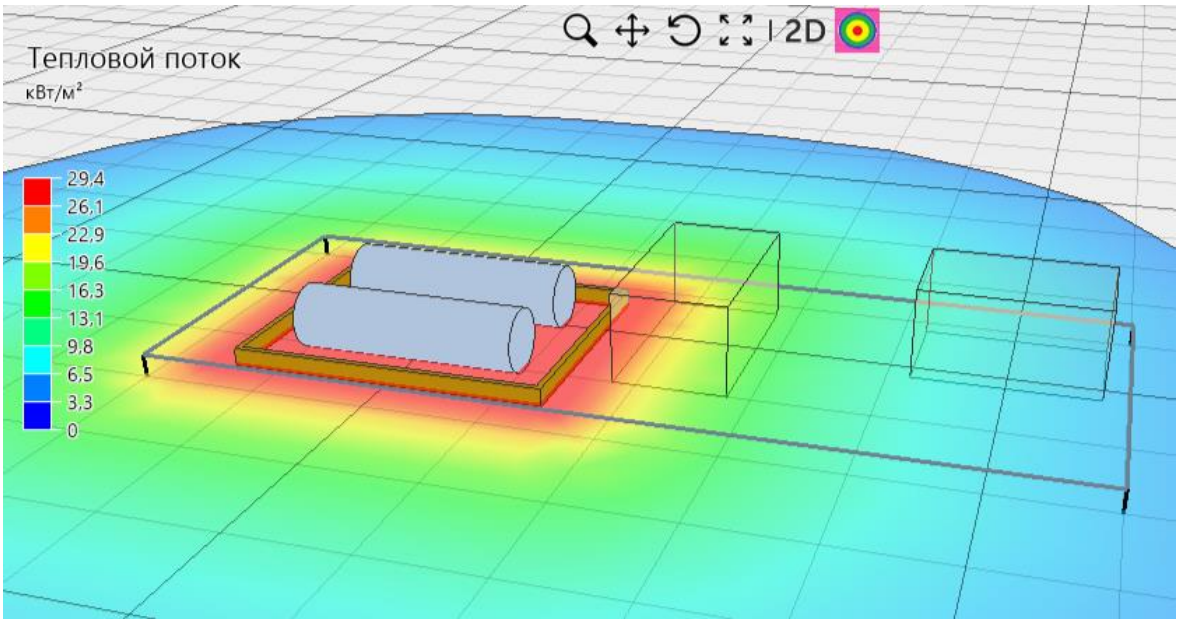


Рисунок 1. Поле теплового потока при пожаре пролива в обваловании без учета наличия зданий

В то же время, наличие стены не всегда обеспечивает полное отсутствие теплового потока с необогреваемой стороны – при высоте пламени, превышающей высоту стены, видимая часть пламени создает излучение. Например, в работе по оценке возможности разрушения остекления машинного отделения ГРЭС при пожаре трансформатора при моделировании учитывалось наличие экрана между блочным трансформатором и рабочим трансформатором собственных нужд (рисунок 2), а также помещение системы маслоохлаждения трансформатора, расположенное между трансформатором и главным корпусом ГРЭС. По результатам моделирования отчетливо видно, что при высоте пламени, приблизительно в два раза превышающей высоту защитного экрана (рисунок 3), часть пламени, выступающая над защитным экраном и помещением системы маслоохлаждения, создает мощный тепловой поток (рисунок 4) и на здание БЩУ-1, и на главный корпус (что впоследствии приводит к разрушению остекления машинного отделения).

В связи с этим, при автоматизации расчета риска на территории производственных объектов недостаточно лишь определять наличие стены между очагом пожара и рассматриваемой точкой территории – необходимо учитывать то, как соотносятся высота пламени и высота стены (экрана, здания).

Поскольку в методике [1] не приводятся формулы или модели, которые позволили бы определить, на сколько снижается тепловой поток при наличии экрана высотой меньше высоты пламени, предлагается реализованный в программе PromRisk собственный метод, суть которого заключается в следующем.

При высоте пламени, превышающей высоту стены, принимая высоту человека (высоту рабочей зоны) равной 1,7 м, из рассматриваемой точки территории, смещенной на высоту 1,7 м проводится луч через верхний срез стены к центру пламени (рисунок 5). Точка пересечения делит пламя по высоте на две части – видимую часть (*а*) и часть, закрываемую стеной (*б*). В дальнейшем, при расчете величины теплового потока коэффициент облученности, вычисляемый по методике [1], умножается на коэффици-

ент, равный доле видимой части в общей высоте пламени.

Рисунок 2. Расположение защитного экрана

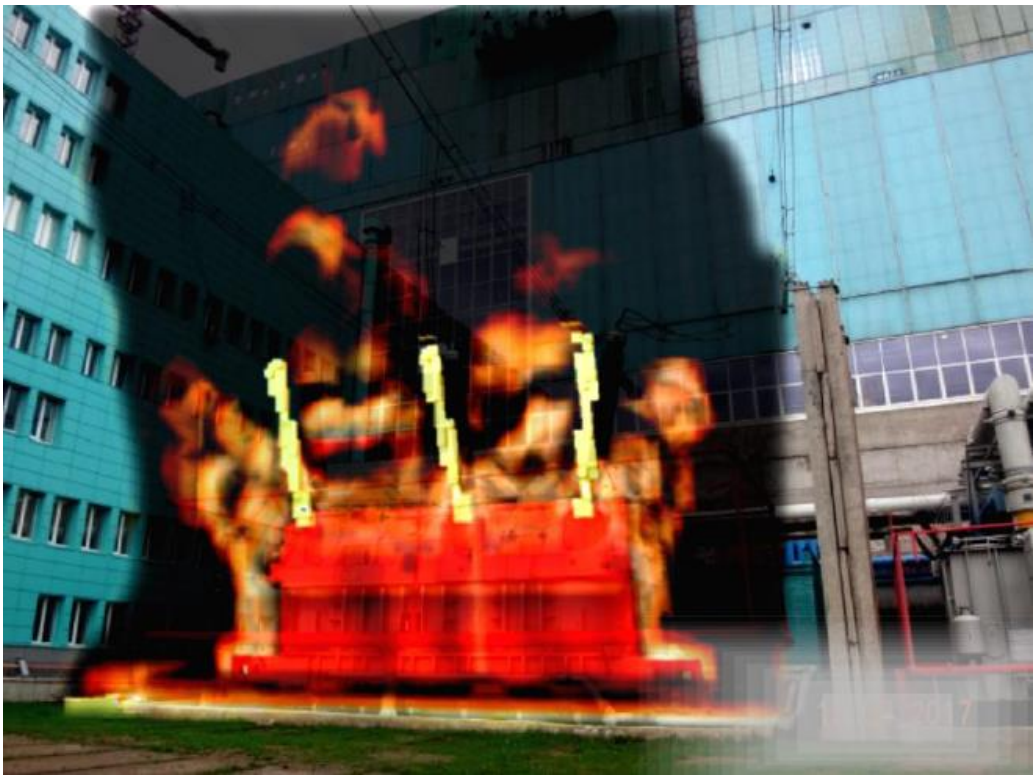


Рисунок 3. Визуализация пожара трансформатора (совмещение результатов моделирования с реальным изображением)

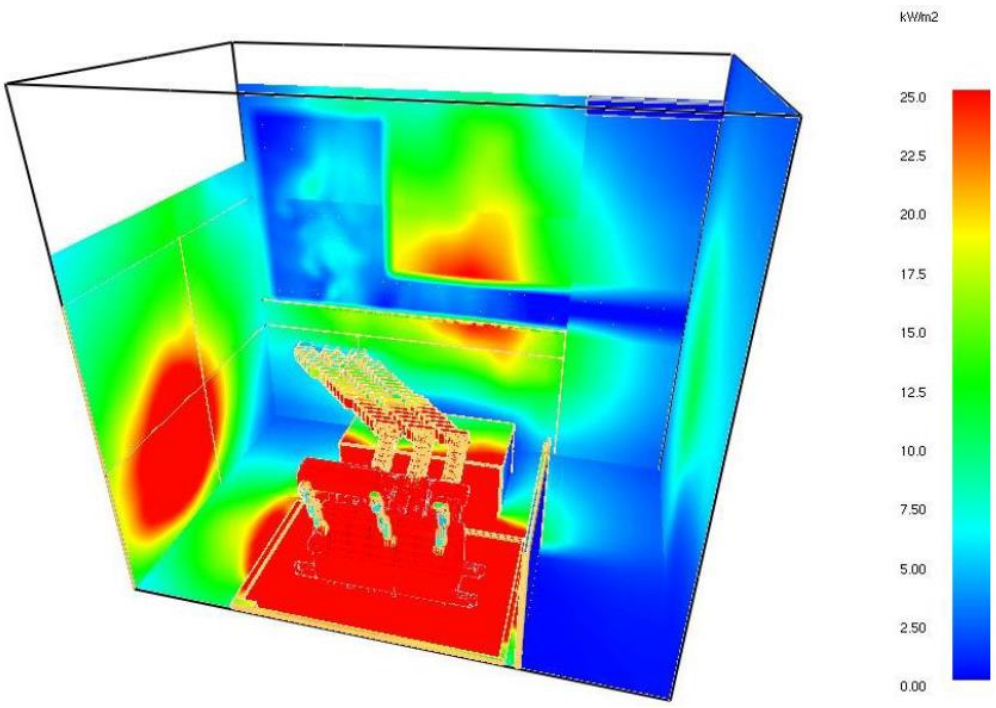


Рисунок 4. Тепловой поток, создаваемый пламенем при пожаре трансформатора

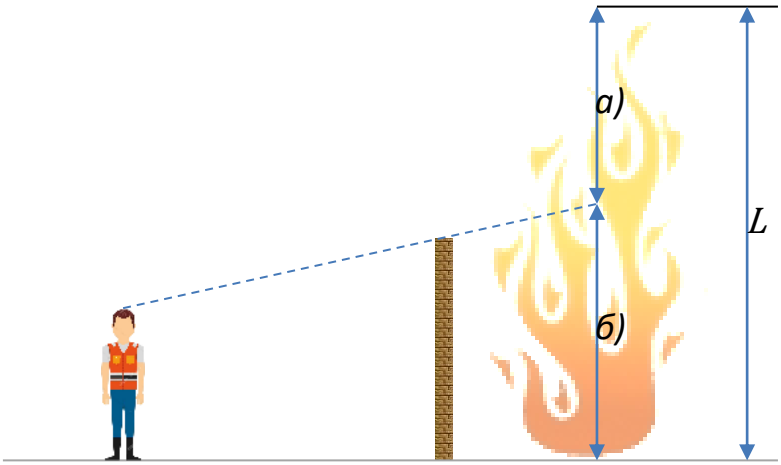


Рисунок 5. К расчету теплового потока: L – высота пламени; а) видимая часть пламени; б) часть пламени, закрываемая стеной

При увеличении высоты стены доля видимой части пламени уменьшается и величина теплового потока также уменьшается (рисунок 6).

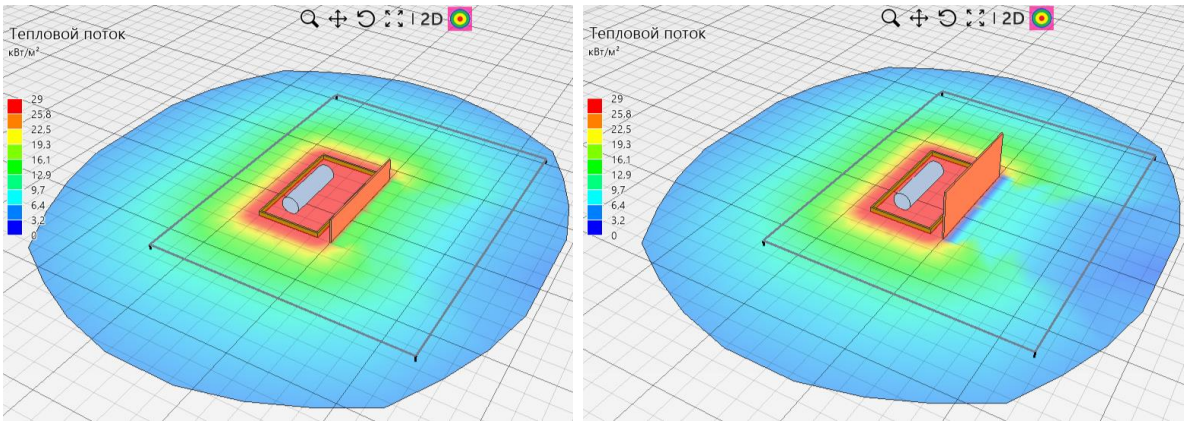


Рисунок 6. Поле теплового потока при различной высоте стены

Описанный метод применяется при расчете теплового потока в каждой точке территории объекта, в каждом из сценариев, связанных с тепловым излучением (горение пролива, вертикальный, горизонтальный факелы), учитываются все стены (экраны) и все здания объекта (рисунок 7), в том числе при моделировании разгерметизации трубопроводов по всей их длине [3].

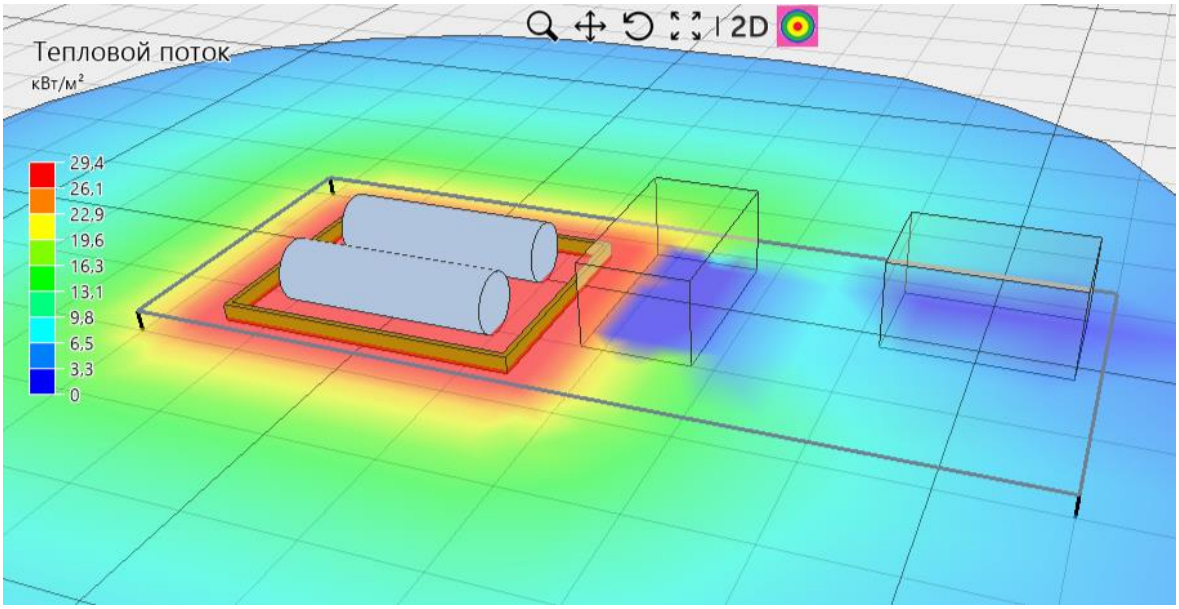


Рисунок 7. Поле теплового потока с учетом экранирования стенами зданий

Это требует значительных вычислительных ресурсов и приводит к увеличению времени расчета, однако позволяет получить адекватный реальности результат и не завышать величину пожарного риска на территории производственного объекта.

Литература

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404, с изм.).
2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д. М. Гордиенко и др. М., 2016.
3. Карькин И. Н. и др. Расчет потенциального пожарного риска от трубопроводов с горючими жидкостями и горючими газами // Техносферная безопасность. – 2019. – № 1(22).

References

1. Metodika opredeleniya raschetnyx velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyx ob"ektax (utv. prikazom MChS Rossii ot 10.07.2009 g. № 404, s izm.).

2. Posobie po opredeleniyu raschetnyx velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennyx ob"ektov / D.M. Gordienko i dr. – M.: VNIIPO, 2012. – 242 s.

3. Kar'kin I.N., Kontar' N.A., Subachev S.V., Subacheva A.A. Raschet potencial'nogo pozharnogo riska ot truboprovodov s goryuchimi zhidkostyami i goryuchimi gazami // Tekhnosfernaya bezopasnost'. – 2019. − №1 (22). − ISSN 2311-3286.