

**В ЭТОМ НОМЕРЕ:****ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ОЧЕВИДЦА И ЕГО ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОПРОСА ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПОЖАРОВ***Карпов С. Ю.*..... 3**ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ВНУТРЕННЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА ПРИ НЕСКОЛЬКИХ ОДНОВРЕМЕННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОЖАРНЫХ КРАНАХ***Баранчикова Н. И., Епифанов С. П., Калинин И. С., Крышкин П. А., Цветков В. О.*..... 12**ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО УЧЕТА ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ***Майстренко Е. В., Жогаль У. В., Юдичев А. А.*..... 19**ЭЛЕМЕНТЫ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ РАЗБИЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ НА ГРУППЫ РИСКА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ОБУЧЕНИИ, ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРОПАГАНДЕ И АГИТАЦИИ***Прус Ю. В., Чистяков А. А., Володченкова В. В., Чистякова А. А., Володченков Р. Б.*..... 25**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СЛУЧАЕ ПОЖАРА ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ***Бакиров И. К., Хафизов Ф. Ш., Хуснутдинова С. М.*..... 32**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ***Сысоева Т. П., Калач А. В., Лобова С. Ф., Порхачев М. Ю.*..... 39**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА УСТАНОВКЕ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НУЖД НАСЕЛЕНИЯ ВОДОЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА***Ширниех А. А.*..... 47**ВЛИЯНИЕ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***Штерензон В. А., Худякова С. А., Степанов О. И., Гренадеров А. Н.*..... 56

<b>О РАСЧЕТЕ ВЕРОЯТНОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ</b> <i>Зыков П. И., Контарь Н. А., Субачев С. В., Субачева А. А.</i> .....	<b>67</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЭПОКСИДНОЙ ОГНЕЗАЩИТОЙ</b> <i>Калач А. В., Клементьев Б. А., Калач Е. В.</i> .....	<b>72</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА В ТИПОВОМ МАШИННОМ ЗАЛЕ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ</b> <i>Прытков Л. Н., Барбин Н. М., Кобелев А. М., Титов С. А., Гришина Е. В.</i> .....	<b>78</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В МНОГОУРОВНЕВОЙ ОТКРЫТОЙ АВТОСТОЯНКЕ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СТЕНЫ ВБЛИЗИ ОДНОЙ ИЗ СТОРОН</b> <i>Карпов А. В., Цыбизова Р. К., Карпова И. А., Лучкин С. А.</i> .....	<b>89</b>
<b>ОЦЕНКА ТЕРМОСТОЙКОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА</b> <i>Беззапонная О. В., Бизин И. В., Головина Е. В., Хабибуллина Н. В., Мансуров Т. Х.</i> .....	<b>101</b>
<b>АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ПРОИЗОШЕДШИЕ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ЗА ПЕРИОД 1952–1991 ГГ</b> <i>Титов С. А., Барбин Н. М., Кобелев А. М.</i> .....	<b>113</b>

УДК 614.841

kafedrandagps@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ОЧЕВИДЦА И ЕГО ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ОПРОСА ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПОЖАРОВ****THE INFLUENCE OF THE AGE OF THE WITNESS AND HIS PSYCHOPHYSICAL STATE ON THE PREDICTION OF THE INTERVIEW TIME IN THE INVESTIGATION OF FIRES**

*Карпов С. Ю.,  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны МЧС России», Балашиха*

*Karpov S.,  
All-Russian Research Institute of  
Fire Defense of EMERCOM of Russia, Balashikha*

В статье проведен анализ влияния возраста очевидца (свидетеля) пожара на время его опроса с учетом действующего законодательства, особенностей психофизиологического состояния. Затронуты вопросы периодизации возрастных групп при опросе (допросе) очевидцев в рамках расследований пожаров. Предложена классификация (периодизация) возрастных групп при прогнозировании времени опроса очевидцев на месте пожара с коэффициентами эластичности. На основе проведенного анализа, обработки статистических и экспертных данных сделан вывод, что основная категория опрашиваемых при пожаре (более 90 %) относится к возрастному интервалу от 18 до 60 лет. Учитывая психофизиологические особенности людей данного возраста можно утверждать, что предложенный возрастной интервал в периодизации является оптимальным с точки зрения скорости производства процессуального действия и вероятности получения достоверной и достаточной информации. Показано, что прогнозирование времени, необходимого для осуществления процессуальных действий на месте пожара, способствует оптимизации кадрового ресурсобеспечения и в целом – повышению качества расследования пожаров.

*Ключевые слова:* управление кадровым ресурсобеспечением, прогнозирование численности дознавателей, расследование пожара, пожар, возрастные группы, психофизиологические особенности при опросе свидетелей, периодизация, время опроса свидетелей.

The article analyzes the influence of the age of an eyewitness (witness) of a fire on the time of his interview, taking into account the current legislation, the peculiarities of the psychophysiological state. The issues of periodization of age groups during the interview (interrogation) of eyewitnesses in the framework of investigations of fires are touched upon. The classification (periodization) of age groups is proposed when predicting the time of interviewing eyewitnesses at the fire site with elasticity coefficients. Based on the analysis, processing of statistical and expert data, it is concluded that the main category of respondents in a fire (more than 90 %) belongs to the age range from 18 to 60 years. Taking into account the psychophysiological characteristics of people of this age, it can be argued that the proposed age interval in periodization is optimal in terms of the speed

of production of procedural actions and the probability of obtaining reliable and sufficient information. It is shown that the prediction of the time required for the implementation of procedural actions at the fire site contributes to the optimization of personnel resources and, in general, to improving the quality of fire investigation.

*Keywords:* personnel resource management, forecasting the number of interrogators, fire investigation, fire, age groups, psychophysiological features when interviewing witnesses, periodization, time of interviewing witnesses.

При расследовании преступлений, сопряженных с пожарами, одним из важных факторов является своевременность производства следственных и иных процессуальных действий в виде осмотра места происшествия, опроса очевидцев и. т. д. Поэтому прогнозирование времени процессуальных действий при расследовании пожаров позволяет улучшить принятие управленческих решений на месте пожара с учетом оперативных и неотложных действий, а также разумного срока на производство следственного действия. Это позволяет оптимально распределить существующие кадровые ресурсы и определить необходимую и достаточную численность сотрудников органа дознания (следствия). Кроме этого, на первоначальном этапе расследования пожара скорость сбора информации, ее обработки и последующего принятия процессуального решения может являться залогом успешного раскрытия преступления по «горячим следам». Показания очевидцев при расследовании преступлений, сопряженных с пожарами, являются важной составляющей в доказывании причины и места первоначального горения, так как на этапе осмотра после действий по тушению пожара и под воздействием опасных факторов существенно меняется вещная обстановка (следовая картина), а многие доказательства (материальные следы) могут быть уничтожены полностью в результате пожара.

Как правило, первым действием должностного лица (дознателя, следователя) по прибытии на место пожара является опрос очевидцев (свидетелей) и потерпевших. Поэтому определение среднего времени, затраченного на опрос свидете-

лей, осмотр места пожара и других неотложных действий позволит спрогнозировать минимально необходимый бюджет времени работы сотрудника на месте пожара по сбору первоначальной информации.

Опрос очевидцев (свидетелей) на месте пожара – является наиболее психологизированное процессуальное действием и важная работа, т. к. это взаимодействие с людьми разного возраста, предполагающее индивидуальный подход и затрату разного количества времени на общение с каждым человеком [1].

Категория опрашиваемых на месте пожара может быть различна: как от малолетних детей, так до людей престарелого возраста. В силу возраста, умственного развития и психофизического состояния, а также среды проживания опрашиваемого, время на опрос свидетеля может быть разным. Конечно, в каждом конкретном случае при опросе очевидцев дознаватель (следователь) применяет различные методы и индивидуальные подходы, исходя из сложившейся обстановки и личностные характеристики опрашиваемого, но необходимость в оперативности действий по расследованию пожара подразумевает прогнозирование времени для сбора первоочередной информации. При опросе свидетелей на месте пожара нужно учитывать, что получение информации происходит в условиях стрессовой ситуации [2, 3]. Время опроса может зависеть и от характеристик объекта пожара (площади пожара, функционального назначения объекта и т. д.), т. к. круг задаваемых вопросов затрагивает описание места возникновения и развития пожара на конкретном объекте.

При допросе (опросе) учитывается законодательство в отношении определенных категорий граждан, которое предусматривает присутствие родителей, психологов, педагогов, врачей [4, 5]. В таких случаях время на опрос и оформление объяснения (протокола допроса) свидетеля увеличивается. Чаще всего такие допросы проводят в кабинете дознавателя (следователя) с соблюдением требований, предусмотренных уголовно-процессуальным законодательством, а не на месте пожара.

При всем разнообразии ситуаций и влияющих факторов, дознавателю (следователю) при опросе очевидца нужно постараться получить максимально достоверную и значимую информацию [6]. Для прогнозирования времени опроса очевидца необходимо определить периоды и группы, которые в силу возрастных особенностей могут отличаться друг от друга и влиять на восприятие событий и, как следствие, на скорость производства процессуального действия. В практике расследований при опросе свидетелей определяет несколько возрастных групп:

– малолетний ребенок – до 14 лет (в данном случае, в силу возраста, законодатель устанавливает недееспособность и «беспомощность» данной категории людей [7]);

– несовершеннолетние – с 14 лет до 18 лет;

– совершеннолетние граждане – с 18 лет. Многие ученые, специалисты и криминалисты классифицируют возрастные группы иначе, учитывая психофизиологические и медицинские особенности при опросе очевидца.

Так, например, В. Е. Коновалова рассматривает шесть возрастных групп несовершеннолетних: 1) младенческий возраст (до 1 года); 2) раннее детство (от 1

до 3 лет); 3) дошкольный возраст (от 3 до 7 лет); 4) младший школьный возраст (от 7 до 11–12 лет); 5) подростковый возраст (от 11 до 14–15 лет); 6) старший школьный возраст (от 14 до 18 лет) [8]. По мнению Л. В. Бертовского, когнитивные возможности человека постепенно снижаются к 65 годам, а к 75 годам снижение проявляется более отчетливо [9]. Э. Ж. Амиров представляет иную классификацию: 1) малолетние (по закону до 14 лет); 2) несовершеннолетние (14–18 лет); 3) молодые люди (примерно от 18 до 30–35 лет); 4) люди зрелого возраста (35–60 лет); 5) пожилые люди (примерно от 60–75 лет); 6) старики (старше 75 лет) [10].

Это говорит о том, что уточнение возрастной периодизации в уголовно-процессуальном законодательстве на сегодняшний день остается дискуссионной темой исследования. Неурегулированность вопроса о влиянии возраста человека на время производства и качество процессуального действия не всегда позволяет получить оптимальный результат, учитывая возрастные особенности, например лиц преклонного возраста.

Рассматривая периодизацию возрастных групп на примере нормативных документов в социологии, медицине, спорте и т. д., можно проанализировать существующие исследования и подходы. Анализ и обобщение данных, представленные в табл. 1 показывает, что в различных классификациях взрослым человеком считается лицо в возрасте от 18 до 20 лет. До 60-летнего возраста человек физиологически, психологически находится в «форме», и он может участвовать в «нормально скоростных» условиях производства процессуальных действий (за исключением наличия у человека серьезных заболеваний).

Таблица 1  
Классификация возрастных групп

Область применения	Критерии возрастных групп		Источники литературы
Возрастные группы по ФИЗО для военнослужащих	Мужчины: до 25 лет до 30 лет до 35 лет до 40 лет до 45 лет до 50 лет до 55 лет 55 лет и старше	Женщины: до 25 лет до 30 лет до 35 лет до 40 лет до 45 лет 45 лет и старше	Приказ Министра обороны РФ от 21 апреля 2009 г. № 200 «Об утверждении Наставления по физической подготовке в Вооруженных Силах Российской Федерации»
Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ)	1. 18–44 лет – молодость 2. 44–60 лет – средний возраст 3. 60–75 лет – пожилой человек 4. 75–90 лет – старческий период 5. 90+ лет – долгожитель		<a href="https://www.who.int/ru">https://www.who.int/ru</a>
Периодизация Выготского	1. Кризис новорожденности (до 2 мес.) 2. Младенческий возраст (до 1 года) 3. Кризис 1 года 4. Раннее детство (1–3 года) 5. Кризис 3 лет 6. Дошкольный возраст (3–7 лет) 7. Кризис 7 лет 8. Школьный возраст (7–13 лет) 9. Кризис 13 лет 10. Пубертатный возраст (13–17 лет) 11. Кризис 17 лет		Махова И. Ю. Отечественные теории периодизации психического развития // Психология развития: теоретические основы: учеб. пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 2006
Периодизация Эльконина	1. Младенчество (0–1 год) 2. Ранний возраст (1–3 года) 3. Детство Дошкольный возраст (3–7 лет) 4. Младший школьный возраст (7–11/12 лет) 5. Отрочество Подростковый возраст (11/12–15 лет) 6. Ранняя юность (от 15 лет)		Обухова Л. Ф. Детская психология: теории, факты, проблемы. Изд. 3-е, стер. М.: Трифола, 1998. 352 с.
Теория психосоциального развития Эрика Эриксона	1. Младенчество (от рождения до 1 года) 2. Раннее детство (1–3 лет) 3. Игровой возраст, дошкольный (4–6–7 лет) 4. Школьный возраст (7–8–12 лет) 5. Юность (13–19 лет) 6. Молодость (от 19 до 35–39 лет) 7. Взрослость, зрелость (от 35–39 до 60 лет) 8. Старость (от 60 лет)		Элкинд, Д. Эрик Эриксон и восемь стадий человеческой жизни. М.: Когито-центр, 1996. 16 с.
Классификация АПН СССР (1965)	1. Новорожденные – от 1 до 10 дней 2. Грудной ребенок – от 10 дней до 1 года 3. Раннее детство – от 1 до 2 лет 4. Первый период детства – от 3 до 7 лет 5. Второй период детства – от 8 до 12 лет (м); от 8 до 11 лет (ж) 6. Подростковый возраст – от 13 до 16 лет (м); от 12 до 15 лет (ж) 7. Юношеский возраст – от 17 до 21 года (м); от 16 до 20 лет (ж) 8. Средний возраст. Первый период – от 22 до 35 года (м); от 21 до 35 лет (ж). Второй период – от 36 до 60 лет (м); от 36 до 55 лет (ж) 9. Пожилые люди – от 61 до 75 года (м); от 56 до 75 лет (ж) 10. Старческий возраст – от 76 до 90 лет		Психология: учеб. / Под ред. А.А. Крылова. М.: Изд-во М.А. Захаров, 2001. 584 с.

	11. Долгожители – старше 90 лет	
Биологический возраст	<p><b>Возрастные периоды у детей</b></p> <p>Период новорожденности – первые 4 недели</p> <p>Грудной период: от 4-х недель до 1 года</p> <p>Раннее детство (пред-дошкольный период): 1–3 года</p> <p>Дошкольный возраст: 3 года – 6–7 лет</p> <p>Младший школьный возраст: 6–7 – 10/12 лет</p> <p>Подростковый: 10–17–18 лет (д), 12–17–18 лет (м)</p> <p><b>Возрастные периоды взрослого человека</b></p> <p>Юношеский период: юноши: 17–21 год, девушки: 16–20 лет</p> <p>Зрелый возраст: (первый период) 21–35 лет (м), 20–35 лет (ж)</p> <p>Зрелый возраст (второй период) 35–60 лет (м), 35–55 лет (ж)</p> <p>Пожилой возраст: 55/60–75 лет</p> <p>Старческий возраст: 75–90 лет</p> <p>Долгожители – 90 лет и более</p>	Возраст // Малая медицинская энциклопедия / под редакцией В. И. Покровского. 1991. Т. 1. С. 358–359
Возрастная шкала в Левада-центре	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 18–24</li> <li>2. 25–39</li> <li>3. 40–54</li> <li>4. 55 лет и старше</li> </ol>	<a href="https://www.levada.ru/">https://www.levada.ru/</a>
Возрастные группы в медицине	<p>Возрастные периоды (биологический возраст):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Молодость – от 21 до 35 лет (м), от 20 до 35 лет (ж)</li> <li>2. Зрелость – от 35 до 60 лет</li> <li>3. Пожилой возраст – от 60 до 75 лет</li> <li>4. Старческий возраст – от 75 до 89 лет</li> <li>5. Долгожители – 89 лет и старше.</li> </ol> <p>Возрастные периоды от состояния организма:</p> <p>18–19</p> <p>20 лет</p> <p>от 21 до 24</p> <p>от 25 до 29 лет</p> <p>от 30 до 45 лет</p> <p>49 лет</p> <p>от 50 до 54 лет</p> <p>от 55 до 60 лет</p> <p>от 61 года до 69 лет</p> <p>70 лет и старше.</p>	Милюков В. Е., Жарикова Т. С. Критерии формирования возрастных групп пациентов в медицинских исследованиях // Клиническая медицина. Т. 93. № 11 2015. С. 5–11
В ювенологии (практической геронтологии)	<p>до 30 лет – юность;</p> <p>30–60 лет – первая молодость;</p> <p>60–90 лет – вторая молодость;</p> <p>после 90 лет – третья молодость</p>	Белозерова Л. М. Онтогенетический метод определения биологического возраста человека // Успехи геронтологии. 1999. Вып. 3

Учитывая представленные выше исследования, а также положения уголовно-процессуального законодательства, отметим, что в первую очередь именно возраст является определяющим и важным при производстве опроса очевидца на месте преступления.

Из статистических данных ВНИИПО МЧС РФ (табл. 2, 3) и на основе анализа деятельности дознавателей МЧС России, в более чем 90 % случаев на месте по-

жара опрашиваются люди в возрастной категории от 18 до 60 лет. Из этих же данных мы видим, что на причину пожара «детская шалость» приходится не более 2 % всех случаев. Также анализируя иные случаи, можно сказать, что количество опрашиваемых в возрасте до 18 лет не превышает 5 %. Учитывая результаты анализа практической деятельности дознавателей МЧС России, статистические данные, а также результаты данного исследования можно утверждать, что оптимальная возрастная

группа при опросе очевидцев на месте пожара, с точки зрения скорости производства процессуального действия и вероятности получения достоверной и достаточной информации, находится в интервале от 18 до 60 лет. Необходимо отметить, что опрос очевидцев может быть различным по времени ввиду ситуаций, которые можно разделить на пожар и загорание. В соответствии с основными понятиями Федерального закона от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О по-

жарной безопасности», пожар — это неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Под загоранием понимается неконтролируемое горение вне специального очага, без нанесения ущерба (в соответствии с ГОСТ 12.1.033–81). Различные ситуации подразумевают количество поставленных вопросов, полноту и достаточность полученной информации и т. д.

Таблица 2

*Статистические данные по некоторым причинам возникновения пожаров*

Причина возникновения пожара	Количество пожаров, ед. % отношение от общего количества пожаров, ед.					
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Детская шалость	2494 (1,63 %)	2330 (1,59 %)	2107 (1,5 %)	1843 (1,37 %)	1803 (1,36 %)	3265 (0,69 %)
Неустановленные причины	1421 (0,92 %)	1259 (0,86 %)	1546 (1,1 %)	1553 (1,16 %)	1555 (1,17 %)	16099 (3,41 %)
Прочие причины (не относящиеся ни к одной из статистических групп)	2835 (1,85 %)	2567 (1,75 %)	2019 (1,44 %)	1981 (1,48 %)	1958 (1,48 %)	6203 (1,31 %)

Таблица 3

*Результаты анализа опросов свидетелей по пожарам на примере Самарской области*

Количество анализируемых пожаров (загораний)	Количество опрошиваемых свидетелей (очевидцев)				
	Всего	В возрасте до 10 лет	В возрасте до 18 лет	В возрасте от 18 до 60 лет	В возрасте от 60 лет
<b>2044</b>	<b>6238</b>	–	<b>84 (1,34 %)</b>	<b>5886 (94,35 %)</b>	<b>268 (4,29 %)</b>

Учитывая психофизиологические особенности людей и их законные права при опросе на месте пожара, можно предложить интервалы возрастных групп (табл. 4), которые будут учитываться при прогнозировании времени процессуального действия. Исходя из вышеприведенного исследования, получаем, что возрастная группа от 18 до 60 лет является основной. Это исходит в том числе и из практики опроса очевидцев на основании результатов анкетирования сотрудников органа дознания МЧС России по нескольким субъектам Российской Федерации. Следова-

тельно, время на опрос лиц других возрастных групп будет увеличиваться относительно этой возрастной группы в большую сторону. Для прогнозирования времени опроса очевидцев по формуле (1) предложены коэффициенты эластичности, учитывающие возраст опрошиваемых. Коэффициенты эластичности, учитывающие возраст опрошиваемых, принимаются с помощью метода интервального шкалирования с построением равных интервалов. Коэффициент эластичности, учитывающий возраст опрошиваемых, позволяет более точно спрогнозировать время опроса очевидцев с учетом данного фактора.



Таблица 4

Классификация возрастных групп при опросе свидетелей на месте пожара

	Возрастные группы					
	До 14 лет	От 14 до 18 лет	Средний возраст с 18 до 60 лет	Пожилые с 60 до 75 лет	Старческий возраст от 75 до 90 лет	Долгожители 90 лет и более
$\beta$ – коэффициент эластичности, учитывающий возраст опрошиваемых	1,2	1,1	1	1,1	1,2	1,3

Время на опрос свидетелей на месте пожара, также зависит и от количества опрошиваемых на месте пожара. Эмпирические данные по времени и количеству опрошиваемых также были взяты из результатов анкетирования дознавателей МЧС России, экспертного опроса и результатов анализа материалов дел по пожарам за 2017–2020 годы. На основании опроса

дознавателей МЧС России по Самарской, Смоленской, Сахалинской, Саратовской областям, республики Мордовии, Красноярского края, а также анализа материалов по пожарам в среднем на месте пожара опрошивается 5 человек. При загораниях в среднем на месте «загорания» опрошиваются 3 человека. Результаты исследования приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты анализа среднего количества опрошиваемых на месте пожара

	Среднее количество опрошиваемых свидетелей на месте пожара	Среднее количество опрошиваемых при сборе материалов по загораниям
Самарская область	5 человек	3 человека
Смоленская область	4 человека	2 человека
Республика Мордовия	5 человек	3 человека
Саратовская область	5 человек	3 человека
Сахалинская область	4 человека	2 человека
Красноярский край	5 человек	3 человека

Время опроса очевидцев на месте пожара в первую очередь зависит от опыта и компетенции должностного лица, производящего опрос. При этом необходимо учитывать возраст и психофизиологические особенности опрошиваемого, поэтому предложенный корректирующий коэффициент ( $\beta$  – коэффициент эластичности, учитывающий возраст опрошиваемых) необходим для прогнозирования времени опроса с учетом возрастных особенностей

людей. Коэффициент эластичности учитывается в разработанной модели прогнозирования времени по опросу очевидцев на месте пожара (на основе модели производственной функции Кобба – Дугласа) с основными определяющими факторами [11].

$$T_{\text{опр}} = M_2 E^{\gamma} N^{\beta}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{опр}}$  – прогнозируемое время выполнения работы дознавателя МЧС России по опросу очевидцев (свидетелей) пожара,

$\chi$ ;  $M_2$  – общая факторная производительность (среднестатистическое экспертное время, затраченное дознавателем на опрос очевидцев (свидетелей),  $\chi$ ;  $\gamma$  – коэффициент эластичности, учитывающий уровень и профиль образования должностного лица, производящего опрос (допрос);  $E$  – фактор, учитывающий стаж работы по расследованию пожаров;  $\beta$  – коэффициент эластичности, учитывающий возраст (возрастную группу) опрашиваемых;  $N$  – коэффициент, учитывающий количество опрашиваемых

(соответствует среднему количеству опрашиваемых).

Рассмотренные в данной статье вопросы посвящены зависимости возраста опрашиваемых на прогнозирование времени опроса очевидцев на месте пожара. В результате исследования была предложена классификация опрашиваемых по возрастным группам, с определением коэффициента эластичности, учитывающего их возраст.

### Литература

1. Алексеев А. М. Психологические особенности показаний очевидцев. М., 1972. С. 14–38.
2. Еникеев М. И. Юридическая психология. М., 2000. С. 204.
3. Порубов Н. И. Допрос. Минск, 1968. С. 32–33.
4. Баширова С. Г. Психологические основы получения показаний от малолетних свидетелей и потерпевших на предварительном расследовании: некоторые замечания и рекомендации // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2017. Т. 2. С. 104–109.
5. Саушкин С. А., Гришина Е. П. Проблемы обеспечения прав и законных интересов отдельных групп свидетелей // Адвокатская практика. 2002. № 6. С. 20–21.
6. Полстовалов О. В. Психолого-тактические основы диагностирования сообщаемой информации // Южно-уральские криминалистические чтения / под ред. Л. Л. Каневского. Уфа, 2000. Вып. 8. С. 107–124.
7. Шалыгина С. С. Проблема оценки беспомощного состояния в уголовном праве, уголовном процессе и судебной психиатрии // Интернет-конференция Сибирского юридического университета 05/05/2015. URL: <http://conf.omua.ru/content/problema-ocenki-bespomoshchnogo-sostoyaniya-v-ugolovnom-prave-ugolovnom-processe-i-sudebnoy>.
8. Коновалова В. Е. Правовая психология. Харьков, 1990. 198 с.
9. Бертовский Л. В. Особенности допроса лиц старших возрастных групп // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. 2020. Т. 24, № 4. С. 1100–1121.
10. Амиров Э. Ж. Допрос престарелых: некоторые уголовно-процессуальные и криминалистические аспекты // Интернет-конференция Сибирского юридического университета. 29/04/2015.
11. Карпов С. Ю., Прус Ю. В. Модель прогнозирования продолжительности сбора первоначальной информации на месте пожара функцией Кобба – Дугласа // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 1 (87). С. 93–106.

### References

1. Alekseev A. M. Psychological features of eyewitness testimony. M., 1972. P. 14–38.
2. Enikeev M. I. Legal psychology. M., 2000. P. 204.
3. Porubov N. I. Interrogation. Minsk, 1968. P. 32–33.
4. Bashirova S. G. Psychological bases of obtaining testimony from young witnesses and victims at the preliminary investigation: some comments and recommendations // Bulletin of the V. N. Tatishchev Volga State University. 2017. Vol. 2. P. 104–109.
5. Saushkin S. A., Grishina E. P. Problems of ensuring the rights and legitimate interests of individual groups of witnesses // Law practice. 2002. № 6. С. 20–21.
6. Polstovalov O. V. Psychological and tactical bases of diagnosing the transmitted information // South Ural forensic readings. Issue 8 / Ed. by L. L. Kanevsky. Ufa. P. 107–124.
7. Shalygina S. S. The problem of assessing the helpless state in criminal law, criminal procedure and forensic psychiatry // Internet Conference of the Siberian Law University 05/05/2015. URL: <http://conf.omua.ru/content/problema-ocenki-bespomoshchnogo-sostoyaniya-v-ugolovnom-prave-ugolovnom-processe-i-sudebnoy>.
8. Konovalova V. E. Legal psychology // Textbook for jurists. universities and fac. according to spec. «Jurisprudence» / V. E. Konovalova. Kharkiv: Osnova, 1990. 198 p
9. Bertovsky L. V. Features of the interrogation of persons of older age groups // Bulletin of the Peoples ' Friendship University of Russia. Series: Legal Sciences. 2020. Vol. 24. No. 4. Pp. 1100–1121.
10. Amirov E. Zh. Interrogation of the elderly: some criminal procedural and criminalistic aspects // Internet conference of the Siberian Law University. 29/04/2015.

11. Karpov S. Yu., Prus Yu. V. A model for predicting the duration of collecting initial information at the fire site by the Cobb – Douglas function // Technosphere security technologies. 2020. Issue. 1

УДК 614.844

nadin-0105@mail.ru

**ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ  
ВНУТРЕННЕГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА  
ПРИ НЕСКОЛЬКИХ ОДНОВРЕМЕННО ДЕЙСТВУЮЩИХ  
ПОЖАРНЫХ КРАНАХ**

**FEATURES OF TESTING FOR THE PERFORMANCE  
OF THE INTERNAL FIRE-FIGHTING WATER PIPE WITH SEVERAL  
SIMULTANEOUSLY OPERATING FIRE FUNCTIONS**

*Баранчикова Н. И., кандидат физико-математических наук,  
Национальный исследовательский Иркутский  
государственный технический университет, Иркутск,  
Епифанов С. П., кандидат физико-математических наук,  
ООО «Иркутский ремонтно-механический завод», Иркутск,  
Калинин И. С., Крышкин П. А., Цветков В. О.,  
УНД и ПР Главного управления МЧС России  
по Иркутской области, Иркутск*

*Baranchikova N., Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk,  
Epifanov S., Irkutsk Mechanical Repair Plant, Irkutsk,  
Kalinin I., Kryshkin P., Tsvetkov V.,  
Department of supervision and preventive work  
of the Main Directorate of the Ministry  
of Emergencies of Russia in the Irkutsk Region, Irkutsk*

В РФ на пожарах в жилых, общественных и производственных зданиях число погибших ежегодно составляет несколько тысяч человек, а материальный ущерб превышает 10 миллиардов рублей. Значительная часть людей гибнет при пожарах в зданиях, оборудованных внутренним противопожарным водопроводом, который используется крайне редко. Одной из причин такого положения является то, что внутренний противопожарный водопровод неработоспособен. Предлагается дополнить и несколько изменить существующую методику испытания внутреннего противопожарного водопровода для случая, когда при тушении пожара необходимо использовать две и более пожарные струи. В этом случае дополнительно к испытаниям на водоотдачу, которые можно провести только для одного пожарного крана, при требуемых нескольких одновременно действующих струях, необходимо провести гидравлические расчеты на водоотдачу с учетом результатов испытаний. При этом появляется реальная возможность моделировать самые тяжелые и маловероятные ситуации, которые при испытаниях практически воспроизвести невозможно. Если же в системе пожаротушения у пожарных кранов установлены дисковые диафрагмы, то объем испытаний значительно увеличивается, и получить объективную информацию о работоспособности системы пожаротушения затруднительно. Предлагаемый подход позволяет решить и эту проблему.

*Ключевые слова:* внутренний противопожарный водопровод, работоспособность, пожарный кран, пожарный ствол, водоотдача, гидравлический расчет, нефиксированный отбор, напор, давление.

In the Russian Federation, the number of people killed in fires in residential, public and industrial buildings annually amounts to several thousand people, and the material damage exceeds 10 billion rubles. A significant part of people die in fires in buildings equipped with an internal fire-fighting water supply system, which is rarely used. One of the reasons for this situation is that the internal fire-fighting water supply system is inoperative. It is proposed to supplement and somewhat change the existing method for testing the internal fire-fighting water supply, for the case when two or more fire jets must be used when extinguishing a fire. In this case, in addition to the fluid loss tests, which can be carried out only for one fire hydrant, when several simultaneously operating jets are required, it is necessary to carry out hydraulic calculations for fluid loss, taking into account the test results. In this case, a real opportunity appears to simulate the most difficult and unlikely situations, which are practically impossible to reproduce during testing. If disc diaphragms are installed in the fire extinguishing system at fire hydrants, then the volume of tests increases significantly, and it is difficult to obtain objective information about the performance of the fire extinguishing system. The proposed approach allows us to solve this problem as well.

*Keywords:* internal fire-fighting water supply, operability, fire hydrant, fire nozzle, water loss, hydraulic calculation, non-fixed selection, head, pressure.

За последнее годы число пожаров в РФ ежегодно превышает 100000, погибших – более 8000 человек, а материальный ущерб составляет не менее 12 млрд рублей в год. Значительные сложности возникают при тушении возгораний в высотных зданиях и многофункциональных комплексах, которые оборудованы всеми необходимыми системами пожаротушения, в том числе и внутренним противопожарным водопроводом (ВПВ). Применение ВПВ происходит крайне редко, более того наблюдается тенденция к снижению его применения. Так, ВПВ, объединенный с хозяйственно-питьевым водопроводом, в 2005 г. использовался всего в 9 % случаев возгораний [1], а специальный ВПВ применяется еще реже. И причин тому несколько:

1) неспособность находящихся в здании людей (в том числе проживающих) организовать эффективное тушение возгорания;

2) ВПВ, как специальный, так и совмещенный, часто находятся в неработоспособном состоянии.

Причины, по которым ВПВ оказывается в неработоспособном состоянии, могут быть различными:

а) снизилось гарантированное давление на вводе в здание вследствие изменения режимов работы и параметров наружных сетей водопровода;

б) существенно изменилась структура расходов воды в здании;

в) не проводились либо проводились формально и в неполном объеме испытания ВПВ на работоспособность (водотдачу);

г) не подвергались испытаниям клапаны пожарных кранов, пожарные насосные установки, пожарные рукава;

д) разукomплектованы пожарные краны (ПК);

е) для зданий старой постройки гидравлические расчеты проводились на основе нормативных документов, которые претерпели к настоящему времени существенные изменения или заменены;

ж) расходы воды через пожарные стволы оказываются существенно ниже (иногда выше) нормативных значений (табл. 1 [2]);

з) на основании некорректно выполненных гидравлических расчетов принимаются ошибочные решения о его совершенствовании [3, 4].

Для увеличения числа случаев применения ВПВ при тушении возгораний необходимо выполнение трех условий:

1) организовать на постоянной основе обучение, тренировки и проверки по использованию ВПВ;

2) обеспечить защиту участвующих в тушении пожаров защитными средствами (самоспасатель фильтрующий портативный и др.);

3) ВПВ всегда должен быть работоспособен.

Основной задачей эксплуатирующего ВПВ персонала является поддержание его в состоянии, позволяющем в любой момент времени обеспечить подачу требуемых расходов огнетушащего вещества к очагам возгорания, возникающим в здании.

Для выполнения этой задачи необходимо:

1) определять минимальное давление на вводе и максимальные расходы воды в здании на хозяйственно-питьевые и технологические нужды и соответствие их проекту;

2) проводить два раза в год (весной и осенью) испытание ВПВ на водоотдачу.

В [5] изложена методика испытаний ВПВ на работоспособность (водоотдачу), в которой есть несколько нюансов, не позволяющих, иногда (при одновременном действии нескольких пожарных кранов) корректно оценить состояние ВПВ.

1. Согласно п. 2.9 [5] проверять работоспособность необходимо при минимальном давлении в наружной водопроводной сети. Во-первых, такое давление в наружной сети может не совпадать по времени с максимальным расходом на хозяйственно-питьевые и/или технологические нужды в здании при совмещенном ВПВ. Во-вторых, максимальные расходы в наружных водопроводных сетях наблюдаются в декабре-январе (новогодние праздники), а испытания предлагается проводить в осенне-весенний период при температуре не ниже 5 °С.

2. При наличии более 12 пожарных кранов в системе ВПВ предусматривается не менее двух вводов водопровода. При этом давление на вводах может быть разным, поэтому целесообразно испытания проводить при отключенном вводе с наибольшим давлением или поочередно.

3. Измерение давления необходимо производить манометрами с диапазоном измерения от 0 до 2,5 (4) бар и классом точности не выше 1, так как при рекомендуемых диапазонах от 0 до 6 (10) бар [5, п. 3.1], измеряемые величины могут находиться вне (слева) рабочего диапазона манометра, что повлечет существенные погрешности в измерении и, как следствие, может привести к неверным выводам о работоспособности ВПВ. Давление, с учетом погрешности манометра, – его нижняя граница, определяется по формуле:

$$p_{ПК} = p_{ПК}^* - \Delta, \quad p_{ПС} = p_{ПС}^* - \Delta,$$

где  $p_{ПК}$  ( $p_{ПС}$ ) – нижняя граница доверительного интервала давления после клапана ПК (перед ПС);  $p_{ПК}^*$ ,  $p_{ПС}^*$  – измеренное давление перед ПК, после ПС, соответственно;  $\Delta$  – абсолютная погрешность манометра.

Абсолютная погрешность манометров для рабочего и нерабочего диапазонов может отличаться в несколько раз, поэтому целесообразно при испытаниях использовать манометры с разными рабочими диапазонами либо двухдиапазонные.

Система ВПВ работоспособна, если выполняется неравенство для всех задействованных ПК:

$$p_{ПК} \geq \underline{p}_{ПК},$$

где  $\underline{p}_{ПК}$  – давление перед ПК, при котором обеспечивается требуемая производительность пожарной струи.

4. В [5] (п. 4.2.4) испытание на водоотдачу предписывается проводить на диктующем ПК и на каждом верхнем ПК всех стояков. Если требуется одновременное действие нескольких пожарных струй,

то включать необходимо соответствующее количество ПК, располагающихся этажом ниже по стояку и/или на смежных стояках. Давление требуется измерять только у диктующего ПК (ДПК). У каждого ПК должно находиться по два испытателя. Если действующих струй четыре, то необходимое количество испытателей только у ПК – 8 человек. Кроме того, необходим координатор (руководитель) испытаний.

В методике не предлагается измерять давление: на вводе, перед пожарной насосной установкой и после нее, а также оценивать расход на хозяйственно-питьевые или технологические нужды. Но давление на вводе в иные периоды времени года и суток могут существенно отличаться (на 1,5–2 бар) от давления на вводе при проведении испытаний. Поэтому представляется целесообразным обязательно измерять давление на вводе водопровода, который участвует в испытаниях (это позволит оценить пропускную способность ввода от наружной сети до водомерного узла), а также до и после пожарной насосной установки (ПНУ).

Перед проведением испытаний на водоотдачу необходимо открыть обводную линию на задействованном вводе, удалив контрольную пломбу. Необходимо поочередно использовать вводы при испытаниях, если их несколько.

Расход воды на нужды, не связанные с пожаротушением, во время испытаний часто измерить невозможно, а он может быть сопоставим с расходом через действующие ПК [3].

Учитывая возникающие сложности при организации испытаний на водоотдачу при двух и более задействованных ПК, можно использовать альтернативный вариант испытаний на водоотдачу.

Испытание на водоотдачу ВПВ, когда требуется использовать две и более пожарные струи, можно проводить в следующем порядке.

1. После открытия обводной линии на вводе, задействованном в испытаниях,

включить ПНУ и открыть клапан диктующего ПК. Измерить давление на вводе ( $p_{вв}$ ), до и после ПНУ  $p_{вн}$ ,  $p_{нн}$ , соответственно, у клапана ДПК ( $p_{дпк}$ ) или у пожарного ствола ( $p_{пс}$ ). Если нет возможности с достаточной точностью измерить расход на хозяйственно-питьевые или технологические нужды, то на время испытаний их желательно отключить.

2. Аналогичный порядок действий необходимо выполнить для всех ПК на верхнем этаже здания, а также и для самого близко расположенного к ПНУ пожарного крана. Важно, чтобы в процессе испытаний были задействованы (происходило движение воды) все участки ВПВ, то есть по каждому из участков происходило движение воды хотя бы в одном из испытаний любого ПК.

3. Произвести гидравлические расчеты для вариантов испытаний в п. 1,2. Расчеты необходимо проводить с нефиксированными отборами [6]. Исходными данными являются:  $p_{вв}$ , схема ВПВ, длины и диаметры расчетных участков, марка насоса, тип пожарного рукава и ствола, отметка расположения ДПК (ПК), расходы на хозяйственно-питьевые или технологические нужды (если не отключены потребители).

4. Если результаты испытаний ( $p_{дпк}^*$  или  $p_{пк}^*$ ) и гидравлического расчета ( $p_{дпк}$  или  $p_{пк}$ ) отличаются незначительно, то необходимо добиться их совпадения, меняя (увеличивая) эквивалентную шероховатость трубопроводов (зависит от срока службы ВПВ, качества воды). Если результаты разнятся существенно, то необходимо найти несоответствие между схемой ВПВ и системой (возможно перекрытие запорных органов, ошибка в диаметрах или длинах участков), после чего повторить расчеты. При достижении разницы в результатах менее погрешности манометра (0,05 бар) по всем стоякам, то можно считать, что гидравлическая модель откалибрована.

5. Выполнить гидравлические расчеты с нефиксированными отборами при включении такого количества ПК, которое определено проектом или [2] начиная со стояка, на котором расположен ДПК. На вводе необходимо задать гарантированное давление  $p_{вв}$ , которое будет обеспечено в любой период времени при максимальном расходе в здании. Расход воды на хозяйственно-питьевые или технологические нужды необходимо принять максимальным (за весь период эксплуатации). При испытаниях такое сочетание входных параметров обеспечить практически невозможно. При наличии ПНУ произвести гидравлический расчет для ПК, ближайших к ней, чтобы определить, находится ли рабочая точка в рабочем диапазоне напорной характеристики насоса.

6. При наличии диафрагм перед ПК, на первом сверху этаже, где установлены диафрагмы одного размера, самый дальний от ПНУ пожарный кран является тоже диктующим. В этом случае необходимо производить испытания на водоотдачу для каждой группы одновременно действующих (в дальнейшем, – Группы) ПК согласно п. 1. После чего, выполнив гидравлические расчеты, согласно п. 5 [7], сравнить результаты испытаний и расчетов.

7. В случае, когда давление  $p_{днк}$  или  $p_{пк}$  обеспечивают минимальный расход пожарной струи из всех задействованных ПК Группы при возникновении пожара в любом месте здания, а рабочая точка ПНУ находится в рабочем диапазоне характеристики насоса, ВПВ считается работоспособным.

В последнее время при испытаниях на водоотдачу широко применяют различные типы гидротестеров российского и иностранного производства. Обычно это несколько насадков или пожарный ствол (может быть с манометром), рукав (несколько метров, обычно метр), манометр с диапазоном от 0 до 10 бар, кран шаровый (если ствол не перекрывной). В паспорте приводится таблица соответствия давления перед насадком и расхода через него.

По сути это зависимость расхода через пожарный ствол от давления (напора) перед ним при известной проводимости пожарного ствола соответствующего диаметра:

$$q = k\sqrt{H},$$

где  $q$  – расход через пожарный ствол, л/с;  $k$  – проводимость пожарного ствола, л/(с·м<sup>0.5</sup>), например, для РС-50  $k = 0,891$  л/(с·м<sup>0.5</sup>);  $H$  – напор перед пожарным стволом,  $H = p_{пк}/\rho g$ , давление  $p_{пк}$ , Па,  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Чтобы определить давление перед клапаном ПК, необходимо добавить к измеренному давлению у ствола (гидротестера), потери давления в пожарном рукаве соответствующей длины и диаметра испытываемого ВПВ. Фактически испытания с гидротестером не позволяют учитывать потери давления (напора) в пожарном рукаве, так как длина пожарного рукава может иметь разную длину и диаметр, то есть погрешность в определении расхода через ПК определяется разностью гидравлических сопротивлений пожарного рукава и рукава с запорным устройством гидротестера. Такая замена чаще приводит к завышению расхода против фактического через ПК, то есть испытания с использованием гидротестеров не эквивалентны испытаниям со штатными пожарными рукавами и стволами (погрешность может достигать 0,1–0,4 л/с); погрешность измерений манометрами с большим диапазоном тоже вносит ошибки в определение параметров водоотдачи.

Гидравлический расчет совмещенного и специального ВПВ можно выполнить с помощью программного комплекса «ИСИГР» (Интернет-Система Гидравлических Расчетов, см. 51.isem.irk.ru), предназначенного для моделирования режимов систем водоснабжения, в том числе и ВПВ, произвольной структуры и конфигурации



(многоконтурной, древовидной) с фиксированными и нефиксированными отборами [8]. ИСИГР позволяет учесть все местные сопротивления и изменение в процессе эксплуатации шероховатости трубопроводов, то есть производить калибровку системы. Комплекс предоставляет возможность выполнять расчеты в любое время, в любом месте и любому числу пользователей при наличии подключения к Интернету и стандартному веб-обозревателю без установки прикладного программного обеспечения и может использоваться специалистами эксплуатирующих организаций и надзорных органов. Программа не требует приобретения и может использоваться организациями, у которых нет необходимости приобретения мощных и дорогостоящих программных инструментов для проведения разовых расчетов. Наглядный графический интерфейс пользователя, простота создания и редактирования расчетной схемы сети и данных существенно сокращают время на обучение и применение программы.

В качестве заключения отметим:

1. Оценку работоспособности совмещенного и специального внутреннего противопожарного водопровода при числе пожарных струй две и более провести синхронно технически непросто и особенно

получить достоверные результаты. В этом случае необходимо дополнительно проводить калибровку гидравлической модели системы ВПВ, после чего, выполнив гидравлические расчеты при расчетном количестве пожарных струй, минимально возможном давлении на вводе и максимальном водопотреблении в здании, можно реалистично оценить работоспособность ВПВ.

2. При наличии диафрагм в системах внутреннего противопожарного водопровода число диктующих пожарных кранов равно числу диафрагм с различными внутренними диаметрами, что предполагает увеличение объема работ при испытаниях на водоотдачу.

3. При испытаниях на работоспособность пожарных кранов необходимо оценивать не только производительности всех одновременно действующих пожарных струй (при возникновении пожара в как в самой удаленной точке от насосной установки, так и в самой близкой) и давление после каждого пожарного клапана либо перед пожарными стволами, но и при наличии пожарной насосной установки подачу насоса, давление до и после него и расходы на хозяйственно-питьевые или технологические нужды.

#### Литература

1. Тербнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В. Пожаротушение в жилых и общественных зданиях. М., 2009. 207 с.
2. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний водопровод. Требования пожарной безопасности. М., 13 с.
3. Чибинев Н. Н., Середина А. В., Пашкова И. А. Совершенствование внутреннего противопожарного водоснабжения в студенческих общежитиях // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 10.
4. Баранчикова Н. И., Елифанов С. П., Калинин И. С. Актуализация систем внутреннего противопожарного водопровода // Техносферная безопасность. 2021. № 1 (30).
5. Методика испытаний внутреннего противопожарного водопровода СТО – НСОПБ– 24/ВОД. М., 2010. 30 с.
6. Баранчикова Н. И. и др. Гидравлический расчет установок автоматического пожаротушения, совмещенных с внутренним противопожарным водопроводом // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 10.
7. Баранчикова Н. И., Елифанов С. П. Расчет дисковых диафрагм в системах внутренних противопожарных водопроводов // Сантехника. 2020. № 6.
8. Михайловский Е. А. Моделирование гидравлических режимов работы водяных систем пожаротушения в сети Интернет // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 5.

**References**

1. Terebnev V. V., Artemiev N. S, Podgrushny A. V. Firefighting in residential and public buildings: a textbook. M., 2009. 207 p.
2. SP 10.13130.2009. Fire protection systems. Internal water supply. Fire safety requirements. M., 13 p.
3. Chibinev N. N., Seredina A. V., Pashkova I. A. Improvement of internal fire-fighting water supply in student dormitories // Water supply and sanitary engineering. 2019. № 10.
4. Baranchikova N. I., Epifanov S. P., Kalinin I. S. Updating the internal fire-fighting water supply systems // Technosphere Safety. 2021. № 1 (30).
5. Methods for testing the internal fire-fighting water supply system STO - NSOPB– 24 / VOD. M., 2010. 30 p.
6. Baranchikova N. I. et al. Hydraulic calculation of automatic fire extinguishing installations combined with internal fire water supply // Water supply and sanitary engineering. 2019. № 10.
7. Baranchikova N. I., Epifanov S. P. Calculation of disc diaphragms in internal fire-fighting water supply systems // Plumbing, 2020. № 6.
8. Mikhailovsky E. A. Modeling of hydraulic operating modes of water fire extinguishing systems on the Internet // Water supply and sanitary engineering. 2020. № 5.

**ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО УЧЕТА ПОЖАРОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ****FEATURES OF STATISTICAL ACCOUNTING  
OF FIRES OF RUSSIA**

*Майстренко Е. В., доктор биологических наук,  
Жогаль У. В., Сургутский государственный университет, Сургут,  
Юдичев А. А., Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Maistrenko E., Zhogal U.,  
Surgut State University, Surgut,  
Udichev A., the Ural Institute of State Firefighting Service  
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье рассмотрены особенности статистического учета пожаров и последствий от них на территории Российской Федерации. Авторами обращено внимание на разные критерии в учете пожаров и вносимые изменения в течение последних десятилетий. Выделены четыре периода в современной истории пожарной охраны России, показаны отличия условий учета статистики пожаров. Доказана низкая достоверность при проведении научных исследований, которые основываются на сравнении статистических показателей по учету пожаров и их последствий в разных исторических периодах. При этом необходимость проведения анализа на основе статистических данных никуда не исчезает. Наоборот, управленческие решения в области пожарной безопасности, разработка форм и методов защиты людей от воздействия опасных факторов пожара, защита зданий и сооружений от возникновения пожара требуют новых решений. С этой целью авторами предлагается объединить в третьем историческом периоде такие понятия, как «пожар» и «загорание», и анализировать их суммарно. Предлагается ввести критерий «воздействие опасных факторов пожара на человека», объединив два понятия, такие как «гибель людей» и «количество пострадавших людей» на пожарах.

*Ключевые слова:* учет пожаров, статистика пожаров, безопасность, пожар, пожарная безопасность.

The article considers the features of statistical accounting of fires and their consequences on the territory of the Russian Federation. The authors pay attention to the different criteria in the accounting of fires and introduced modifications during the last decades. In modern history of Russian fire service highlighted four periods, the differences are shown in the conditions for accounting of fire statistics. Low confidence proved in the conduct scientific research, which are based on a comparison of statistical indicators for accounting for fires and their consequences in different historical periods. At the same time, necessity conducting the analysis based on statistical data doesn't disappear anywhere. Conversely, management decisions in the field of fire safety, the development of forms and methods for protecting people from the effects of dangerous fire factors, and the protection of buildings and structures from the outbreak of fire require new solutions. To this end, the authors propose to combine in the third historical period such concepts as «fire»

and «tanning» and analyze them in total. It is proposed to introduce the criterion «exposure to hazardous factors of fire on a person», combining two concepts, such as «loss of life» and «number of people injured» in fires.

*Keywords:* fire accounting, fire statistics, safety, fire, fire safety.

Все мы знаем, что такое пожар, можем его себе представить, но только человек, видевший это своими глазами, может прочувствовать, что скрывается за определением этого понятия. Это не только неконтролируемый процесс горения, но и прежде всего, последствия от него – материальный ущерб, травмирование и гибель населения.

Защита населения от пожаров и их последствий является одним из наиболее важных приоритетов государства.

В ст. 4 Федерального закона [1] определены основные задачи подразделений пожарной охраны:

- организация и осуществление профилактики пожаров;
- спасение людей и имущества при пожарах, оказание первой помощи;
- организация и осуществление тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

При организации и осуществлении профилактики пожаров немаловажную роль играет статистика пожаров и последствий от них. Вся научная база для определения актуальности проблем обеспечения пожарной безопасности, а также выработки решений в этой области на государственном уровне опирается, в первую очередь, на статистические данные.

Для понимания происходящих изменений в подходе к учету статистики пожаров, нужно проанализировать их за последние три десятка лет:

- 1) с 1993 по 2001 гг.;
- 2) с 2002 по 2008 гг.;
- 3) с 2009 по 2018 гг.;
- 4) с 2019 года по настоящее время.

Выбор именно таких отрезков времени не случаен. В первом отрезке времени статистика пожаров и последствий не претерпела изменений после распада СССР.

Начиная же с 1 января 2002 г. в соответствии с Указом Президента РФ [2] подразделения государственной противопожарной службы (далее – ГПС) МВД РФ, имеющие 300-летнюю историю становления, преобразуются и фактически передаются в ведение недавно сформированного министерства – МЧС РФ. Вследствие достаточно быстро принятого и реализованного Указа Президента РФ, в подразделениях ГПС происходит отток опытных и подготовленных кадров. Этот период отразился и на статистике пожаров. Сравнивая показатели 2001 и 2002 г., мы видим, что при снижении населения в РФ со 144 млн. чел. до 143,1 млн чел. [3] произошел рост числа пожаров с 251 тыс. до 257 тыс. (увеличение на 2,3 %). При этом последствия от пожаров оказались еще более заметны по такому показателю, как гибель людей на пожарах: с 18289 человек до 19906 человек (увеличение на 8,1 %). В этот же временной период (до 2008 года) происходят первые значимые изменения в порядке статистического учета, сокращается срок учета погибших, вследствие воздействия на них опасных факторов пожара с 30 до 14 суток с момента пожара. При этом в рамках ведомственного статистического учета пожаров и последствий от них, например, при пожарах на объектах МВД РФ, такой временной критерий, наоборот, увеличивается до 90 суток [6].

Переходя к третьему анализируемому периоду необходимо указать, что из всех рассматриваемых в статье этот период является наиболее неоднозначным. Так, с 2009 г. вступает в силу документ «Порядок учета пожаров и их последствий» [5]. В соответствии с его п. 4 и пп. 10, 14 вводится новое понятие «загорание», что, в свою очередь, приводит к фактическому разделению понятия «пожар» на две самостоя-

тельные категории. При этом никак не регламентируется органами дознания порядок перевода происшествия из одной категории в другую и обратно. То есть интерпретация статистических исследований, основанных на таких показателях, как количество пожаров, становится некорректной.

В п. 24 «Порядка учета пожаров и их последствий» [5] также определяется, что на учет «берутся все обнаруженные на пожаре тела (останки, фрагменты тел) погибших людей, смерть которых наступила в результате воздействия опасных факторов пожара и (или) сопутствующих проявлений опасных факторов пожара, падения с высоты, возникновения паники». При этом убран срок, в течение которого при наступлении гибели, случай подлежал бы статистическому учету.

Представим себе ситуацию: пожарные подразделения проводят действия по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, в ходе которых обнаружен человек без признаков жизни. Его извлекают с места пожара для оказания первой помощи и проведения реанимационных мероприятий прибывшей бригадой медиков. В дальнейшем врач констатирует гибель человека. В этом случае, с момента, когда пострадавшего передали в руки медицинских работников, человек уже не подлежал статистическому учету как погибший на пожаре.

На пожарах, как правило, чаще всего пострадавшие получают ожоги. В медицинской литературе присутствует такое понятие, как «ожоговая болезнь», она развивается в случаях, когда человеком получено более 10–15 % поражения тела глубокими ожогами. И соответственно, при течении ожоговой болезни выделяют 4 периода:

- 1) ожоговый шок – продолжительностью до 3–5 суток;
- 2) острая ожоговая токсемия – 5–10 сутки;
- 3) септикотоксемия – с 11 суток до полного заживления ран;

4) период реконвалесценции [7].

Как мы видим, гибель человека от опасных факторов пожара может наступить в длительном периоде от времени изначального воздействия на организм человека.

По статистическим показателям по количеству пожаров в 2009 г. в Российской Федерации произошло снижение пожаров по сравнению с 2008 г., с 202 тыс. до 187,6 тыс. (снижение на 7,1 %), также произошло и снижение гибели людей на пожарах с 15301 человека до 13946 человек (снижение на 8,9 %), при этом возросло количество травмированных людей с 12887 человек до 13269 человек (увеличение на 3 %) [8].

В 2018 г. были внесены очередные изменения в «Порядок учета пожаров и их последствий». С 2019 г. было исключено понятие «загорание» и увеличен срок, в течение которого при наступлении гибели пострадавший стал подлежать статистическому учету – до 30 суток. Исходя из этого, провести корректный статистический анализ по пожарам и последствиям от них, сравнивая 2018 и 2019 г., не представляется возможным.

По статистическим данным из государственного доклада по итогам 2019 г. [9], на территории Российской Федерации можно выделить такие показатели, как:

- количество пожаров – 471246 пожаров (в 2002 г. – 257 тыс.);
- гибель людей на пожарах – 8559 человек (в 2008 г. – 15301 чел.);
- пострадало на пожарах – 9461 человек (в 2009 г. – 13269 чел.).

Как мы видим, проблема обеспечения пожарной безопасности на территории РФ остается весьма актуальной, но при этом некорректно опираться на отдельные статистические данные по пожарам в длительных периодах (более чем в несколько лет) из-за частого внесения изменений в порядок их учета.

Однако необходимость проведения анализа на основе статистических данных

никуда не исчезает, а наоборот, управленческие решения в области пожарной безопасности, разработка форм и методов защиты людей от воздействия опасных факторов пожара, защита зданий и сооружений от возникновения пожара требуют все более новых решений (табл. 1).

В связи с этим, для более четкого понимания динамики пожаров и последствий от них на территории России, предлагается:

– ввести критерий «воздействие опасных факторов пожара на человека», объединив два понятия – «количество погибших» и «количество пострадавших людей на пожарах»;

– объединить два критерия, такие как «пожар» и «загорание» в третьем рассматриваемом историческом периоде (2009–2018 гг.).

Таблица 1  
Сравнительные статистические данные по пожарам за период 2003–2019 гг.

Год	Пожары, шт.	Загорания, шт.	Пожар и загорания, шт.	Количество погибших, чел.	Количество пострадавших, чел.	Воздействие ОФП на человека, чел.
2003	232900	не применялось	-	19303	14032	33335
2004	233200	не применялось	-	18868	13806	32674
2005	229800	не применялось	-	18412	13362	31774
2006	220500	не применялось	-	17238	13554	30792
2007	212600	не применялось	-	16066	13688	29754
2008	202000	не применялось	-	15301	12887	28188
2009	187571	362265	519836	13946	13269	27215
2010	179533	419405	595002	13070	13117	26187
2011	168533	323687	492220	12019	12516	24535
2012	162919	339084	502003	11652	12229	23881
2013	153466	276485	429951	10601	11132	21733
2014	152695	436958	583170	10138	10977	21115
2015	145686	385696	531382	9405	10962	20367
2016	139475	301218	434062	8749	9905	18654
2017	132844	*	*	7816	9355	17171
2018	131840	*	*	7909	9642	17551
2019	471246	понятие «загорание» отменено	-	8559	9461	18020

\* данные в свободном доступе отсутствуют

Выводы, которые можно сделать, исходя из данных табл. 1:

– в 2018 и 2019 г. происходит рост числа людей, на которых воздействовали опасные факторы пожара (гибель и травмирование) на 2,17% и 2,6% соответственно;

– средний показатель суммированных данных о пожарах и загораниях за 8

лет (2009–2016гг.) составил 510953 шт., что отличается от данных по пожарам за 2019 год всего на 7,8 %;

– с 2009 г. происходит увеличение числа травмированных людей на пожаре при заметном снижении числа погибших, изменение этих показателей наглядно отражены на рис.

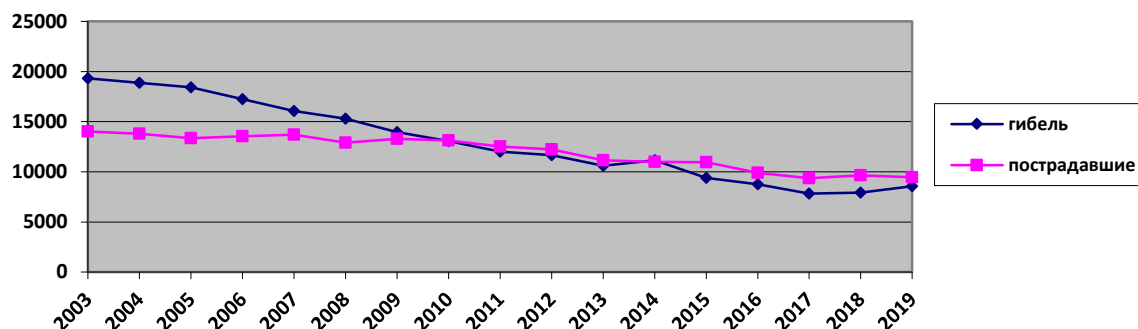


Рисунок. Динамика изменения числа погибших и пострадавших

В рассматриваемом третьем историческом периоде были приняты некоторые управленческие решения в области обеспечения пожарной безопасности, такие как:

- с 2003 г. строгое разделение сотрудников федеральной противопожарной службы на осуществляющих функцию пожаротушения и осуществляющих функцию государственного пожарного надзора;

- с 2004 г. реформа градостроительного законодательства, а именно, с 1 января 2007 г. упразднены полномочия, касающиеся осуществления органами государственного пожарного надзора мероприятий по контролю за проектированием, строительством и приемкой в эксплуатацию объектов капитального строительства, а также отменено лицензирование деятельности организаций, выполняющих проектные работы посредством обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений и квалификационные требования к их работникам;

- с 2011 г. полномочия по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий в области пожарной безопасности и контролю за деятельностью аккредитованных лиц от МЧС России переданы в Федеральную службу по аккредитации.

Исходя из неоднозначных выводов по этим управленческим решениям, а также в целях контроля за обстановкой с пожарами и последствиями от них на территории России, авторы считают, что необходимо обратить внимание на динамику таких показателей учета пожаров и последствий от них, как:

- количество пожаров с большим материальным ущербом (более 3420 МРОТ);

- материальный ущерб как суммарно от всех пожаров, так и средний от 1 пожара;

- количество случаев массовой гибели на пожарах (более 5 человек);

- количество случаев массового травматизма (более 10 человек).

#### Литература

1. Федеральный закон от 22.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Указ Президента РФ от 09.11.2001 № 1309 «О совершенствовании государственного управления в области пожарной безопасности».
3. Российский статистический ежегодник. 2003: стат. сб. / Госкомстат России. М., 2003. 705 с.
4. Приказ МВД РФ от 13 мая 2003 г. № 320 «Об утверждении Инструкции по учету пожаров и их последствий на объектах системы МВД России».
5. Приказ МЧС РФ от 21 ноября 2008 г. № 714 «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий».
6. Приказ МЧС России от 8 октября 2018 г. № 431 «О внесении изменений в Порядок учета пожаров и их последствий», утв. приказом МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714.

7. Клинические рекомендации по оказанию медицинской помощи пострадавшим с термической травмой в чрезвычайных ситуациях. ФГБУ «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Минздрава России», ФГБУ «Институт хирургии им. А. В. Вишневского» Минздрава России. М., 2015. 26 с.

8. Пожары и пожарная безопасность в 2009 г.: стат. сб. / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2010. 135 с.

9. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 г.: государственный доклад. М., 2020. 259 с.

#### References

1. Federal'nyj zakon ot 22.12.1994 № 69-FZ «O pozharnoj bezopasnosti».

2. Ukaz Prezidenta RF ot 09.11.2001 № 1309 «O sovershenstvovanii gosudarstvennogo upravleniya v oblasti pozharnoj bezopasnosti».

3. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik. 2003: stat.sb. / Goskomstat Rossii. М., 2003. 705 p.

4. Prikaz MVD RF ot 13 maya 2003 g. № 320 «Ob utverzhdenii Instrukcii po uchetu pozharov i ih posledstvij na ob"ektah sistemy MVD Rossii».

5. Prikaz MCHS RF ot 21 noyabrya 2008 g. № 714 «Ob utverzhdenii Poryadka ucheta pozharov i ih posledstvij».

6. Prikaz MCHS Rossii ot 8 oktyabrya 2018 g. № 431 «O vnesenii izmenenij v Poryadok ucheta pozharov i ih posledstvij», utv. prikazom MCHS Rossii ot 21 noyabrya 2008 g. № 714.

7. Klinicheskie rekomendacii po okazaniyu medicinskoj pomoshchi postradavshim s termicheskoj travmoj v chrezvychajnyh situacijah. FGBU «Vserossijskij centr mediciny katastrof «Zashchita» Minzdrava Rossii», FGBU «Institut hirurgii im. A. V. Vishnevskogo» Minzdrava Rossii Moskva, 2015 g. 26 p.

8. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2009 g.: stat. sb. / pod obsh. red. N. P. Kopylova. М., 2010. 135 p.

9. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennoho haraktera v 2019 g: gosudarstvennyj doklad. М., 2020. 259 p.



УДК 614.8.01:51-7

chistanal@rambler.ru

**ЭЛЕМЕНТЫ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ РАЗБИЕНИИ  
НАСЕЛЕНИЯ НА ГРУППЫ РИСКА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ОБУЧЕНИИ,  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРОПАГАНДЕ И АГИТАЦИИ**

**ELEMENTS OF A RISK-BASED APPROACH TO DIVIDING  
THE POPULATION INTO RISK GROUPS USED IN TRAINING,  
FIRE PREVENTION PROPAGANDA AND AGITATION**

*Прус Ю. В., доктор физико-математических наук, профессор,  
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, Москва,  
Чистяков А. А., кандидат технических наук,  
Академия Государственной противопожарной службы  
МЧС России, Москва,  
Володченкова В. В., Чистякова А. А., Володченков Р. Б.,  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны МЧС России», Балашиха*

*Prus Yu., the Federal State Budgetary Research Institute of State Emergency Situations  
(FCS) of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow,  
Chistyakov A., Academy of the State Fire Service  
of EMERCOM of Russia, Moscow,  
Volodchenkova V., Chistyakova A., Volchenkov R., All-Russian Research Institute of  
Fire Defense of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Проанализированы подходы к проведению противопожарной агитации, пропаганды и обучения среди населения, организация и проведение которых должно быть построено на основе учета психофизиологических особенностей населения, распределенного по группам риска. При этом применение риск-ориентированного подхода позволит добиться снижения финансовых затрат при оптимальном использовании трудовых и материальных ресурсов, позволит повысить эффективность работы в области противопожарной пропаганды, агитации и обучения.

*Ключевые слова:* группы риска населения, пожарная безопасность, наглядная агитация, пропаганда, обучение, символ, знаки, цвет.

The approaches to conducting fire-fighting agitation, propaganda and training among the population are analyzed, the organization and conduct of which should be based on taking into account the psychophysiological characteristics of the population distributed by risk groups. At the same time, the use of a risk-based approach will allow to achieve a reduction in financial costs with the optimal use of labor and material resources, will increase the efficiency of work in the field of fire prevention propaganda, agitation and training.

*Keywords:* population risk groups, fire safety, visual agitation, propaganda, training, symbol, signs, color.

На основе предложенного авторами [1] существует следующее распределение объектов защиты (населения) по группам

риска, учитывающее возрастную классификацию, трудоспособность, различие по половым признакам, месту проживания, физическим параметрам (рис. 1).



Рисунок 1. Разбиение население по группам риска

У представителей четырех групп риска существует вероятность подвергнуться наступлению пожароопасных событий, на которую влияют их психофизиологические и возрастные особенности.

В соответствии с [1] компоненты  $s_{lm}^k$  матрицы оператора  $S_j^{ki}$  характеризуют

уязвимость объекта  $o_j$  к негативному воздействию  $k$  и представляют условные вероятности наступления последствий  $m = \{1, \dots, M\}$  в зависимости от исходного состояния объекта защиты  $l = \{1, \dots, L\}$ , основываясь на анализе данных о пожарах и их последствиях из [2].

$$S_j^{ki} = \begin{pmatrix} s_{11}^k & \dots & s_{1M}^k \\ \vdots & & \vdots \\ s_{L1}^k & \dots & s_{LM}^k \end{pmatrix}$$

Таким образом, учитывается исходное состояние объекта защиты с целью снижения влияния опасных факторов пожара. При этом одним из элементов воздействия на объект защиты является организация и осуществление противопожарной агитации.

Задача наглядной агитации, пропаганды и обучения заключается в том, чтобы включить максимально возможное число людей в процессе формирования

установок безопасного поведения и соблюдения правил пожарной безопасности на основе распределения их по группам риска.

Психологические и возрастные особенности поведения 1 группы риска обуславливает организацию и проведение работы по привитию навыков пожаробезопасного поведения с использованием следующих форм проведения занятий (табл. 1).

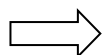
Таблица 1  
Формирование основ пожаробезопасного поведения 1 группы риска

Цель	Задачи	Формы занятий
<b>Дошкольный возраст</b>		
Развитие знаний об огне, пожаре	Изучение свойств огня и причин возникновения пожаров. Работа с иллюстрациями на тему пожара	Беседа, чтение художественных произведений, рассматривания

		вание иллюстраций, тренировка эвакуации в игровой форме
<b>Школьный возраст</b>		
Знакомство с профессией пожарного	Формирование знаний: – о различных видах пожарной техники; – о повседневной работе пожарных; – о взаимодействии специально созданных экстренных служб	Чтение художественных произведений, экскурсии в музей или на выставку пожарной части, организация детской выставки на пожарную тематику, противопожарную тематику, досуговые мероприятия на противопожарную тематику, беседы, проведение дидактических игр, проведение сюжетно-ролевых игр
Совершенствование имеющихся знаний о пожарной опасности	Изучение опасных факторов пожара. Изучение горючести предметов и источников повышенной пожарной опасности. Изучение основных правил пожарной безопасности	Практические занятия: – творческие задания: «Что бы ты сделал...», «Закончи историю», «Перескажи историю»; – загадки на противопожарную тематику, конкурс детских рисунков и приложений, проведение различных игр; – рассказы по плакатам; – песни, стихи на противопожарные темы
<b>Подростковый возраст</b>		
Совершенствование навыков поведения при пожаре	Формирование практических навыков по соблюдению личной безопасности, эвакуации из жилого помещения. Порядок действий при возникновении пожара. Правила эвакуации. Изучение . знаков пожарной безопасности. Формирование умений применять первичные средства пожаротушения	Моделирование проблемных ситуаций, изучение планов помещений, анализ знаков пожарной безопасности: виды, расшифровка, места размещения, предназначение; просмотр фильмов, беседы, демонстрация по применению средств защиты и тушения пожаров, тренировки по использованию средств индивидуальной защиты и пожаротушения, тренировки по эвакуации из здания

Для представителей 2 и 4 групп риска в целях распространения необходимых сведений наиболее эффективным яв-

ляется применение современных технических средств массовой информации (рис. 2) [3]:



наружные (располагаемые вне помещений) наземные отдельно стоящие светодиодные панели на собственной опоре (Г-образной или П-образной формы) размером экрана от 12 до 60 кв. м и энергопотреблением до 30 кВт

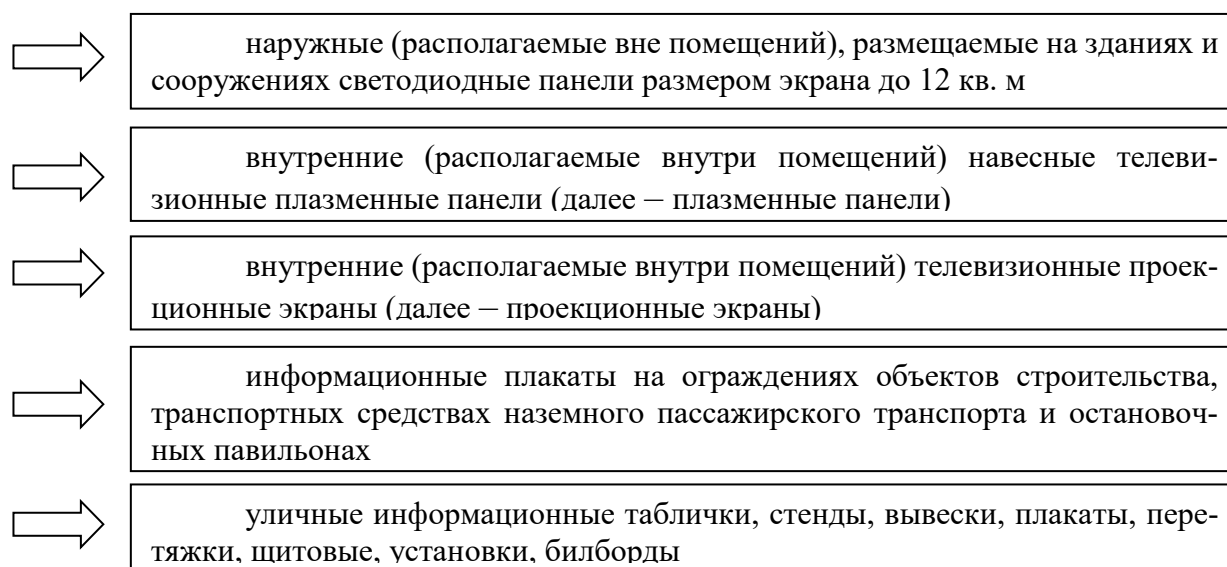


Рисунок 2. Современные технические средства массовой информации для 2 и 4 групп риска

Средства наглядной пропаганды могут воздействовать многократно в течение определенного промежутка времени. Настенные плакаты, наружная реклама многократно наблюдаются одним и тем же человеком. Данное многократное воздействие усиливает реакцию запоминания и усвоение материала и служит для упрочнения поведенческих установок. Анализ психологических особенностей восприятия наглядной агитации подтверждает ее эффективность при правильной организации.

На восприятие информации и человеческую активность представителей 3 и 4 групп риска существенное влияние оказывают возраст и медико-социальные проблемы, что обуславливает необходимость в особом подходе к выбору форм, методов, средств агитации.

Так, речь у лиц группы риска с нарушением слуха затрудняет процесс усвоения сложного для понимания материала. Нарушения зрения у слабовидящих негативно влияют на развитие познавательной деятельности. Психофизиологические особенности пожилых людей (возрастные изменения процессов внимания, памяти,

мышления, некоторые нервно-психические заболевания) могут являться сдерживающим фактором развития их образовательной активности [4].

Агитация по пожарной безопасности среди рассматриваемых групп риска осуществляется с применением следующих форм и методов:

- демонстрации плакатов, изображений, мультимедийных роликов;
- распространение обучающей литературы, пропагандистских листовок, памяток, рекламных буклетов, альбомов;
- публикации специального материала в газетах и журналах;
- проведение бесед с группами риска, чтение докладов и проведение лекций на противопожарную тематику;
- организация тематических выставок, смотров, конкурсов, конференций;
- телевизионные и радиопередачи по обучению правилам противопожарной безопасности;
- кинофильмы о работе пожарных;
- информирование с применением ОКСИОН;
- экскурсии в музеи;

- проведение подворовых обходов жилых домов и поквартирный обход;
- информирование о порядке действий при пожаре в помещении, вызове пожарной охраны по телефону, видах административной и гражданской ответственности, применяемых к нарушителям, размещенных на обратной стороне платежных квитанций;

- организация работы с творческими союзами (журналистов, художников, композиторов и т. д.).

Пропаганда, агитация и обучение мерам пожарной безопасности в группе риска лиц с нарушением зрения проводится с использованием шрифта Брайля (тактильные плакаты, знаки по эвакуации из зданий и сооружений и т. д.) и тифлокомментирования (табл. 2).

Таблица 2

*Особенности применения форм проведения пропаганды, агитации и обучения мерам пожарной безопасности лиц 4 группы риска с нарушением зрения*

Наглядная агитация и пропаганда среди лиц с нарушением зрения	Формы агитации
Использование тифлокомментирования	компьютерные обучающие программы по пожарной безопасности, «говорящие» книги по профилактике пожаров, аудиогазеты, интерактивные плакаты и т. д.
	показ видеороликов, телепередач, мультфильмов по пожарной безопасности
	экскурсионные программы в музеи пожарной охраны, выставки, посвященные безопасности жизнедеятельности, библиотеки для слабовидящих и слепых, спектакли и кинофильмы, посвященные данной тематике
Использование шрифта Брайля	тактильные плакаты по пожарной безопасности
	тактильных знаки по эвакуации инвалидов по зрению из зданий и сооружений

При проведении агитации Интернету необходимо применение специальных настроек экрана монитора с учетом диагноза зрительного заболевания и особенностей восприятия визуальной информации: программные средства для увеличения изображения на экране; применение программ экранного доступа для озвучивания информации; возможность работы с помощью клавиатуры; использование «горячих» клавиш.

Для глухих и слабослышащих необходимо дублирование материала с применением письменной или тактильной формы: демонстрация плакатов на пожарную тематику, разнообразных таблиц, четких схем эвакуационных путей, знаков, применяемых в пожарной безопасности;

использование раздаточного материала; показ презентаций, видеороликов с применением субтитров или перевода сурдолога; демонстрация первичных средств пожаротушения и средств индивидуальной защиты с пояснениями сурдолога [5].

Для лиц с ограниченными возможностями движения формы и средства противопожарной агитации, пропаганды и обучения определяют в зависимости от специфики двигательных нарушений [7]. Нарушения скоординированности, темпа движений приводят к невозможности или частичному нарушению движений во времени и пространстве. Поэтому для обеспечения визуальной доступности информации необходимо учитывать применение «ассистивных технологий»:

- при неподвижности рук – ножная мышь и клавиатура, сенсорный экран, альтернативные указывающие устройства;
- при неподвижности рук и ног – отслеживание головы, голосовое управление, виртуальная клавиатура;
- при неподвижности всего тела – отслеживание глаз, ротовой загубник, интерфейс мозг-компьютер.

Визуальная информация должна содержать упрощенные и короткие надписи, предупреждения, объявления. Печатная информация может дублироваться звуковой в виде отдельных звуковых маяков или при помощи радиодиффузии всей территории.

Важное место в обучении всех групп риска населения играют цвета, имеющие тесную связь с эмоциями. Определенное сочетание цветов вызывает различные эмоции. Некоторые цвета в эмоциональном плане ассоциируются у человека с предметами и событиями. Неудачные цветовые сочетания могут воздействовать угнетающе. Например, красный цвет ассоциируется с пожаром, вызывает беспокойство и тревогу, привлекает на себя внимание. Поэтому для достижения желаемого результата цвета должны быть тщательно подобраны, экспонироваться в подходящих условиях и правильных сочетаниях (табл. 3).

Таблица 3

*Психологические свойства цветов для 4 групп риска*

Цвет	Психологические свойства
Красный	Вызывающий, богатый ассоциациями
Голубой	Успокаивающий, сентиментальный
Желтый	Бодрящий, теплый, побуждающий к действию
Оранжевый	Радостный, усиливает активность
Зеленый	Спокойный, создает приятное настроение, богат на ассоциации
Фиолетовый	Может и привлекать, и отталкивать
Черный	Угнетающий, вызывающий печаль
Белый	Утомляющий, вызывает ощущение усталости

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что применение риск-ориентированного подхода при разделении населения на группы риска позволит адресно и с наименьшими затратами осуществлять противопожарную пропаганду, обучение и агитацию. При этом снижается

время работы с наиболее уязвимыми группами риска населения, учитываются их психофизиологические и возрастные особенности, решаются задачи многокритериальной оптимизации и сокращения потерь от пожаров.

#### Литература

1. Прус Ю. В., Чистякова А. А., Россинская К. Г. Управление профилактической деятельностью на основе матричного представления рисков // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 42.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2019 г.: стат. сб. М., 2020. 80 с.
3. Приказ МЧС РФ № 428, МВД РФ № 432, ФСБ РФ № 321 от 31.05.2005. Положение «О порядке размещения современных технических средств массовой информации в местах с массовым пребыванием людей в целях подготовки населения в области гражданской обороны, защиты от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и охраны общественного порядка, а также своевременного оповещения и оперативного информирования граждан о чрезвычайных ситуациях, угрозе террористических акций и распространения соответствующей информации».
4. Противопожарная пропаганда / О. Д. Ратникова и др. М., 2017. 233 с.
5. Обучение граждан пожилого возраста и инвалидов мерам пожарной безопасности: методические рекомендации / О. Д. Ратникова и др. М., 2014. 259 с.
6. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаробезопасность. 2017. Т. 26, № 2. С. 72–80.

7. Мельник О. Е., Сидоркин В. А., Чистяков А. А. Особенности и направления совершенствования противопожарной работы с маломобильными группами населения // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2020. № 3. С. 23–29.

#### References

1. Prus Yu. V., Chistyakova A. A., Rossinskaya K. G. Management of preventive activities on the basis of matrix representation of risks // *Technosphere safety*. 2019. № 4 (25). P. 42.
2. Fires and fire safety in 2019. Statistical collection. M., 2020. 80 p.
3. Order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation No. 428, the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation No. 432, the FSB of the Russian Federation No. 321 of 31.05.2005. The Regulation "On the procedure for placing modern technical mass media in Places with a mass stay of people in order to train the population in the field of Civil defense, Protection from Emergency Situations, Fire Safety and Public Order Protection, as well as timely notification and Prompt Informing of Citizens about Emergency Situations, the Threat of Terrorist Acts and the dissemination of relevant information".
4. Fire propaganda: a textbook for students of educational organizations of higher education of the Ministry of emergency situations of Russia / O. D. Ratnikova et al. M., 2017. 233 p.
5. Education for senior citizens and disabled the fire safety measures: guidelines / O. D. Ratnikova et al. M., 2014. 259 p.
6. Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Grigorieva M. P. Analysis of the main fire risks in the countries of the world and in Russia // *Fire safety*. 2017. No. 2. Vol. 26. P. 72–80.
7. Melnik O. E., Sidorkin V. A., Chistyakov A. A. Features and directions of improving fire-fighting work with low-mobility groups of the population // *Bulletin of the St. Petersburg University of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2020. No. 3. P. 23–29.

УДК 662.311.1

sumbulryamova993@gmail.com

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В СЛУЧАЕ ПОЖАРА ПРОЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**DETERMINATION OF SAFE DISTANCES  
OF EXPOSURE TO THERMAL RADIATION IN THE EVENT  
OF A FIRE SPILLING OIL PRODUCTS**

*Бакиров И. К., кандидат технических наук,  
Хафизов Ф. Ш., доктор технических наук,  
Хуснутдинова С. М.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа*

*Bakirov I., Khafizov F., Khusnutdinova S.,  
Ufa state petroleum technical university, Ufa*

Показатель удельной массовой скорости выгорания используется для вычисления интенсивности теплоизлучения при оценке рисков возникновения пожаров пролива на производственных объектах. Значение интенсивности теплового излучения важно для определения безопасных расстояний при воздействии теплоизлучения на людей, объекты постройки и оборудование.

На сегодня значения параметра удельной массовой скорости выгорания приводятся в различных справочных материалах для ограниченного ряда жидких углеводородов. При расчете искомой величины с помощью существующих формул возникает необходимость определения удельной теплоты сгорания, удельной теплоты испарения, удельной теплоемкости вещества. Данные показатели можно найти в справочных материалах не для всех веществ, а процесс их расчета достаточно трудоемкий. К тому же процесс горения сложных углеводородных топлив отличается поэтапным выгоранием отдельных фракций в их составе. Следовательно, для топливных смесей расчет должен быть произведен с учетом изменения плотности и температуры в процессе выгорания.

В то же время необходимо исследовать практическое применение расчета величин удельной массовой скорости выгорания в целях усовершенствования существующей методики определения полей опасных факторов пожара.

*Ключевые слова:* тепловое излучение, удельная массовая скорость выгорания, однокомпонентное вещество, топливная смесь, среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени.

The value of the specific mass burnup rate is used to calculate the intensity of thermal radiation to predict the risks of spill fires at production facilities. The value of the intensity of thermal radiation is important for determining safe distances in the event of exposure to people, industrial buildings, structures and equipment of thermal radiation.

Currently specific mass burnup values are given in various reference materials for a limited number of liquid hydrocarbons. When calculating the desired value using the existing formulas it becomes necessary to calculate the values of the specific heats of combustion and evaporation and the specific heat capacity of a substance. These indicators can be found in reference materials not for all substances, and the process of calculating them is quite laborious. In addition the process of combustion of complex hydrocarbon fuels is



significantly different due to the gradual burnout of individual fractions in their composition. Therefore for fuel mixtures the calculation should be made taking into account the change in density and temperature during the combustion process.

At the same time it is need to investigate the practical application of calculating the values of the specific mass burnup rate in order to improve the existing method for determining the fire safety distances.

*Keywords:* thermal radiation, specific mass rate of burnup, one-component substance, fuel mixture, average surface intensity of thermal radiation of a flame.

Величина интенсивности излучения тепла ( $\text{кВт/м}^2$ ) в случае пожара пролива легковоспламеняющихся, горючих жидкостей, сжиженного природного газа или сжиженных углеводородных газов рассчитывается по следующей формуле [1, 2]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная интенсивность теплоизлучения,  $\text{кВт/м}^2$ ;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Значение  $E_f$  определяется на основе имеющихся на сегодня экспериментальных справочных значений или по таблице в П 3.4 Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1]. Для некоторых нефтепродуктов (например, керосин, газолин, мазуты) справочная информация отсутствует.

Если сведения о величине  $E_f$  ( $\text{кВт/м}^2$ ) для нефти и нефтепродуктов в справочных данных отсутствует, допускается определять ее по следующей формуле:

$$E_f = 140 \cdot e^{-0.12 \cdot d} + 20 \cdot (1 - e^{-0.12 \cdot d}), \quad (2)$$

где  $d$  – эффективный диаметр пролива, м.

Для индивидуальных жидкостей, в случае отсутствия данных, допускается величину  $E_f$  ( $\text{кВт/м}^2$ ) определять по формуле:

$$E_f = \frac{0.4 \cdot m' \cdot H_{\text{сгор}}}{1 + 4 \cdot L/d}, \quad (3)$$

где  $m'$  – массовая скорость выгорания,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $H_{\text{сгор}}$  – теплота сгорания,  $\text{кДж/кг}$ ;  $L$  – длина пламени, м.

В вышеупомянутой Методике [1] приведена формула расчета параметра  $m'$ :

$$m' = \frac{0.001 \cdot H_{\text{сгор}}}{L + C_{\text{ж}}(T_{\text{кип}} - T_{\text{нач}})}, \quad (4)$$

где  $H_{\text{сгор}}$  – теплота сгорания топлива,  $\text{кДж/кг}$ ;  $L$  – теплота испарения жидкости,  $\text{кДж/кг}$ ;  $C_{\text{ж}}$  – теплоемкость жидкости,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $T_{\text{кип}}$  – температура кипения жидкости при атмосферном давлении,  $\text{К}$ ;

$T_{\text{нач}}$  – начальная температура продукта,  $\text{К}$ .

Согласно Методическим рекомендациям по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], расчет удельной массовой скорости выгорания определяется по соотношению:

$$m_f = m_f^0 \cdot [1 - \exp(-\beta_f \cdot D_{\text{эф.ф}})], \quad (5)$$

Где  $\beta_f$  – параметр из табл. 1 Приложения 10 Методических рекомендаций по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], в случае отсутствия данных в табл. 1, принимается величина  $\beta_f = 0,7 \text{ м}^{-1}$ ;

$m_f^0$  – удельная массовая скорость выгорания из табл. 1 Приложения 10 Методических рекомендаций по проведению количественного анализа риска аварий на конденсаторпроводах и продуктопроводах [3], в случае отсутствия данных вычисляется по формуле 2.1.4.1

$$m_f^0 = m', \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с});$$

$D_{эф.f}$  – эффективный диаметр пролива, м.

Как уже отмечалось, величина  $m'$  необходима для определения интенсивности теплоизлучения пожара, показатель которой важен при оценке риска распространения пожара.

Сегодня значения величин массовой скорости выгорания приведены в различных справочных материалах для ограниченного ряда нефтепродуктов. При отсутствии справочных данных возникает необходимость прибегать к опытному методу определения рассматриваемой величины. Не исключен риск получения данным методом итоговых показателей с большими погрешностями, так как результаты зависят от исходных параметров окружающей среды, которые существенно отличаются от параметров, способствующих возникновению реального пожара на объекте, из-за разницы в потере влаги, к тому же значение величины  $m'$  имеет зависимость от площади поверхности горения, которую невозможно инициировать экспериментальным путем.

Для простых веществ  $m'$  определяется расчетным путем [1,3–5]. Существующие формулы в теории применимы как для

простых, так и для многокомпонентных веществ, при условии расчета на фракцию в составе топливной смеси с наибольшим значением показателя  $m'$ . Однако появляется необходимость расчета удельной теплоты сгорания и испарения, удельной теплоемкости, которые не всегда можно рассчитать либо найти в справочных материалах [6–12].

Процесс горения топливной смеси характеризуется выгоранием отдельных фракций в их составе, следственно для топливной смеси расчет нужно производить с учетом увеличения значений плотности и температуры кипения фракций. Появляется необходимость в усовершенствовании существующих методов определения величины удельной массовой скорости выгорания сложных углеводородных жидкостей.

Таким образом, для упрощения процесса определения  $m'$  для сложных топлив, предлагается ввести номограмму, которая дает возможность определить искомое значение, зная плотность вещества и его температуру кипения [4–12]. Ниже представлен график зависимости величины  $m'$  от плотности (в диапазоне 0,65–1,02 г/см<sup>3</sup>) и температуры кипения (рис.), температура окружающей среды принята 20 °С.

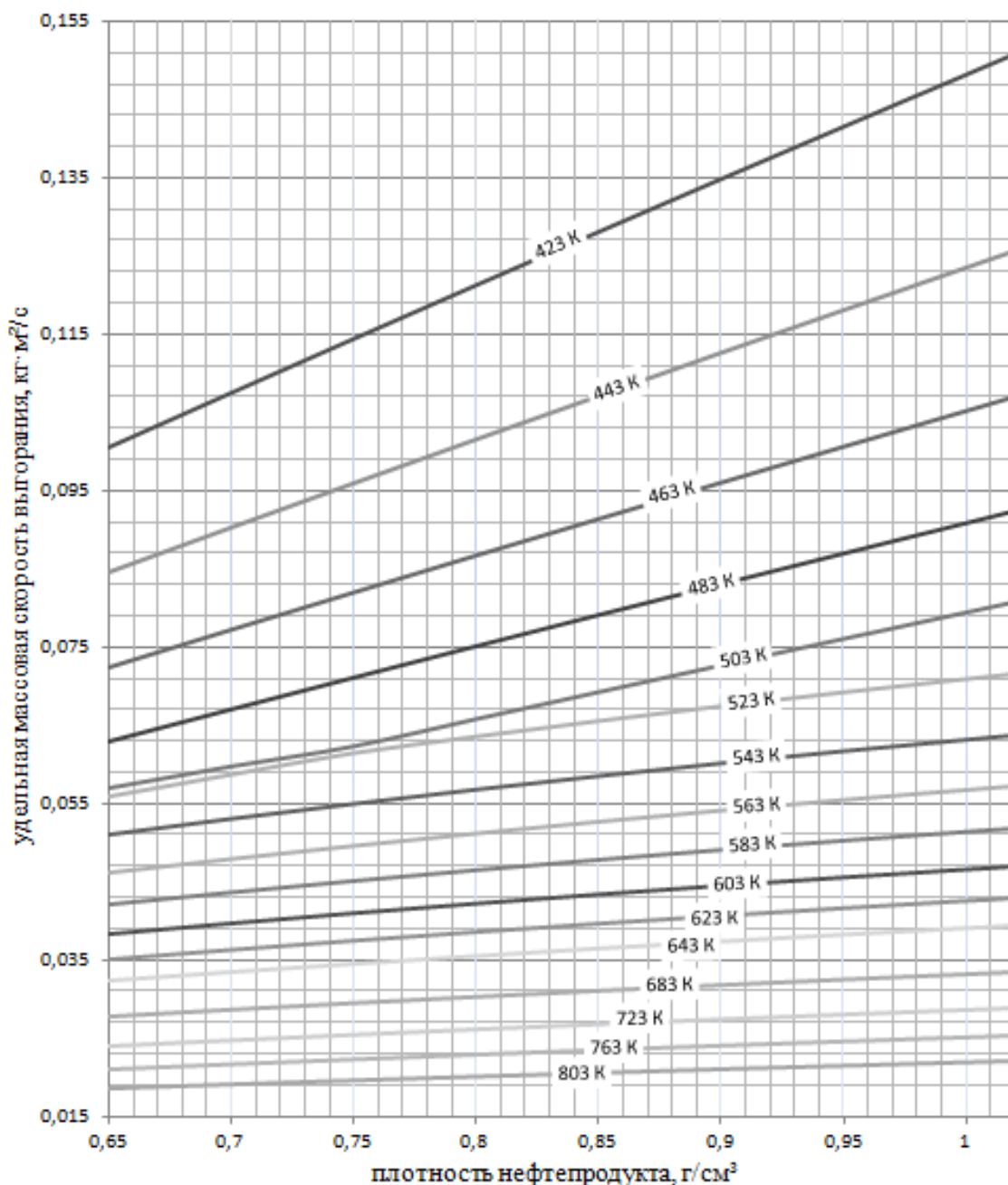


Рисунок 1. График определения значений удельной массовой скорости выгорания нефтепродукта в зависимости от его плотности и температуры кипения

С помощью данной номограммы появится возможность определения величины  $m'$  при известных значениях плотности нефтепродукта при нормальных условиях и его температуры кипения, что в свою очередь облегчит процесс прогнозирования пожарных рисков на объектах нефтегазового комплекса.

Для анализа предложенного метода были сравнены значения  $E_f$  и  $m'$  для бензина и дизтоплива в таблице ПЗ.4 Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1] и значения показателей, полученные в результате расчета с использованием номограммы (табл. 1).

Таблица 1  
Значения  $E_f$  пламени в зависимости от площади очага возгорания  
и величины  $m'$  бензина и дизельного топлива

Вещество	$E_f$ (кВт/м <sup>2</sup> ), при d, м					$m'$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	
Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах						
Бензин	60,0	47,0	35,0	28,0	25,0	0,06
Дизтопливо	40,0	32,0	25,0	21,0	18,0	0,04
Расчет с использованием номограммы на рис.						
Бензин	147–153	177–184	196–204	211–219	223–232	0,067–0,073
Дизтопливо	113–138	143–159	162–176	178–189	190–199	0,042–0,054

Несмотря на то, что для определения величины  $E_f$  использовался алгоритм расчета из Методики расчета параметров пожарного риска [1], при незначительной

разнице в значениях  $m'$  (кг/м<sup>2</sup>·с), наблюдается существенная разница между исходными и полученными результатами величин  $E_f$ .

Таблица 2  
Значения безопасных расстояний от границы пролива  
до зоны воздействия теплового излучения

Фракции нефти	Безопасное расстояние при воздействии теплоизлучения, м		
	Непереносимая боль спустя 20–30 с Ожог 1 ст. спустя 15–20 с Ожог 2 ст. спустя 30–40 с $q = 4,2 - 7,0$ кВт/м <sup>2</sup>	Безопасно для человека в брезентовой одежде $q = 1,4 - 4,2$ кВт/м <sup>2</sup>	Без негативных последствий в течение длительного времени, $q < 1,4$ кВт/м <sup>2</sup>
$F_{пр} = 100$ м <sup>2</sup>			
Бензиновые	32	44	81
Керосиновые	29	40	74
Дизельные	26	37	68
Мазуты	24,2	33	58
$F_{пр} = 200$ м <sup>2</sup>			
Бензиновые	44	61	112
Керосиновые	40	55	102
Дизельные	36	50	95
Мазуты	33	45	80
$F_{пр} = 300$ м <sup>2</sup>			
Бензиновые	53	73	135
Керосиновые	48	66,5	124
Дизельные	44	61	114
Мазуты	39	53	97

Также представлены результаты расчета пожаробезопасных расстояний для резервуаров с обвалованием, площадью пролива 100, 200 и 300 м<sup>2</sup> с высотой обва-

лований, исключающих вероятность пролива через них. Безопасные расстояния рассчитаны с учетом пороговых величин теплового излучения [1].

#### Литература

1. Приказ МЧС РФ «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» от 10 июля 2009 г. № 404 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти: с изм. и допол. 2009. № 37.
2. Тепловое излучение // Studfiles. URL: <https://studfile.net/preview/2455643/page:28/> (дата обращения: 07.09.2021).
3. Приказ ФСЭТАН «Об утверждении Руководства по безопасности "Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах» от 30 марта 2020 г. № 139 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2020.
4. Хуснутдинова С. М., Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф. Исследование методов определения удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2021. № 1 (30). С. 67–71.
5. Хуснутдинова С. М., Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф., Мингазетдинов Р. Ф. Расчет удельной массовой скорости выгорания нефтепродуктов // Нефтегазовое дело. 2021. № 2. С. 5–14.
6. Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С. Расчет процессов горения и взрыва. Томск, 2012. С. 35–36.
7. Дубовкин Н. Ф. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: справочник. М., 1985. С. 92–104.
8. Кирсанов Ю. Г. Анализ нефти и нефтепродуктов. Екатеринбург, 2016. С. 24–27; 37–41.
9. Теплота сгорания // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплота\\_сгорания](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теплота_сгорания) (дата обращения: 01.08.2021).
10. Рабинович Г. Г. Расчет основных процессов и аппаратов нефтепереработки: справ. М., 1979. С. 23–25.
11. Теплофизические свойства // Химия нефти. URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/heatphysicsproperty1.html> (дата обращения: 01.05.2021).
12. Гуревич И. Л. Технология переработки нефти и газа. Часть первая. М., 1972. С. 38–39.

#### Referenses

1. Prikaz MCHS RF "Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh" ot 10.07.2009 № 404 s izm. i dopol // Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti. 2009. № 37.
2. Teplovoe izluchenie // Studfiles. URL: <https://studfile.net/preview/2455643/page:28/> (data obrashcheniya: 07.09.2021).
3. Prikaz Rostekhnadzora "Ob utverzhdenii rukovodstva po bezopasnosti "Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu kolichestvennogo analiza riska avarij na kondensatoprovodakh i produktoprovodakh" ot 30.03.2020 № 139 // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. 2020.
4. Husnutdinova S. M., Hafizov F. SH., Hafizov I. F. Issledovanie metodov opredeleniya udel'noj massovoj skorosti vygoraniya nefteproduktov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 1 (30). P. 67–71.
5. Husnutdinova S. M. et al. Raschet udel'noj massovoj skorosti vygoraniya nefteproduktov // Neftegazovoe delo. 2021. № 2. P. 5–14.
6. Portola V. A., Lugovcova N. YU., Torosyan E. S. Raschet processov goreniya i vzryva. 2012. P. 35–36.
7. Dubovkin N. F. Fiziko-himicheskie i ekspluatacionnye svoystva reaktivnykh topliv: sprav. M., 1985. P. 92–104.
8. Kirsanov YU. G. Analiz nefti i nefteproduktov. Ekaterinburg, 2016. P. 24–27; 37–41.
9. Teplota sgoraniya // Wikipediya. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Teplota\\_sgoraniya](https://ru.wikipedia.org/wiki/Teplota_sgoraniya) (data obrashcheniya: 01.08.2021).
10. Rabinovich G. G. Raschet osnovnykh processov i apparatov neftepererabotki. 3-e izd.: sprav. M., 1979. P. 23–25.
11. Teplofizicheskie svoystva // Himiya nefti. URL: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/heatphysicsproperty1.html> (data obrashcheniya: 01.05.2021).
12. Gurevich I. L. Tekhnologiya pererabotki nefti i gaza. CH. 1. M., 1972. P. 38–39.

УДК 614.849

syisik@mail.ru

**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО  
МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ  
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**

**DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE GEOINFORMATION  
MONITORING SYSTEM OF NATURAL AND MAN-MADE THREATS  
IN THE ARCTIC REGION**

*Сысоева Т. П., кандидат технических наук,  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург,  
Калач А. В., доктор химических наук, профессор,  
Воронежский государственный технический университет, Воронеж,  
Лобова С. Ф., Санкт-Петербургский университет  
ГПС МЧС России, Санкт-Петербург,  
Порхачев М. Ю., кандидат педагогических наук, доцент,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Sysoeva T., Saint-Petersburg university of State fire service  
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg,  
Kalach A., Voronezh State Technical University, Voronezh,  
Lobova S., Saint-Petersburg university of State fire service  
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg,  
Porkhachev M., The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Для создания системы мониторинга на основе Географической информационной системы следует: разработать региональные унифицированные методические подходы к сбору и анализу информации (комплекс показателей с учетом природных особенностей и техносферы и региона); для разработки планов и программ обеспечения безопасности на территории ответственности Арктического комплексного аварийно-спасательного центра МЧС России сделать аналитические и прогностические результаты обработки информации основанием для принятия конкретных решений; научно обосновать размещение точек и формирование программ мониторинга в соответствии с местными условиями, позволяющими сформулировать выводы об уровне опасности; расширить систему, включив в нее сбор и анализ информации о факторах природного и техногенного характера и возможных последствий их взаимовлияния; наладить связь с коренным населением через старост и организовать их подготовку в плане отслеживания показателей; активизировать работу со школами с учетом опыта Аляски. Предложено активизировать внедрение в практику Арктического комплексного аварийно-спасательного центра МЧС России цифровых и геоинформационных технологий, позволяющих повысить качество аналитической обработки данных о природных и техногенных угрозах на территории ответственности данного центра.

*Ключевые слова:* мониторинг, арктическая зона, авария, МЧС России, геоинформационные системы.

To create a monitoring system based on a Geographical Information System, it is necessary to: develop regional unified methodological approaches to the collection and analysis of information (a set of indicators taking into account natural features and the technosphere and the region); to develop plans and programs to ensure safety in the territory of responsibility of the Arctic Integrated Emergency Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of Russia to make analytical and predictive results of information processing the basis for making specific decisions; to scientifically substantiate the placement of points and the formation of monitoring programs in accordance with local conditions, allowing to formulate conclusions about the level of danger; to expand the system to include the collection and analysis of information about natural and man-made factors and possible consequences of their mutual influence; to establish communication with the indigenous population through elders and organize their training in terms of tracking indicators; to intensify work with schools taking into account the experience of Alaska. It is proposed to intensify the introduction of digital and geoinformation technologies into the practice of the Arctic Integrated Emergency Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of Russia, which will improve the quality of analytical processing of data on natural and man-made threats in the territory of responsibility of this center.

*Keywords:* monitoring, Arctic zone, accident, EMERCOM of Russia, geoinformation systems.

### **Введение**

Система мониторинга экологического состояния окружающей среды в Российской Федерации (экологический мониторинг) представляет собой систему наблюдений за качественными и количественными параметрами окружающей среды. Российская система мониторинга имеет ведомственную структуру, наблюдения осуществляют соответствующие подразделения и территориальные органы разных министерств и ведомств, включая МЧС России, Росгидромет, и т. д. [1].

В Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ) мониторинг окружающей среды включает: отслеживание динамики ледяного покрова, динамики оттаивания вечной мерзлоты, динамики состояния экосистем – антропогенной трансформации ландшафтов, динамики изменения растительного покрова арктической тундры; изучение криогенных изменений; наблюдения за буграми вспучивания, за динамикой образования озер, за пожарами в тундре и их последствиями; мониторинг температурно-влажностных характеристик подстилающей поверхности и т. д. Сложности анализа состояния экосистем в Арктике обусловлены неоднородностью и масштабностью территории, низким уровнем

организации экосистем, которые находятся в ограниченном доступе. Полномасштабно осуществить исследование арктических экосистем и проводить дистанционный мониторинг удаленных и труднодоступных районов АЗРФ возможно путем дистанционного зондирования Земли с помощью спутников.

Одним из доступных путей отслеживания состояния экосистем представляется взаимодействие с аборигенами – местным кочующим населением, малочисленными народностями и со старостами поселений. Это позволяет получать информацию, необходимую и для поисково-спасательных операций, и для отслеживания состояния бугров вспучивания и других ситуаций при отслеживании экосистем. Необходима и просветительская работа в плане развития цифровой грамотности местного населения с позиций интересов региона – управление инновационным развитием по принципу регионализации.

Алгоритм действий при отслеживании состояния экосистем заключается в адекватных целях отслеживания; в точном определении контрольных точек; в создании комплекса лабораторных исследований, способных выявлять показатели окру-

жающей среды; а также в создании организационной системы по быстрому обмену информацией; введении типовой программы межведомственного взаимодействия для преодоления бюрократических сложностей взаимодействия.

### Мониторинг системы контроля нефте- и газопроводов

Любое месторождение в АЗРФ предполагает развитую сеть трубопроводов для транспортировки нефти и газа. Использование трубопроводов является надежным и экономичным методом доставки жидкостей и газа, доступным для всего мира.

К 2012 г. длина магистральных трубопроводов в России составляла 250 тыс. км: 55 тыс. км – нефтепроводы, 20 тыс. км – нефтепродуктопроводы,

175 тыс. км газопроводы (рис. 1) [2]. Утечки из нефтепроводов и резервуаров могут быть разрушительными для окружающей среды. Опубликовано много статей о последствиях таких аварий. Поскольку месторождения в АЗРФ находятся в зоне вечной мерзлоты, необходимо принимать особые меры уже при проектировании трубопроводов: они должны быть подняты над землей, чтобы предупредить деформацию труб и аварию с нефтеразливом в случае таяния мерзлотного грунта. Это задача компаний, которые разрабатывают месторождение. Кроме того, трубопроводы защищают от коррозии путем применения специальной наружной и внутренней изоляции и применяют вещества, которые закачивают в трубы для образования защитной пленки на стенках [3, 7].

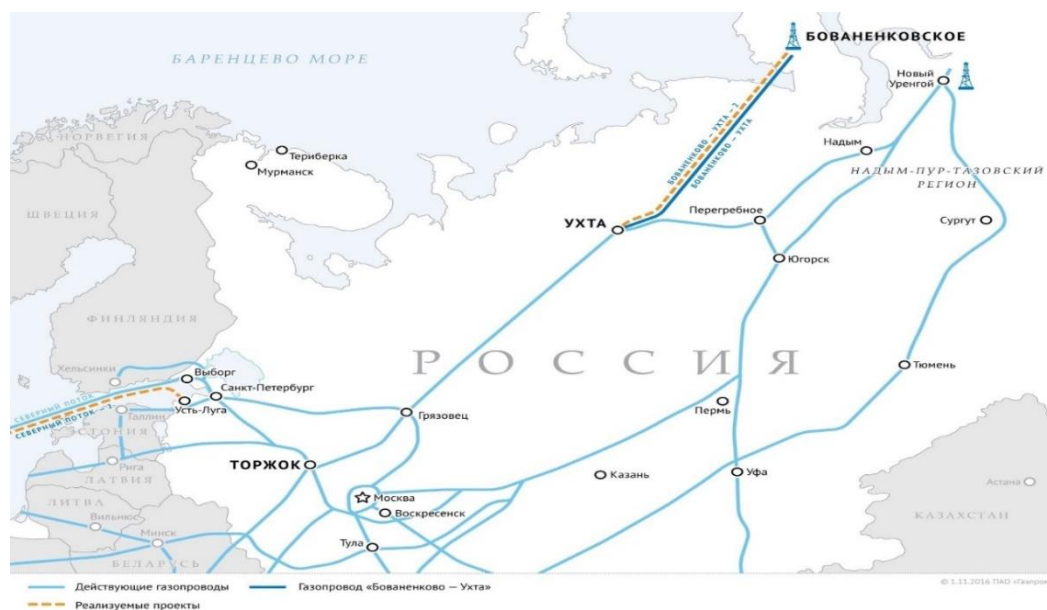


Рисунок 1. Действующие и реализуемые проекты трубопроводов в России

Согласно официальным данным, в России утечки при авариях на трубопроводах оцениваются неоднозначно – от 3-х до

20 млн тонн в год. На ремонт старых трубопроводов тратится до 50 млрд руб. в год [4].





Рисунок 2. Трубопроводы в криолитозоне

По данным МЧС России, в 2013–2014 гг. число аварий на магистральных и внутрипромысловых трубопроводах, которые привели к развитию ЧС, составило от 48 до 50 случаев. За последующие годы в связи с бурным развитием добычи нефти количество аварий на нефтепроводах за несколько лет увеличилось на 20 %. В отличие от других стран, в России не развито экологическое страхование, и штрафы природопользователей не превышают 20 % от реальной суммы ущерба. Для безопасности использования этой транспортной системы важным является предупреждение возможных повреждений трубопроводов и выброса в окружающую среду нефти. Нефтяные разливы в холодном климате Арктики сохраняются очень долго и наносят непоправимый вред арктической тундре (см. рис. 2), а удаление их связано с серьезными трудностями, особенно в труднодоступных и отдаленных районах АЗРФ. Значительно облегчает мониторинг трубопроводов внедрение систем дистанционного контроля состояния труб.

Для минимизации экологического ущерба необходимо быстрое обнаружение неполадок, оповещение персонала о возникшей проблеме и предоставление точной информации о координатах возникно-

вения неполадок. Существуют разные способы контроля за состоянием трубопроводов:

- метод сравнения расхода транспортируемой жидкости в начале и в конце участка. При превышении разницы расходов определенных допустимых норм автоматически срабатывает аварийное оповещение;

- инфразвуковая система мониторинга;

- ультразвуковой контроль трубопроводов [5];

- беспилотные летательные аппараты (далее – БЛА) – наиболее удобные для контроля на значительном расстоянии – до 70 км (дистанционный контроль состояния трубопроводов). На сегодняшний день это наиболее эффективный и экономически выгодный метод мониторинга нефте- и газотрубопроводов. Такой способ мониторинга является наиболее современным и наиболее информационным, так как может оценить техническое состояние трубопроводов и ближайшей природной местности. На основании этих данных можно будет создавать цифровые карты местности

(рис. 3) [6].

Существуют и системы космического мониторинга магистральных трубопроводов (рис. 4).



Рисунок 3. Фото мониторинга газопровода с помощью БЛА



Рисунок 4. Система мониторинга контроля нефте- и газопроводов

Но кроме современной системы трубопроводов в АЗРФ находятся в эксплуатации, ранее построенные по старой технологии трубопроводы, которые требуют постоянного отслеживания и больших финансовых затрат на предупреждение аварийных ситуаций. Вследствие таяния и деградации вечномёрзлотных почв

происходит деформация труб и возрастает риск вытекания нефти (рис. 5). Накопленный опыт работы Арктического комплексного аварийно-спасательного центра (далее – АКАСЦ) МЧС России свидетельствует о выездах подразделений МЧС России на ликвидацию таких ситуаций.



Рисунок 5. Образование провала и оголение подземного участка трубопровода

### Экологические риски арктического туризма

Сегодня туризм – неотъемлемая часть жизни людей. Арктический туризм набирает обороты и привлекает все больше туристов и особенно любителей экстрима.

К особенностям климата и географии Арктики и экономической специфики циркумполярного мира развитие туризма и растущий приток туристов – экстремалов, в том числе иностранцев, добавляет негативные тенденции в плане нарушения экологического равновесия, особенно в арктической тундре. Возрастают риски загрязнения окружающей среды; повреждения геологических, палеонтологических и других памятников природы; нарушение почвенного покрова тундры вследствие возрастания числа туристических маршрутов и использования средств передвижения и т. д.

Чтобы уменьшить негативное влияние туризма на арктическую природу, необходимо ужесточить как общественный, так и государственный контроль, за соблюдением природоохранного законодательства.

### Географические информационные системы (далее – ГИС)

Данные системы были созданы для организации и хранения пространственных данных. Развитие ГИС не стоит на месте, а находится все время в развитии, в ее си-

стему входят такие направления, как планирование землетрясений, планирование и оценка состояния окружающей среды, управление природными ресурсами и т. д. Спектр деятельности данной системы очень широк, поэтому стоит полагать, что именно ГИС займет ведущее место для решения новых информационных задач управления в АЗРФ.

Поскольку основанием для принятия управленческих решений является совокупность показателей, необходима информационно-аналитическая система с обширной базой данных по факторам среды обитания и эффективными инструментами оценки состояния среды. В настоящее время существует мировой опыт комплексного картографирования природных и экологических процессов, на базе которого создаются электронные атласы – комплексное цифровое атласное картографирование [8].

Электронные атласы содержат карты высокого качества, имеют доступный для пользования интерфейс и снабжены справочно-поисковыми системами [9].

Развитие межрегионального мониторинга с использованием технологии геоинформационной системы является современным перспективным путем создания системы мониторинга в АЗРФ.

Рост популярности ГИС связан с тем, что система позволяет рассматривать данные по анализируемым проблемам относительно их пространственных взаимоотношений, что позволяет проводить комплексную оценку ситуации и создает основу для принятия более точных и разумных решений в процессе управления.

Масштабность территории АЗРФ в условиях развития инновационной инфраструктуры, промышленности и транспорта является аргументом в пользу необходимости создания системы межрегионального мониторинга на основе ГИС.

Средства ГИС включают все основные функции получения высококачественных карт и планов, но намного превосходят возможности обычных картографических систем. ГИС обеспечивает всесторонние возможности сбора, анализа любых пространственных данных. Из этого следует, что использование ГИС дает возможность напрямую оценить эффективность создаваемых мероприятий по сохранению природы, их влияние на жизнь населения и экономику.

С помощью ГИС собирают и управляют данными по охраняемым территориям – заказникам, заповедникам, паркам, состоянию флоры и фауны, уровню антропогенных влияний – строительство дорог, туризм. ГИС значительно упрощает и удешевляет создание бумажных карт, что дает возможность получать большое количество карт, что удобно для образовательных процессов, для обмена данными на межрегиональном уровне и т. д. Научно-обоснованные и одновременно информативные красочные карты привлекательны и для сферы развивающегося экотуризма.

Использование ГИС позволяет на основе данных пространственного взаимоотношения провести комплексную оценку изучаемых проблем. В ГИС описываются объекты и процессы, которые являются частью повседневной жизни, и решения принимаются на основе анализа взаимоотношений определенных пространственных факторов.

Поскольку в арктической тундре существует актуальная проблема таяния и деградации вечной мерзлоты и идет поиск оптимальных решений для ее сохранения, использование такой системы, как ГИС, наиболее перспективно для получения адекватной информации и выбора необходимых конкретных действий, например, ограничения природопользования или других административных мер.

Таким образом, ГИС является наиболее действенным на сегодняшний день средством изучения среды обитания животного, растительного мира в пространственном и временном аспектах. Применение ГИС дает возможность выбора территорий с подходящими параметрами для безопасной жизнедеятельности – без последствий планируемых мероприятий.

В МЧС России есть автоматизированная система оперативного управления (далее – СОУ) в кризисных ситуациях, в которую входит Геоинформационная подсистема (ГИС) и Национальный центр управления в кризисных ситуациях (далее – НЦУКС) МЧС России. Система позволяет распознавать место возникновения чрезвычайной ситуации и охватывает всю территорию, на которой она произошла [10].

При работе с ГИС используются отсканированные картографические материалы, спутниковые изображения, цифровые модели поверхности рельефа.

Роскосмос совместно с Госкорпорацией по космической деятельности на базе подразделений МЧС России начал организацию создания совместных центров распространения и приема космической информации с целью дальнейшего развития системы космического мониторинга МЧС России. Был создан центр для обработки космической информации на базе Главного управления МЧС России по Мурманской области. Далее рассматриваются варианты размещения еще одного такого центра на территории Дудинки. Одним из путей ре-

шения задач по совершенствованию системы космического мониторинга представляется развитие сотрудничества с крупнейшими компаниями нефтегазовой отрасли

**Выводы.** Для создания системы мониторинга на основе ГИС следует:

1) разработать региональные унифицированные методические подходы к сбору и анализу информации (комплекс показателей с учетом природных особенностей и техносферы региона);

2) для разработки планов и программ обеспечения безопасности на территории ответственности Арктического комплексного аварийно-спасательного центра МЧС России сделать аналитические и прогностические результаты обработки информации основанием для принятия конкретных решений;

3) научно обосновать размещение точек и формирование программ монито-

ринга в соответствии с местными условиями, позволяющими сформулировать выводы об уровне опасности;

4) расширить систему, включив в нее сбор и анализ информации о факторах природного и техногенного характера и возможных последствий их взаимовлияния;

5) наладить связь с коренным населением через старост и организовать их подготовку в плане отслеживания показателей;

6) активизировать работу со школами с учетом опыта Аляски.

Активизировать внедрение в практику АКАСЦ МЧС России цифровых и геоинформационных технологий, позволяющих повысить качество аналитической обработки данных о природных и техногенных угрозах на территории ответственности АКАСЦ МЧС России.

#### Литература

1. Соловьянов А. А. О сохранении природной среды Арктической зоны Российской Федерации // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 1. С. 94–103.
2. Утечки из нефтепроводов. URL: <http://newsruss.ru/doc/index.php> (дата обращения: 19.05.2019).
3. Калач А. В., Калач Е. В., Черепяхин А. М. Образование опасных факторов пожара на объектах нефтегазового комплекса при использовании горючей среды на основе тетрахлорметана // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 2 (13). С. 13–17.
4. Россия тратит на арктические трубопроводы 55 млрд рублей/год. URL: <https://neftegaz.ru/news/view/135745-Rossiya-tra> (дата обращения: 19.05.2019).
5. Контроль состояния трубопроводов. URL: <https://www.smis-expert.com/pages/uslugi/proektirovanie/monitoring-truboprovodov.html> (дата обращения: 19.05.2019).
6. Калач А. В. Обеспечение пожарной безопасности магистральных нефтепроводов с применением беспилотных летательных судов // Комплексная безопасность и физическая защита. Труды VII Мемориального семинара профессора Б. Е. Гельфанда XIV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 248–255.
7. Калач А. В., Агеев П. М., Сысоева Т. П. Особенности проведения экспертных исследований вспышек и взрывов, возникающих при пожаре // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 19–22.
8. Токарчук С. М., Токарчук О. В., Трофимчук Е. В. Методические основы создания региональных электронных эколого-географических атласов // Псковский региональный журнал. 2015. № 22. С. 95–110.
9. Горбанев С. А. и др. Организация межрегиональной системы мониторинга с использованием технологий геоинформационной системы на примере Арктической зоны Российской Федерации // Гигиена и Санитария. 2018. Т. 97, № 12. С. 1134–1140.
10. Геоинформационная система национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС России. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnaya-sistema-natsionalnogo-tsentra-upravleniya-v-krizisnyh-situatsiyah-mchs-rossii> (дата обращения: 19.05.2019).

#### References

1. Solov'yanov A. A. O sohraneni prirodnoj sredy Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii // Arktika. Ekologiya i ekonomika. 2011. № 1. P. 94–103.
2. Utechki iz nefteprovodov. URL: <http://newsruss.ru/doc/index.php> (data obrashcheniya: 19.05.2019).

3. Kalach A. V., Kalach E. V., Cherepahin A. M. Obrazovanie opasnyh faktorov pozhara na ob"ektah neftegazovogo kompleksa pri ispol'zovanii goryuchej sredy na osnove tetrahlormetana // Sibirskij pozharno-spatel'nyj vestnik. 2019. № 2 (13). P. 13–17.
4. Rossiya tratit na arkticheskie truboprovody 55 mlrd rublej/god. URL: <https://neftegaz.ru/news/view/135745-Rossiya-tra> (data obrashcheniya: 19.05.2019).
5. Kontrol' sostoyaniya truboprovodov. URL: <https://www.smis-expert.com/pages/uslugi/proektirovanie/monitoring-truboprovodov.html> (data obrashcheniya: 19.05.2019).
6. Kalach A. V. Obespechenie pozharnoj bezopasnosti magistral'nyh nefteprovodov s primeneniem bespilotnyh letatel'nyh sudov // Kompleksnaya bezopasnost' i fizicheskaya zashchita: Trudy VII Memorial'nogo seminaru professora B. E. Gel'fanda XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. P. 248–255.
7. Kalach A. V., Ageev P. M., Sysoeva T. P. Osobennosti provedeniya ekspertnyh issledovaniy vspyshek i vzryvov, voznikayushchih pri pozhare // Sibirskij pozharno-spatel'nyj vestnik. 2021. № 2 (21). P. 19–22.
8. Tokarchuk S. M., Tokarchuk O. V., Trofimchuk E. V. Metodicheskie osnovy sozdaniya regional'nyh elektronnyh ekologo-geograficheskikh atlasov // Pskovskij regionologicheskij zhurnal. 2015. № 22. P. 95–110.
9. Gorbanev S. A. et al. Organizaciya mezhregional'noj sistemy monitoringa s ispol'zovaniem tekhnologij geoinformacionnoj sistemy na primere Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii // Gigiena i Sanitariya. 2018. T. 97, № 12. P. 1134–1140.
10. Geoinformacionnaya sistema nacional'nogo centra upravleniya v krizisnyh situacijah MChS Rossii. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnaya-sistema-natsionalnogo-tsentra-upravleniya-v-krizisnyh-situatsiyah-mchs-rossii> (data obrashcheniya: 19.05.2019).

УДК 628.16.0

al-3x@mail.ru

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА УСТАНОВКЕ  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НУЖД НАСЕЛЕНИЯ ВОДОЙ  
ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА**

**INTENSIFICATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS  
AT THE UNIT TO PROVIDE THE NEEDS OF THE POPULATION WITH WATER  
IN EMERGENCY SITUATIONS OF A NATURAL CHARACTER**

*Ширниех А. А., Московский государственный технический  
университет имени Н. Э. Баумана, Москва*

*Shirniekh A., Bauman Moscow State  
Technical University, Moscow*

Обеспечение населения водой при чрезвычайных ситуациях природного характера может стать одним из главных вопросов спасения жизни людей. С каждым годом частота и масштаб природных стихийных бедствий увеличивается. Для решения этого вопроса автором разработана мобильная установка очистки воды, которая способна очистить воду до питьевого качества. Она включает в себя самые передовые подходы в обработке воды. Проведен ряд опытов, направленных на выявление способов интенсификации процесса водоподготовки. С помощью компьютерного моделирования усовершенствованы некоторые конструкции. Установка размещается в прицепе и свободно может перемещаться по зоне бедствия. Чтобы не вызвать у пострадавших панику и давку в очереди за водой, таких установок может быть развернуто несколько штук в разных локациях временного размещения людей. Установка полностью автономна, а в качестве источника воды может выступать ближайших источник любого качества.

*Ключевые слова:* водоподготовка, коагуляция, контактная камера, питьевая вода, механический фильтр, мобильная установка.

Providing the population with water in natural emergencies can become one of the main issues in saving lives. The frequency of natural disasters increases every year. To solve this issue, the author has developed a mobile water purification unit, which is capable of purifying water to drinking quality. It includes the most advanced water treatment approaches. A number of experiments have been carried out aimed at identifying ways to intensify the process of water treatment. Some designs have been improved with the help of computer simulation. The unit is housed in a trailer and can move freely in the disaster area. In order not to cause panic and crush on the victims in the queue for water, several such installations can be deployed in different locations for temporary accommodation of people. The installation is completely autonomous, and the nearest source of any quality can act as a source of water.

*Keywords:* water treatment, coagulation, contact chamber, drinking water, mechanical filter, mobile unit.

### Введение

Чрезвычайные ситуации в населенных пунктах бывают самого разного характера. В России ежегодно происходит более 20 кризисных наводнений. По данным Росгидромета, этим стихийным бедствиям подвержены около 500 тыс. км<sup>2</sup>. Согласно [1] в 2017 г. произошло 42, а в 2018 г. 44 природных чрезвычайных ситуаций. Так, например, в 2010 г. в Краснодарском крае были подтоплены 30 населенных пунктов, погибли 17 человек, пострадали 7,5 тысяч человек. В 2012 г. сильнейшие ливни привели к самому разрушительному наводнению Краснодарского края, пострадали 10 населенных пунктов, погибли 168 человек. При любой чрезвычайной ситуа-

ции недостаток чистой питьевой воды может стать главной проблемой выживания для людей.

### Разработка установки

Для решения этой проблемы предлагается разработать мобильную установку для очистки воды, которую, в случае необходимости, можно будет легко доставить и развернуть в зоне бедствия. На основе анализа более 80 источников научной литературы, в том числе различных патентов зарубежных и отечественных авторов, а также по результатам существующих моделей подобных установок, всех их достоинств и недостатков, предложена следующая принципиальная схема (рис. 1).

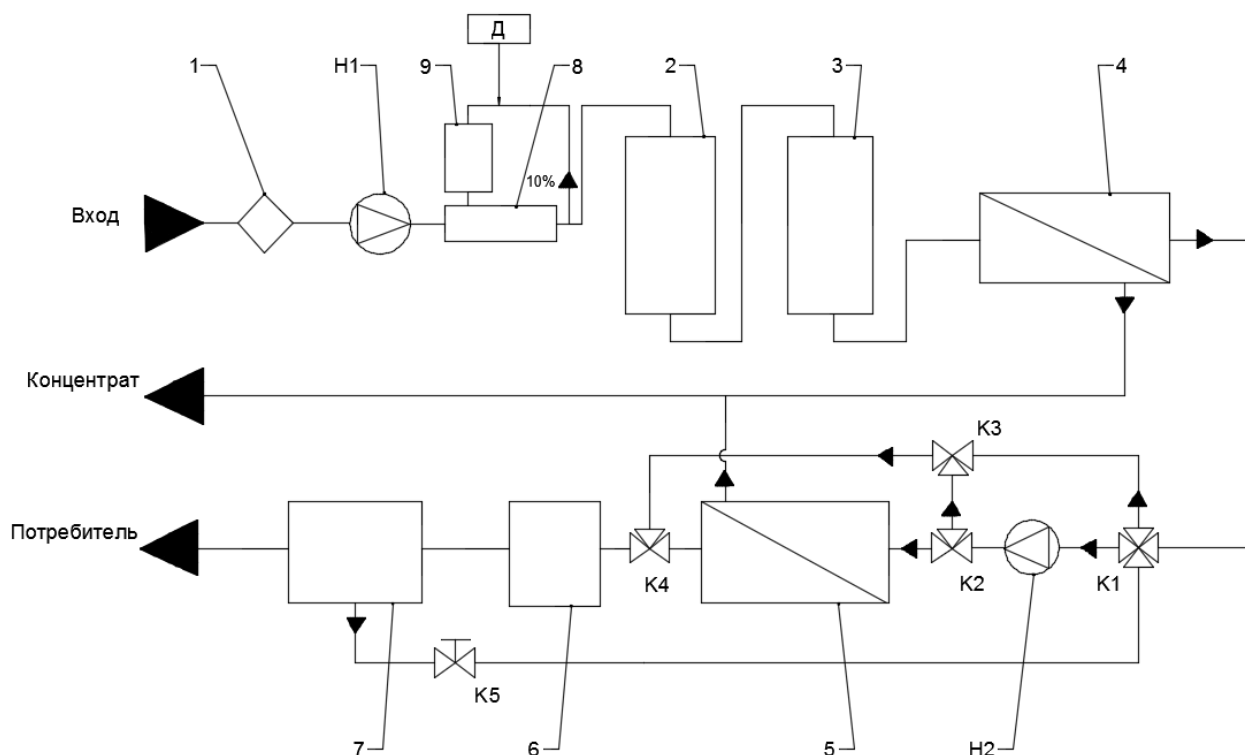


Рисунок 1. Принципиальная схема установки:

- 1 – предфильтр; 2 – механический фильтр; 3 – угольный фильтр;  
 4 – ультрафильтрационная мембрана; 5 – обратноосмотическая мембрана;  
 6 – ультрафиолетовый стерилизатор; 7 – резервуар чистой воды; 8 – камера смешения;  
 9 – контактная камера; Н1 – насос для подачи исходной воды;  
 Н2 – насос для обратноосмотической мембраны; Д – дозатор коагулянта

Однако изначально принципиальная схема выглядела несколько иначе, в

ней отсутствовала камера смешения, контактная камера и дозатор коагулянта. Конечный вариант был сформирован после



проведения ряда опытов по изучению способов интенсификации водоподготовки на фильтрах. В качестве критерия, определяющего эффективность предлагаемых способов интенсификации процесса, был выбран такой органолептический параметр качества воды, как мутность. Согласно [2] значение этого норматива должно быть не более 2,6 единиц мутности по формазину

для питьевой воды. На текущем этапе будет рассматриваться только блок фильтров и способы повышения его эффективности, которые уже учтены в предлагаемой схеме.

Все опыты были проведены на учебном лабораторном стенде «Очистка сточных вод», который представлен на рис. 2. Для проведения опытов использовалась лишь часть стенда с фильтрами.



Рисунок 2. Учебный лабораторный стенд «Очистка сточных вод»

Опыт 1. Проверка производительности установки. Для данного опыта были использованы следующие подручные средства: секундомер, емкость объемом 2

литра. Опыт проходил следующим образом: запускался стенд на чистой воде и засекалось время заполнения емкости объемом в 2 литра. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты опыта № 1 производительности установки

№ опыта	Время заполнения, с	Производительность, л/ч
1	34	211,8
2	39	188,6
3	35	205,7
4	36	200

После обработки эксперимента получили доверительный интервал для значения производительности (201.5-9.66;201.5+9.66)

Опыт 2. Эффективность фильтров. Опыт проводился с использованием двух

колонок с фильтрующим материалом, а также дополнительного резервуара чистой воды и заранее подготовленной модельной водой (рис. 3).



Рисунок 3. Резервуар с модельной водой

Проводилась процедура нефелометрии на исходной модельной воде и на воде из резервуара чистой воды (табл. 2).

Таблица 2  
Результаты опыта № 2. Нефелометрические измерения

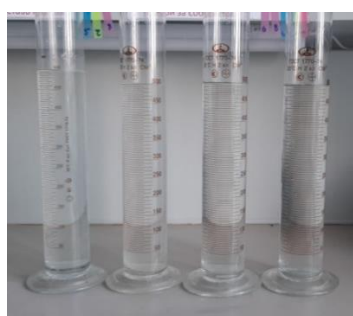
№ опыта	NTU до фильтрования	NTU после фильтрования	Эффективность, %
1	32,2	10,9	66,1
2	30,3	11	63,7
3	33,5	11,3	66,3

После обработки эксперимента получили доверительный интервал NTU до фильтрования (32-1.82;32+1.82), а для NTU после фильтрования (11.07-0.2;11.07+0.2).

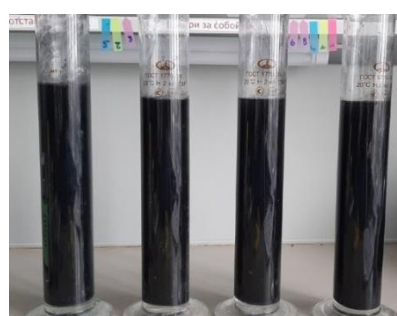
Как мы можем заметить, использование только блока фильтров позволяет достичь эффективности порядка 65,4 %, что достаточно хороший результат, однако недостаточный. Для повышения эффективности попробуем использовать коагулянт, но

для начала подберем оптимальную концентрацию.

Опыт 3. Подбор оптимальной концентрации коагулянта. В качестве коагулянта был выбран «Аква-Аурат» ( $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$ ). Для проведения опытов было использовано четыре цилиндра на 0,5 л. Далее была подготовлена модельная вода путем добавления размолотого угля АГ-3 (рис. 4).



а



б

Рисунок 4. Мензурки с исходной и модельной водой:  
а – исходная вода; б – модельная вода

Был подготовлен 5%-й раствор «Аква-Аурата» и в каждую из мензурок с помощью стеклянной пипетки был добавлен соответствующий объем раствора

(слева направо: 1 мл, 2 мл, 3 мл, 4 мл). Качественные результаты представлены на рис. 5.

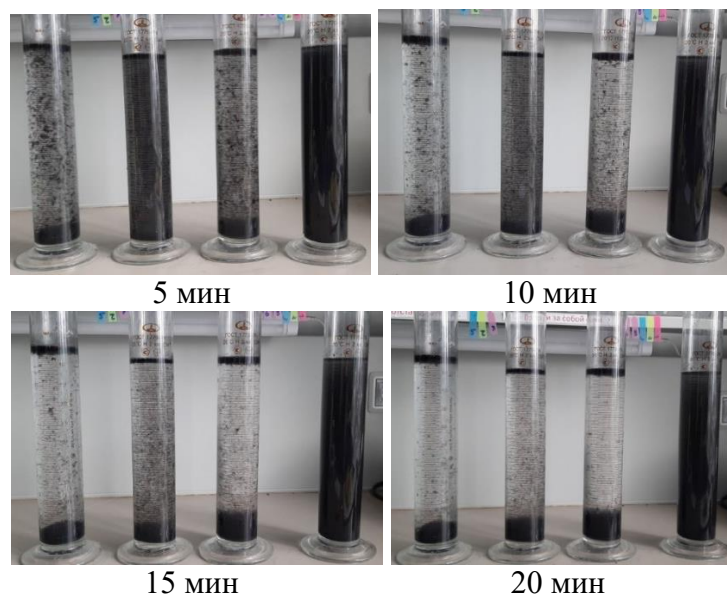


Рисунок 5. Добавление коагулянта в модельную воду

Как мы можем увидеть, наибольшую эффективность показывает минимальная концентрация коагулянта в 1 мл 5%-го раствора «Аква-Аурат».

Опыт 4. Использование коагулянта в скорых фильтрах. Для этого опыта в подготовленную модельную воду объемом 12

литров было добавлено 24 мл 5%-го раствора «Аква-Аурата». Также была проведена процедура нефелометрии на модельной воде и из резервуара чистой воды. Полученные результаты можно увидеть в табл. 3.

Таблица 3  
Результаты опыта № 4. Нефелометрические измерения

№ опыта	NTU до фильтрования	NTU после фильтрования	Эффективность, %
1	57	6,6	88,4
2	55,9	6,1	89,1
3	56,4	6,0	89,3

После обработки эксперимента получили доверительный интервал NTU до фильтрования (56.4-0.6;56.4+0.6), а для NTU после фильтрования (6.23-0.36;6.23+0.36).

Промежуточный итог проведения исследования. Использование коагулянтов является достаточно оправданным способом интенсификации водоподготовки, что можно заметить из сводной табл. 4.

Таблица 4  
Сводная таблица № 1

	Фильтрование без коагулянта	Фильтрование с коагулянтом
NTU	11,07±0,2	6,23±0,36
Эффективность, %	65,4	88,9

Увеличение эффективности на 23,5 % значительно снизит нагрузку на следующие ступени водоподготовки, снизит эксплуатационные затраты и повысит качество воды для потребителя.

Однако эффективность перемешивания воды с реагентом можно еще увеличить за счет многократной рециркуляции потока в камере смешивания через зоны ввода новых порций реагента. Процесс коагуляционного структурообразования

ускоряется в присутствии дополнительных поверхностей раздела фаз [3, 4], в качестве которого может выступать дробленый керамзит, щебень или гравий. Подобный процесс носит название контактной коагуляции.

С. М. Салмин в своей работе [5] провел ряд экспериментов и пришел к выводу, что наилучшей схемой введения коагулянта является следующая (рис. 6).

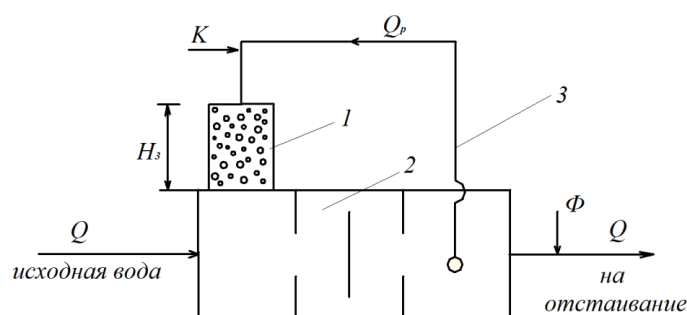


Рисунок 6. Схема моделирования реагентной обработки:

1 – контактная камера; 2 – гидравлический смеситель; 3 – контур рециркуляции;  
K и  $\Phi$  – дозирование коагулянта и флокулянта;  $H_z$  – высота загрузки

Вводить необходимый объем коагулянта нужно в рециркуляционный контур, который составляет 7–10 % объема от общей производительности установки.

Однако в работе рассматривали в качестве загрузки только щебень и гравий. Автором посредством компьютерного моделирования, была разработана искус-

ственно созданная камера хлопьеобразования (рис. 7), которая будет иметь ряд своих преимуществ, например, меньший вес, отсутствие необходимости в замене загрузки и повышенная эффективность. Для моделирования использовалась программная система конечно-элементного анализа ANSYS.

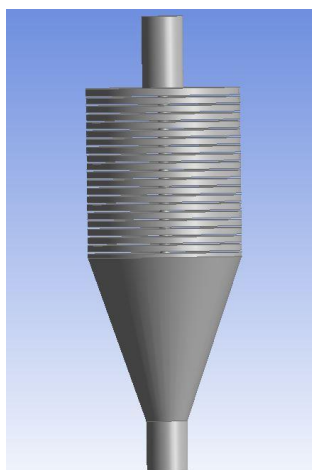


Рисунок 7. Проточная часть камеры хлопьеобразования

Предложенная модель имеет название «гармошка», т. к. движение потока воды напоминает изгибы гармошки. Вода движется от центра к периферии и обратно, при этом обладает максимальной площадью контакта с поверхностью. В нижней части имеется конфузур, назначение которого в том, чтобы сформированные хлопья в камере при переходе в патрубок не были разрушены, т. к. было замечено, что при резком переходе из камеры в патрубок образуются сильные турбулентные потоки.

Повышение эффективности осветления с использованием предлагаемой схемы (рис. 6), согласно [5], может быть определено по формуле (1). Для оценки эффективности применения контактной камеры хлопьеобразования для рассматриваемой модели примем эту формулу, но с учетом использования загрузки в виде щебня. Для оценки точной эффективности предлагаемой модели необходимо провести ряд дополнительных опытов.

$$\Delta \varepsilon = 1,12 * G^{0,17} * (t - 8,6)^{0,28} * \left(\frac{0,01}{d_3}\right)^{0,1} * \left(\frac{Q_p}{Q}\right)^{0,3} = 1,12 * 400^{0,17} * (12,8 - 8,6)^{0,28} * \left(\frac{0,01}{0,01}\right)^{0,1} * \left(\frac{0,0000056}{0,000056}\right)^{0,3} = 5,94 \%, \quad (1)$$

где  $G$  – градиент скорости при перемешивании рециркуляционного потока в контактной загрузке,  $400 \text{ с}^{-1}$ , согласно таблице 4.1 [5];  $t$  – время взаимодействия воды с загрузкой,  $12,8 \text{ с}$ ;  $d_3$  – средний диаметр зерен однородной крупнозернистой загрузки,  $0,01 \text{ м}$  (в качестве аналога);  $Q$  – производительность установки,

$0,000056 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_p$  – расход воды на циркуляционный контур, принимаемый  $0,1Q$ .

Получается, что фильтрование через скорые фильтры с использованием коагулянта с перемешиванием в свободном объеме гидравлического смесителя способно достичь эффективности очистки воды более чем в  $90 \%$ . Значения эффективности представлены в табл. 5.

Таблица 5  
Сводная таблица № 2

	Исходное значение	Фильтрование на скорых фильтрах	Фильтрование на скорых фильтрах с коагулянтом	Фильтрование с коагулянтом на контактной камере
NTU	57	19,7	6,23	2,94
Эффективность, %	–	65,4	88,9	94,84

На основе проделанной работы предлагается следующая модель установки (рис. 8), размещенной в прицепе, верхняя часть которой обтягивается тентом.

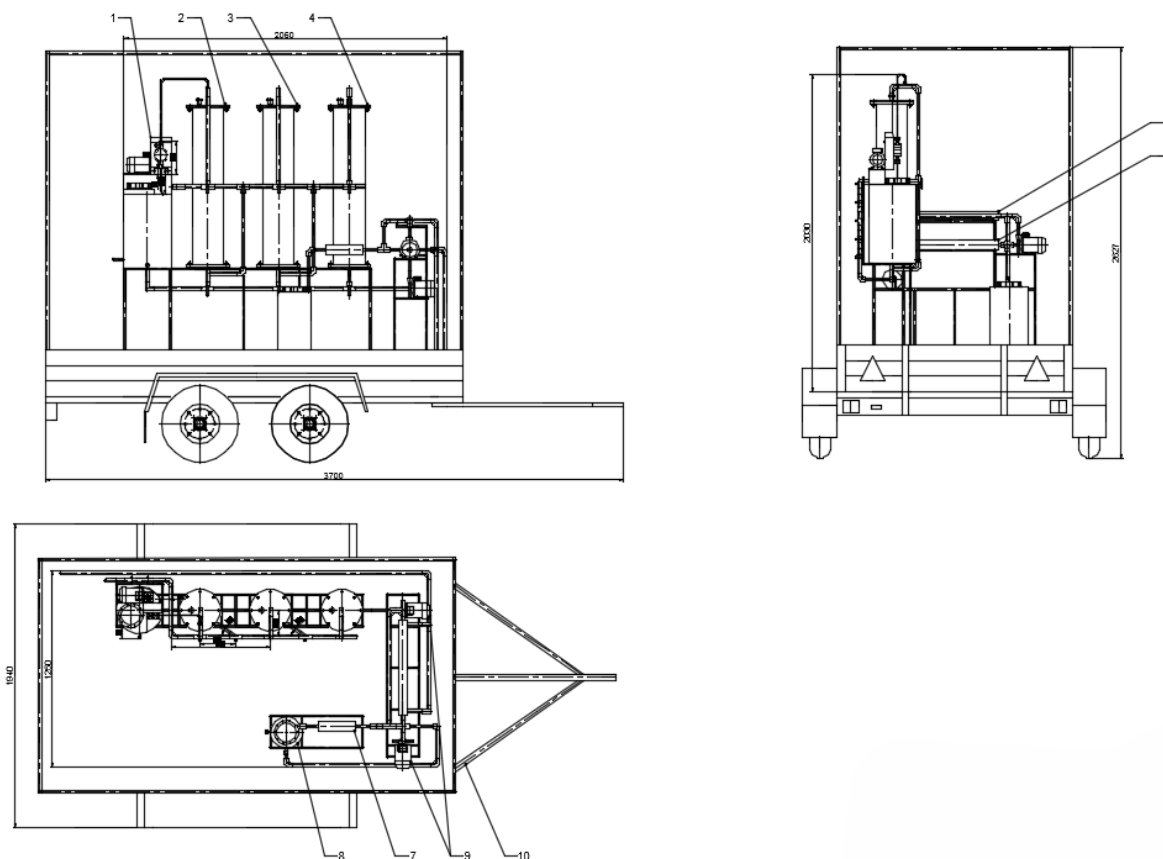


Рисунок 8. Модель мобильной установки по очистке воды

1 – блок коагуляции; 2 – контактная камера; 3 – механический фильтр; 4 – угольный фильтр; 5 – ультрафильтрационная мембрана; 6 – обратноосмотическая мембрана; 7 – ультрафиолетовый стерилизатор; 8 – резервуар чистой воды; 9 – насос; 10 – прицеп

### Заключение

Интенсифицируя процесс фильтрации на фильтрах, возможно увеличить эффективность их работы ориентировочно на 30 % и практически достичь нормативных значений питьевой воды уже на фильтрах. Полученный результат позволяет

уверенно сказать, что предлагаемая установка с поставленной задачей справится. Разработанная модель, размещенная в прицепе, будет мобильной и позволит перемещать установку по зоне бедствия в зависимости от текущих нужд.

### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 г.». М., 2019. 344 с.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
3. Пат. 182602. Российская Федерация. Способ реагентной обработки воды с применением рециркуляции / Е. Ф. Кургаев и др. // Бюллетень. 1996. № 11.
4. Аэров М. Э., Годес О. М., Наринский Д. А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л., 1979. 176 с.
5. Салмин С. М. Коагуляция примесей природных вод с использованием крупнозернистой контактной загрузки: дисс. ... канд. техн. наук. Пенза, 2015.

**References**

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogenogo haraktera v 2018 g.». M., 2019. 344 p.
2. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 № 2 «Ob utverzhenii sanitarnyh pravil i norm SanPiN 1.2.3685–21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov srede obitaniya».
3. Pat. 182602. Rossijskaya Federaciya. Sposob reagentnoj obrabotki vody s primeneniem recirkulyacii / E. F. Kurgaev et al. // Byulleten'. 1996. № 11.
4. Aerov M. E., Todes O. M., Narinskij D. A. Apparaty so stacionarnym zernistym sloem. L., 1979. 176 p.
5. Salmin S. M. Koagulyaciya primesej prirodnyh vod s ispol'zovaniem krupnozernistoj kontaktnoj zagruzki. Penza, 2015.

УДК 614.842/847

hudyakovac@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ****INFLUENCE OF LIFE QUALITY INDEX TO MAIN INDICATORS  
OF THE FIRE SITUATION IN THE RUSSIAN FEDERATION**

*Штерензон В. А.<sup>1,2</sup>, Худякова С. А.<sup>2</sup>, Степанов О. И.<sup>3</sup>, Гренадеров А. Н.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург,  
<sup>2</sup>Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,  
<sup>3</sup>Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск*

*Shterenzon V.<sup>1,2</sup>, Khudyakova S.<sup>2</sup>, Stepanov O.<sup>3</sup>, Grenaderov A.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Ural Federal University named after the First President  
of Russia B. Yeltsin, Yekaterinburg,  
<sup>2</sup>The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,  
<sup>3</sup>Yugra State University, Yugra*

Актуальность данной работы определяется необходимостью всестороннего изучения факторов, оказывающих существенное влияние на показатели обстановки с пожарами. Задача исследования прогнозирования показателей обстановки с пожарами очень сложна, но неизменно очень актуальна. В данной работе авторы исследуют корреляционную связь между основными показателями обстановки с пожарами в субъектах РФ и индексом качества жизни регионов в 2013–2019 гг. Между количеством пожаров и индексом качества жизни, а также между материальным ущербом и индексом качества жизни выявлена средняя корреляционная связь. Не выявлена корреляционная связь количества пожаров, числа погибших и материального ущерба с плотностью населения и количеством сотрудников пожарной охраны в регионе.

*Ключевые слова:* пожар, пожарная безопасность, количество пожаров, число погибших, материальный ущерб, индекс качества жизни, статистическое моделирование, корреляционная связь.

The relevance of this work is determined by the need for a comprehensive study of factors that have a significant impact to the fires situation indicators. The task of predicting fires situation indicators is very difficult, but invariably very urgent. In this work, the authors investigate the correlation between the main fires situation indicators in the constituent entities of the Russian Federation and the region's life quality index in 2013-2019 years. A middle correlation was found between the fire's quantity and the life quality index, as well as between material damage and the life quality index. No correlation was found between the fire's quantity, the deaths quantity and material damage with the population density and the amount of fire brigades in the region.

*Keywords:* fire, fire safety, number of fires, death toll, material damage, quality of life index, statistical modeling, correlation.



## Введение

Долгие тысячелетия человек создавал искусственные технические системы, которые, с одной стороны, повышали его безопасность, конкурентоспособность, комфорт, но с другой стороны, запустили в «действие механизмы, нарушившие естественный баланс в окружающей среде, создали новый вид антропогенного воздействия на среду обитания человека, в корне изменили промышленную инфраструктуру планеты» [1]. Параллельно с социотехническим развитием изменяется и возрастает роль человека в сфере производства, усиливается напряжение в его взаимоотношении с природой.

Пожарная безопасность является важнейшей составляющей национальной безопасности, частью государственной политики, а ее обеспечение относится к приоритетным функциям государства, гарантирующим защиту конституционных прав и свобод граждан [2, 3]. Низкий уровень пожарной безопасности и возникающие по этой причине пожары приводят к человеческим и финансовым потерям, оказывают негативное влияние на экономическое развитие регионов страны, оставляют психологические проблемы участникам страшных событий.

*Актуальность* данной работы определяется всевозрастающими показателями возникновения пожаров, необходимостью всестороннего изучения факторов, оказывающих существенное влияние на показатели обстановки с пожарами. Задача исследования прогнозирования показателей обстановки с пожарами очень сложна, но неизменно очень актуальна. Общеизвестно, что факторов пожарной опасности много – климатические, экономико-социальные, психологические, технологические, антропогенные факторы. Ранее в работе [4] авторы показали, что основные показатели обстановки с пожарами (количество пожаров, число погибших, материальный ущерб) в РФ не имеют даже средней корреляционной связи с климатическими,

гендерными, образовательными и профессиональными факторами. В данной работе авторы исследуют корреляционную связь между основными показателями обстановки с пожарами в субъектах РФ и такими факторами, как индекс качества жизни региона, численность личного состава пожарной охраны в регионе, плотность населения в регионе. Исследуемый период – с 2013 по 2019 гг. Все исходные данные взяты из открытых и общедоступных источников [5–16].

*Цель работы* – комплексное исследование и анализ влияния индекса качества жизни на возникновение пожаров и их последствия в регионах Российской Федерации.

*Объект исследования* – обстановка с пожарами в регионах Российской Федерации.

*Предмет исследования* – корреляционная связь между основными показателями обстановки с пожарами в регионах Российской Федерации, с одной стороны, и индексом качества жизни, с другой стороны.

*Методы исследования* – для решения поставленных задач и доказательства сформулированных утверждений применялись методы: системного анализа, математической статистики, статистического и кластерного анализа, математического анализа и моделирования, а также экспертный метод (в отборе исследуемых факторов [4]).

*Программное обеспечение* – статистическая графическая система Statgraphics for Windows.

*Теоретическая новизна* заключается в том, что статистическим моделированием количественно выявлено влияние комплексного фактора – индекса качества жизни региона – на основные показатели обстановки с пожарами в регионах РФ.

*Практическая ценность* проведенного исследования заключается в получении статистических моделей для прогнозирования зависимости числа пожаров, коли-

чества погибших и величины материального ущерба от индекса качества жизни. Также полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе для подготовки специалистов по специальности 20.05.01 Пожарная безопасность и направлению 20.03.01 Техносферная безопасность.

### Исследование влияния индекса качества жизни и численности сотрудников пожарной охраны на основные показатели обстановки с пожарами в Российской Федерации

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства [3]. Пожар как синергическое явление, делает пожарную опасность комплексной проблемой, решение которой возможно на стыке междисциплинарных подходов, методов и критериев – экономических, социальных, техногенных, медико-психологических и т. д. Выявление и исследование закономерностей, связывающих разнообразные системные

факторы пожарной опасности и последствия пожаров, работают на укрепление ресурсосберегающих систем государства.

Первоначально исследовалась зависимость между количеством пожаров, числом погибших и материальным ущербом за период 2013–2019 гг., уточнены полученные ранее [4] аналогичные зависимости для 2018 г.

Между количеством пожаров и числом погибших выявлена высокая корреляционная связь, а между материальным ущербом от пожаров и количеством пожаров выявлена средняя корреляционная связь (рис. 1–4). Причина средней корреляционной связи между материальным ущербом и количеством пожаров иллюстрирует рис.4. Пожар – это случайное событие, и величина материального ущерба от одного пожара есть величина случайная. Количество пожаров в разных ситуациях может быть одинаковым, а финансовые убытки могут существенно отличаться. Этим объясняется средняя корреляционная связь между материальным ущербом от пожаров и количеством пожаров.

$$N_{\text{пог}} = 29,31 + 0,05 \cdot N_{\text{пож}} \quad \rho=0,82 \quad (1)$$

где:  $N_{\text{пог}}$  – число погибших, чел,  
 $N_{\text{пож}}$  – количество пожаров, ед.

$$\text{Mat}U = 17179,3 + 126,23 \cdot N_{\text{пож}} \quad \rho=0,53 \quad (2)$$

где:  $\text{Mat}U$  – материальный ущерб, тыс.руб,  
 $N_{\text{пож}}$  – количество пожаров, ед.

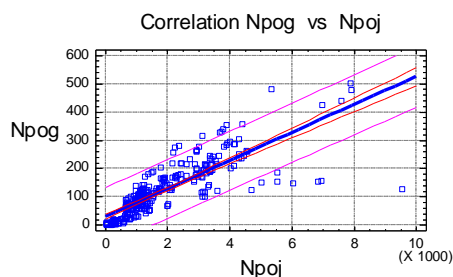


Рисунок 1. Иллюстрация корреляционной связи между числом погибших  $N_{\text{пог}}$  и количеством пожаров  $N_{\text{пож}}$

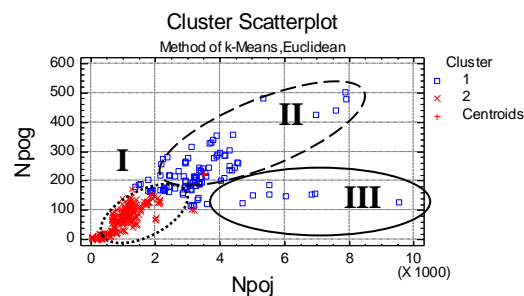


Рисунок 2. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между числом погибших  $N_{\text{пог}}$  и количеством пожаров  $N_{\text{пож}}$

Как следует из рис. 2, можно выделить три группы российских регионов. В группах I и II очевидна сильная корреляционная связь между количеством пожаров и числом погибших, в регионах группы III при большем количестве пожаров число погибших меньше, чем в регионах групп I

и II, корреляционной связи между исследуемыми факторами нет. Судя по всему, в группу III попадают регионы с невысокой плотностью населения и регионы с хорошо организованными пожарно-спасательными службами.

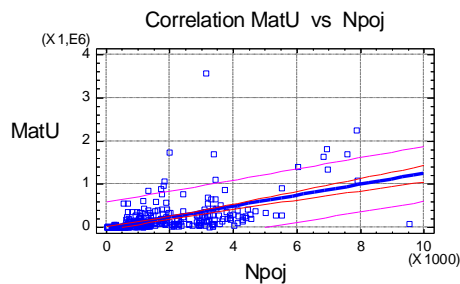


Рисунок 3. Иллюстрация корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и количеством пожаров  $N_{poj}$

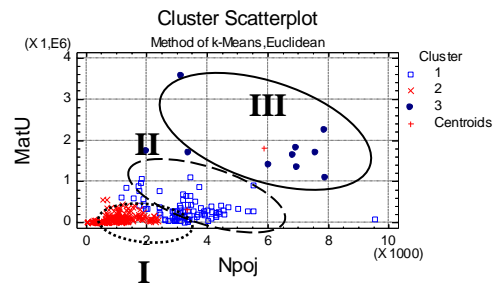


Рисунок 4. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и количеством пожаров  $N_{poj}$

Рис. 4 иллюстрирует различия регионов с точки зрения материального ущерба от пожаров. Очевидно, что в выделенных группах закономерности влияния количества пожаров на материальный ущерб различны: в регионах групп I и II при существенных отличиях в количестве пожаров материальный ущерб сопоставим, в регионах группы III больше количество пожаров и больше материальный ущерб.

как количественная характеристика способности субъекта РФ обеспечить благоприятные условия для работы, жизни и развития жителей данного региона. Индекс качества жизни оценивается по 100-бальной шкале и отражает ключевые стороны жизни людей: уровень совокупного экономического развития региона и доходов населения; демография; здоровье и образование населения; климат; экология и безопасность.

Понятие «Качество жизни» представляет собой интегрированное междисциплинарное понятие, отражающее совокупные результаты деятельности людей в самых разных областях жизнедеятельности человека и формируемое в ощущениях людей на основе их менталитета, культуры, системы ценностей, личных целей, стандартов и интересов. В 2012 г. исследовательской группой российского рейтингового агентства «РИА Рейтинг» был разработан [16] индекс качества жизни регионов

Исследование выявило корреляционную связь (рис. 5, 6) между индексом качества жизни и численностью населения субъекта РФ, что представляется вполне логичным – уровень создаваемого совокупного «качества жизни» (и положительные следствия этого), как правило, выше в тех субъектах РФ, в которых больше численность населения:

$$Index = 27,966 + 0,013 \cdot \sqrt{N_{asel}} \quad \rho=0,70 \quad (3)$$

где:  $Index$  – индекс качества жизни,  $N_{asel}$  – численность населения в регионе

(субъекте РФ), тыс. чел. Из рис. 6 очевидно, что влияние численности населения

на индекс качества жизни региона РФ очень разнонаправленно в выделенных группах регионов: в группах I и III с увели-

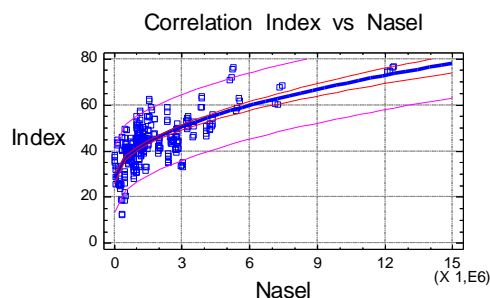


Рисунок 5. Иллюстрация корреляционной связи между индексом Index качества жизни и численностью населения Nasel в регионе

Исследование выявило сильную и вполне логичную корреляционную связь (рис. 7, 8) между численностью личного

$$N_{PojO} = 0,061 \cdot Nasel^{0.58} \quad \rho=0,88 \quad (4)$$

где:  $N_{PojO}$  – численность пожарной охраны в регионе, чел,  $Nasel$  – численность населения в регионе, тыс.чел.

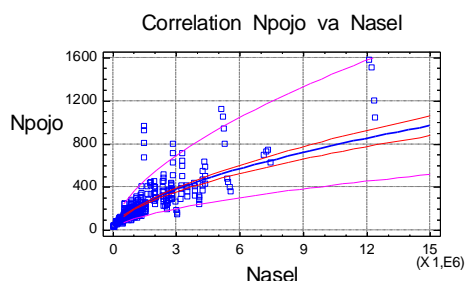


Рисунок 7. Иллюстрация корреляционной связи между численностью пожарной охраны  $N_{PojO}$  и численностью населения в регионе Nasel

Также эта корреляционная связь напрямую следует из основ государственной политики в части прикрытия населенных пунктов подразделениями пожарной охраны.

Однако и здесь не все так однозначно: как следует из рис. 7–8 в регионах с одинаковой численностью населения (группы II и III) численность сотрудников

численности населения индекс растет (но с разной скоростью), а в группе II такой связи нет.

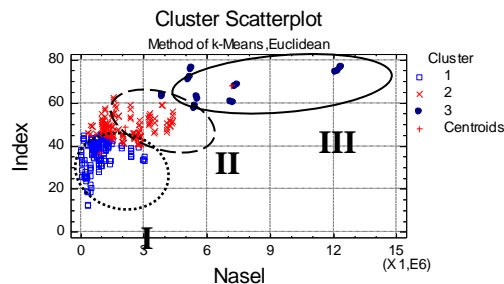


Рисунок 6. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между численностью пожарной охраны  $N_{PojO}$  и численностью населения в регионе Nasel

состава пожарной охраны и численностью населения в регионе (субъекте РФ):

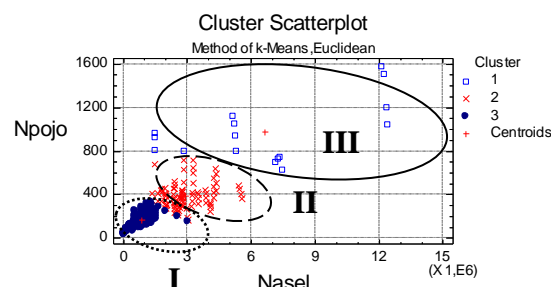


Рисунок 8. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между численностью пожарной охраны  $N_{PojO}$  и численностью населения в регионе Nasel

пожарной охраны может существенно отличаться.

При исследовании влияния индекса качества жизни на показатели обстановки с пожарами между количеством пожаров, числом погибших, материальным ущербом и индексом качества жизни была выявлена средняя корреляционная связь (5)–(8) (рис.9–14):

$$N_{poj} = (-2,62 + 0,229 \cdot Index)^2 \quad \rho=0,58 \quad (5)$$

где  $N_{poj}$  – количество пожаров, ед;  $Index$  – индекс качества жизни,

$$N_{pog} = (-0,026 + 0,955 \cdot Index)^2 \quad \rho=0,53 \quad (6)$$

$N_{pog}$  – число погибших, чел.

$$MatU = -572526,0 + 17986,1 \cdot Index \quad \rho=0,53 \quad (7)$$

где  $MatU$  – материальный ущерб, тыс. руб.

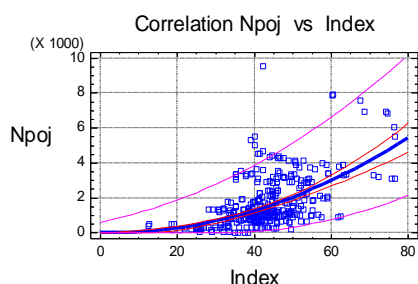


Рисунок 9. Иллюстрация корреляционной связи между количеством пожаров  $N_{poj}$  и индексом  $Index$  качества жизни

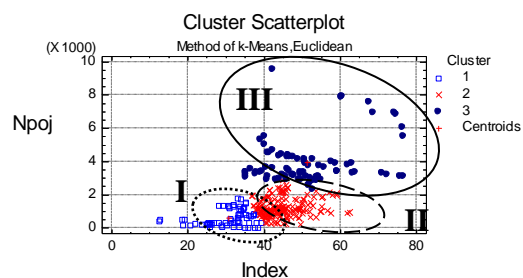


Рисунок 10. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между количеством пожаров  $N_{poj}$  и индексом  $Index$  качества жизни

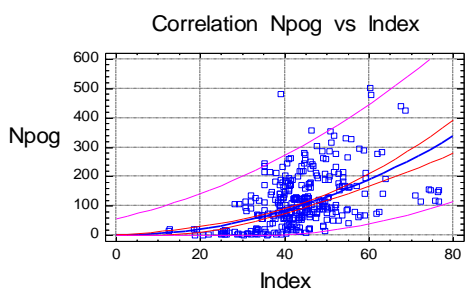


Рисунок 11. Иллюстрация корреляционной связи между числом погибших  $N_{pog}$  и индексом  $Index$  качества жизни

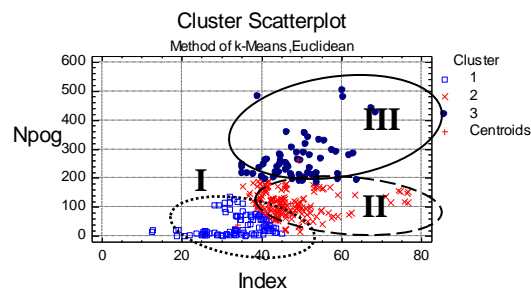


Рисунок 12. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между числом погибших  $N_{pog}$  и индексом  $Index$  качества жизни

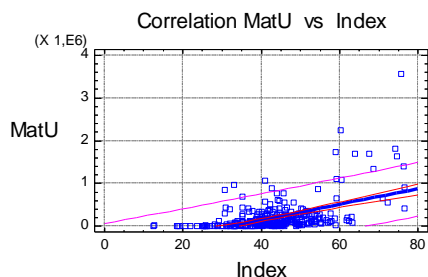


Рисунок 13. Иллюстрация корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и индексом  $Index$  качества жизни

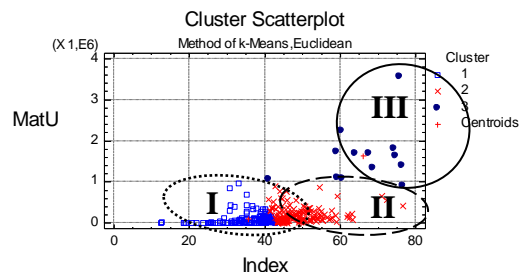


Рисунок 14. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и индексом  $Index$  качества жизни

На рис. 10, 12, 14 можно видеть несколько групп регионов с разнонаправленным взаимовлиянием исследуемых факторов. Средний уровень корреляционной связи между количеством пожаров, числом погибших, материальным ущербом, с одной стороны, и индексом качества жизни, с другой стороны, можно объяснить неоднородностью регионов с точки зрения уровня совокупного экономического развития региона и доходов населения; демографии, здоровья и образования населения; климата, экологии и безопасности и, как следствия, обстановки с пожарами. Можно выделить три группы регионов:

– группа I: в нее входят субъекты РФ (~ треть всех регионов РФ) с низким индексом качества жизни (менее 40 баллов) и наименьшими количеством пожаров, числом погибших и материальным ущербом;

– группа II: в нее входят субъекты со средним уровнем индекса жизни (40–65

баллов) и количеством пожаров, числом погибших и материальным ущербом на уровне группы I;

– группа III: в нее входят субъекты со средним и высоким индексом жизни (40–80 баллов) и большими, чем в группах I и II количеством пожаров, числом погибших и материальным ущербом.

Также из рис. 10, 12, 14 следует, что в регионах групп II и III при одинаковом индексе качества жизни ситуация с количеством пожаров, числом погибших и материальным ущербом может отличаться в разы.

Некоторые авторы вместо абсолютных значений количества пожаров, числа погибших и материального ущерба предлагают исследовать и использовать указанные показатели пожарной опасности региона в расчете на душу населения. В данной работе подобные исследования также были выполнены:

$$\frac{N_{poj}}{N_{asel}} = 0,0016 - 0,00001 \cdot Index \quad \rho = -0,17 \quad (8)$$

где  $N_{poj}$  – количество пожаров, ед;  $Index$  – индекс качества жизни;  $N_{asel}$  – численность населения в регионе, тыс. чел.

$$\frac{N_{pog}}{N_{asel}} = 0,0001 - 0,0000006 \cdot Index \quad \rho = -0,12 \quad (9)$$

$N_{pog}$  – число погибших, чел.

$$\frac{MatU}{N_{asel}} = 0,061 + 0,016 \cdot Index \quad \rho = 0,09 \quad (10)$$

где:  $MatU$  – материальный ущерб, тыс.руб.

Для всех исследованных зависимостей (8)–(10) не выявлено даже средней корреляционной связи, следовательно использовать их для прогнозирования показателей обстановки с пожарами не представляется возможным. Вместе с тем была выявлена группа регионов (~15 регионов) с

невысоким индексом качества жизни  $Index=40...45$ , в которых наблюдается очень высокое число погибших и материальный ущерб на душу населения, что совершенно неочевидно из рис. 9–14.

Для исследования и оценки влияния численности сотрудников пожарной

охраны на показатели обстановки с пожарами был введен относительный показатель, равный отношению численности

населения региона к численности сотрудников пожарной охраны региона. Были получены следующие результаты (рис. 15–20):

$$N_{poj} = 0,0445 \cdot \left(\frac{N_{asel}}{N_{pojo}}\right)^{1,191} \quad \rho=0,62 \quad (11)$$

где  $N_{poj}$  – количество пожаров, ед;  $N_{pojo}$  – численность сотрудников пожарной охраны в регионе, чел;  $N_{asel}$  – численность населения в регионе, тыс. чел.

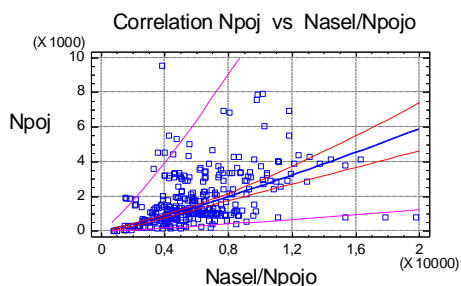


Рисунок 15. Иллюстрация корреляционной связи между количеством пожаров  $N_{poj}$  и относительным показателем  $N_{asel}/N_{pojo}$

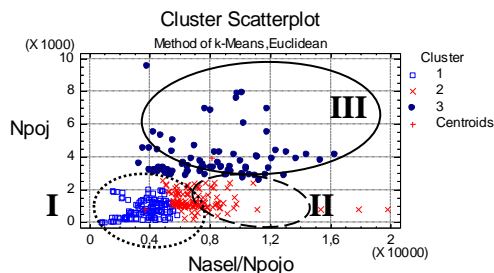


Рисунок 16. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между количеством пожаров  $N_{poj}$  и относительным показателем  $N_{asel}/N_{pojo}$

$$N_{pog} = 37,68 + 0,014 \cdot \left(\frac{N_{asel}}{N_{pojo}}\right) \quad \rho=0,43 \quad (12)$$

где:  $N_{pog}$  – число погибших, чел.

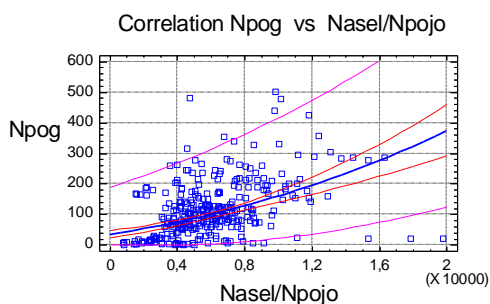


Рисунок 17. Иллюстрация корреляционной связи между числом погибших  $N_{pog}$  и относительным показателем  $N_{asel}/N_{pojo}$

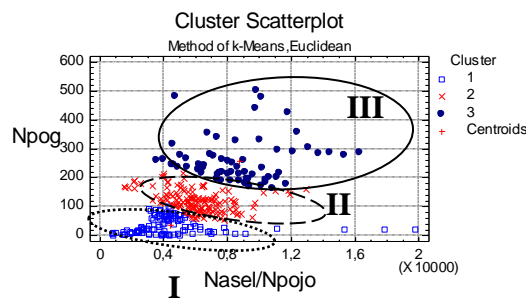


Рисунок 18. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между количеством пожаров  $N_{pog}$  и относительным показателем  $N_{asel}/N_{pojo}$

$$MatU = (211,56 + 0,026 \cdot \left(\frac{N_{asel}}{N_{pojo}}\right)^2 \quad \rho=0,27 \quad (13)$$

где  $MatU$  – материальный ущерб, тыс. руб.

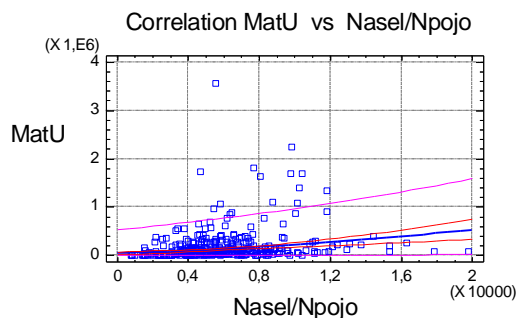


Рисунок 19. Иллюстрация корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и относительным показателем  $N_{sel}/N_{pojo}$

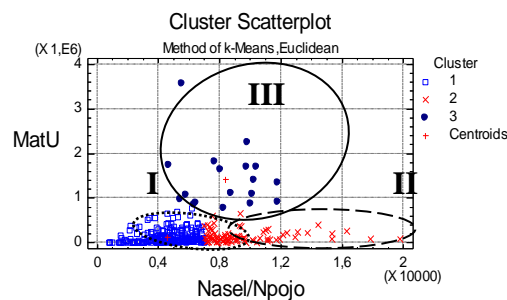


Рисунок 20. Иллюстрация неоднородности корреляционной связи между материальным ущербом  $MatU$  и относительным показателем  $N_{sel}/N_{pojo}$

Рис. 15–20 показывают, что введение относительного показателя, равного отношению численности населения региона к численности сотрудников пожарной охраны региона делает общую картину с показателями обстановки с пожарами еще более неоднородной. Корреляционные связи между исследуемыми факторами – средние и слабые, что затрудняет их использование в практической прогнозной деятельности.

В ходе исследования также исследовалась, но не выявлена (или выявлена слабая) корреляционная связь количества пожаров, числа погибших и материального ущерба с плотностью населения региона.

#### Выводы по результатам исследования

Проведенное исследование показало наличие влияния численности населения на индекс качества жизни в регионе. Выявлено влияние индекса качества жизни на показатели обстановки с пожарами, однако этот комплексный фактор не является определяющим – в регионах с одинаковым индексом качества жизни ситуация с пожарами и их последствиями может отличаться существенно.

Исследование не выявило существенного прямого влияния такого важного фактора, как численность сотрудников пожарной охраны на количество пожаров, число погибших и материальный

ущерб. Использование относительного показателя (число жителей региона на одного сотрудника пожарной охраны) показало, что в различных регионах при одинаковой «человеческой» нагрузке на сотрудника пожарной охраны ситуация с пожарами и их последствиями может отличаться кардинально. По этому результату можно предположить два гипотетических мнения или их совокупность:

- возможны недостатки при формировании статистических данных по пожарам и их последствиям по ряду регионов страны;

- возможно существенное влияние на показатели «качественной» составляющей подразделений пожарной охраны (особенно вероятно при кардинальном различии ситуации с пожарами и их последствиями при одинаковой «человеческой» нагрузке на сотрудника пожарной охраны).

Необходимо продолжить исследование таких факторов, как организационно-техническое обеспечение подразделений пожарной охраны региона, ресурсное обеспечение, организация деятельности по профилактике пожаров, численность и состав органов государственного пожарного надзора.

Также стоит отметить, что изменения в порядок учета пожаров и их последствий, принятые и реализуемые в России с 2019 г., могут существенно повлиять на исследованные зависимости, что потребует



сравнительного анализа за период с 2020 г. При этом представляется более объективным анализ по новым статистическим данным. Выявленные различия (отклонения) в отдельных группах регионов (с идентичными условиями, численностью населения

и пожарной охраны) могут также указывать на существенные недостатки в формировании статистических данных, особенно это проявится в переходный период 2019–2020 годов.

#### Литература

1. Андреев А. А. Система пожарной безопасности: социальный анализ эволюции и функционирования: дисс. ... докт. соц. наук. СПб., 1998. 330 с.
2. Евдокимов А. С. Федеральный государственный пожарный надзор за обеспечением пожарной безопасности населенных пунктов: состояние и пути совершенствования: ... автореф. дис. канд. юрид. наук. Н. Новгород, 2017. 30 с.
3. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»: с изм. и доп. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/federalnye-zakony/840> (дата обращения: 20.08.21).
4. Штерензон В. А., Худякова С. А., Степанов О. И., Гренадеров А. Н. Факторы пожарной опасности регионов Российской Федерации // Техносферная безопасность. 2020. № 4 (29). С. 89–101.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2019 г.: стат. сб. / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2020. 125 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2016 г.: стат. сб. / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2017. 124 с.
7. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 20.08.2021).
8. Россия сегодня. РИАРЕЙТИНГ. URL: <https://riarating.ru/> (дата обращения: 20.08.2021).
9. Реальное время. URL: <https://realnoevremya.ru/> (дата обращения 20.08.2021).
10. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2013. URL: <https://riarating.ru/infografika/20131217/610601622.html> (дата обращения: 20.08.2021).
11. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2014. URL: <https://riarating.ru/infografika/20141222/610641471.html> (дата обращения: 20.08.2021).
12. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2015. URL: <https://riarating.ru/infografika/20160225/630010958.html> (дата обращения: 20.08.2021).
13. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2016. URL: <https://riarating.ru/regions/20170220/630056195.html> (дата обращения: 20.08.2021).
14. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2017. URL: <https://riarating.ru/infografika/20180214/630082471.html> (дата обращения: 20.08.2021).
15. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2018. URL: <https://riarating.ru/infografika/20190219/630117422.html> (дата обращения: 20.08.2021).
16. Качество жизни в российских регионах. Рейтинг 2019. URL: <https://riarating.ru/infografika/20200217/630153946.html> (дата обращения: 20.08.2021).
17. Рейтинг качества жизни регионов России / Гуманитарный портал: Исследования // Центр гуманитарных технологий, 2006–2021 (последняя ред.: 10.03.2021). URL: <https://gtmarket.ru/ratings/quality-of-life-russian-regions-ranking> (дата обращения: 20.08.2021).

#### References

1. Andreev A. A. Sistema požarnoj bezopasnosti: social'nyj analiz jevoljucii i funkcionirovanija: diss. ... dokt. soc. nauk. SPb., 1998. 330 p.
2. Evdokimov A. S. Federal'nyj gosudarstvennyj požarnyj nadzor za obespečeniem požarnoj bezopasnosti naselennyh punktov: sostojanie i puti sovershenstvovanija: ... avtoref. dis. kand. juridich. nauk. N. Novgorod, 2017. 30 p.
3. Federal'nyj zakon ot 21.12.1994 № 69-FZ «O požarnoj bezopasnosti»: s izm. i dop. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/federalnye-zakony/840> (data obrashhenija: 20.08.21).
4. Shterenzon V. A., Hudjakova S. A., Stepanov O. I., Grenaderov A. N. Faktory požarnoj opasnosti regionov Rossijskoj Federacii // Tehnosfernaja bezopasnost'. 2020. № 4 (29). P. 89–101.
5. Pozhary i požarnaja bezopasnost' v 2019 g.: stat. sb. / pod obsh. red. D. M. Gordienko. M., 2020. 125 p.
6. Pozhary i požarnaja bezopasnost' v 2016 g.: stat. sb. / pod obsh. red. D. M. Gordienko. M., 2017. 124 p.
7. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: <https://www.gks.ru> (data obrashhenija: 20.08.2021).
8. Rossiya segodnja. RIAREJTING. URL: <https://riarating.ru/> (data obrashhenija: 20.08.2021).
9. Real'noe vremja. URL: <https://realnoevremya.ru/> (data obrashhenija: 20.08.2021).
10. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2013. URL: <https://riarating.ru/infografika/20131217/610601622.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).

11. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2014. URL: <https://riarating.ru/infografika/20141222/610641471.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
12. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2015. URL: <https://riarating.ru/infografika/20160225/630010958.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
13. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2016. URL: <https://riarating.ru/regions/20170220/630056195.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
14. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2017. URL: <https://riarating.ru/infografika/20180214/630082471.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
15. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2018. URL: <https://riarating.ru/infografika/20190219/630117422.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
16. Kachestvo zhizni v rossijskih regionah. Rejting 2019. URL: <https://riarating.ru/infografika/20200217/630153946.html> (data obrashhenija: 20.08.2021).
17. Rejting kachestva zhizni regionov Rossii / Gumanitarnyj portal: Issledovanija // Centr gumanitarnyh tehnologij, 2006–2021 (poslednjaja redakcija: 10.03.2021). URL: <https://gtmarket.ru/ratings/quality-of-life-russian-regions-ranking> (data obrashhenija: 20.08.2021).

УДК 004.942

sergey-subachev@yandex.ru

**О РАСЧЕТЕ ВЕРОЯТНОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СРЕДСТВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА  
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

**ABOUT CALCULATION OF THE PROBABILITY OF EFFECTIVE OPERATION  
OF TECHNICAL EQUIPMENT TO ENSURE FIRE SAFETY  
IN DETERMINING FIRE RISK VALUES AT PRODUCTION FACILITIES**

*Зыков П. И., кандидат технических наук,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,  
Контарь Н. А., Pyrosim.ru, Екатеринбург,  
Субачев С. В., кандидат технических наук, доцент,  
Субачева А. А., кандидат педагогических наук, доцент,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Zykov P.,  
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,  
Kontar N.,  
Pyrosim.ru, Yekaterinburg,  
Subachev S., Subacheva A.,  
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

При выполнении расчетов пожарного риска на производственных объектах вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности определяется по формуле (8) Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. В работе показано, что эта формула не является универсальной, не может применяться при расчете пожарного риска на производственных объектах всегда в неизменном виде. В каждом конкретном случае она должна перерабатываться на основе анализа схемы работы противопожарных систем объекта.

*Ключевые слова:* расчет пожарного риска, пожарная безопасность производственных объектов, срабатывание противопожарных систем.

When performing fire risk calculations at industrial facilities, the probability of effective operation of technical means to ensure fire safety is determined by the formula (8) of the methodology. It was proved that this formula is not universal and cannot be used in calculating the fire risk at industrial facilities always in an unchanged form. In each specific case, it must

*Keywords:* calculation of fire risk, fire safety of industrial facilities, actuation of fire protection systems.

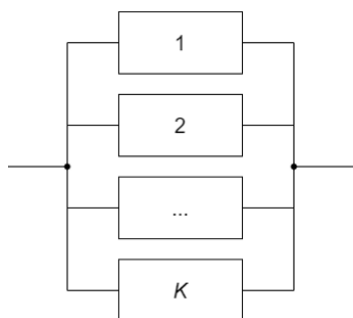
Согласно Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1] (далее – методика), вероятность  $D_{ij}$  эффективной

работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности  $i$ -го помещения при реализации  $j$ -го сценария пожара определяется по формуле (8) [1]:

$$D_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - D_{ijk}),$$

где  $K$  – число технических средств противопожарной защиты;  $D_{ijk}$  – вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи)  $k$ -го технического средства при  $j$ -м сценарии пожара для  $i$ -го помещения здания.

Из теории надежности эта формула (которая также приведена в п. 2.6.13 пособия [2]) соответствует системе с параллельным соединением элементов: отказ такой системы происходит лишь в том случае, если откажут все ее элементы [3, 4] (рис. 1).



$$Q = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_K = \prod_{k=1}^K Q_k = \prod_{k=1}^K (1 - P_k);$$

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - P_k)$$

Рисунок 1. Структурная схема надежности и соответствующие ей формулы для определения вероятности отказа  $Q$  и вероятности безотказной работы  $P$  системы с параллельным соединением элементов

Рассмотрим простейший вариант: один сценарий пожара в здании, состоящем из одного помещения (где пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), оснащенный следующими системами противопожарной защиты:

- установкой пожаротушения (далее – АУПТ),
- системой противодымной защиты (далее – СПДЗ),
- пожарной сигнализацией (далее – АУПС),

– системой оповещения и управления эвакуацией людей (далее – СОУЭ).

При этом, согласно п. 36 методики, работа СОУЭ должна учитываться совместно с АУПС. Это требование справедливо, так как СОУЭ срабатывает по сигналу от АУПС, то есть зависит от нее.

Тогда для рассматриваемого помещения расчетная схема надежности (эффективной работы) технических средств по обеспечению пожарной безопасности примет вид, показанный на рис. 2.

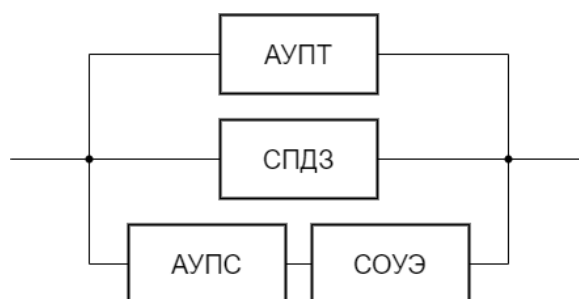


Рисунок 2. Структурная схема для определения вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности согласно п. 36 [1]

Соответствующая ей формула вероятности эффективной работы:

$$D = 1 - (1 - D_{\text{АУПТ}}) \cdot (1 - D_{\text{СПДЗ}}) \cdot (1 - D_{\text{АУПС}} \cdot D_{\text{СОУЭ}}). \quad (1)$$

Как правило, при проведении расчетов пожарного риска на производственных объектах формула (8) [1] приводится именно в таком виде.

Однако недостатком методики является то, что формула (8) [1] приводится в качестве универсальной для всех видов АУПТ, СПДЗ, АУПС и СОУЭ, но она не является таковой. Она будет верна только в том случае, если СОУЭ срабатывает от АУПС, а АУПТ и СПДЗ способны срабатывать самостоятельно, без

участия АУПС, например, если АУПТ – спринклерная, а СПДЗ выполнена в виде дымовых люков в покрытии помещения с тепловым замком. Обозначим такую конфигурацию как вариант *а*.

В случае же (вариант *б*), если АУПТ спринклерная (срабатывает самостоятельно), а СПДЗ срабатывает, так же, как и СОУЭ – по сигналу от АУПС, то структурная схема будет такой, как показано на рис. 3, а формула примет вид:

$$D = 1 - (1 - D_{\text{АУПТ}}) \cdot [1 - D_{\text{АУПС}} \cdot (1 - (1 - D_{\text{СПДЗ}}) \cdot (1 - D_{\text{СОУЭ}}))]. \quad (2)$$

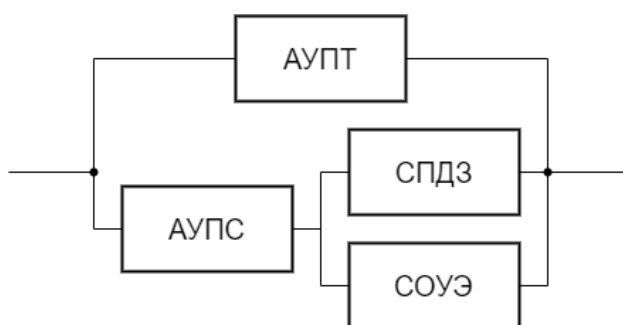


Рисунок 3. Структурная схема для определения вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности (вариант б)

Возможен случай (вариант *в*), когда, наоборот, СПДЗ будет срабатывать самостоятельно, а АУПТ (например,

дренчерная) – по сигналу от АУПС. Тогда структурная схема будет такой, как показано на рис. 4, и формула примет вид:

$$D = 1 - (1 - D_{\text{СПДЗ}}) \cdot [1 - D_{\text{АУПС}} \cdot (1 - (1 - D_{\text{АУПТ}}) \cdot (1 - D_{\text{СОУЭ}}))]. \quad (3)$$

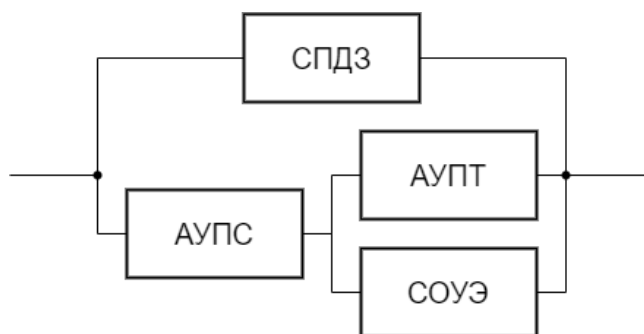


Рисунок 4. Структурная схема для определения вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности (вариант в)

На рис. 5 показана схема для расчета вероятности эффективной работы систем в случае, если и СОУЭ, и АУПТ, и

СПДЗ срабатывают по сигналу от АУПС (вариант *з*). Формула для расчета примет вид:

$$D = D_{\text{АУПС}} \cdot [1 - (1 - D_{\text{АУПТ}}) \cdot (1 - D_{\text{СПДЗ}}) \cdot (1 - D_{\text{СОУЭ}})]. \quad (4)$$

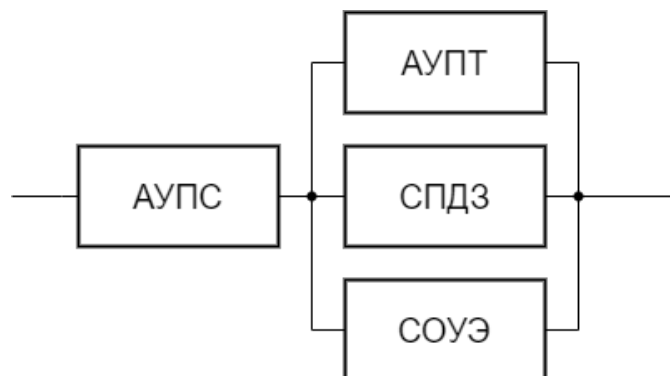


Рисунок 5. Структурная схема для определения вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности (вариант *з*)

Возможны и более сложные схемы срабатывания систем – когда срабатывание отдельных систем возможно не только самостоятельно или от АУПС, но и от АУПТ и/или от СПДЗ. Например – вариант *д* – если в помещении имеется пожарная сигнализация с использованием дымовых из-

вещателей и спринклерная установка водяного пожаротушения с сигнализатором (реле) потока жидкости (СПЖ) [5], то сигнал о пожаре может поступить как от АУПС при возникновении задымления в помещении, так и от АУПТ при повышении температуры и срабатывании спринклера (рис. 6).

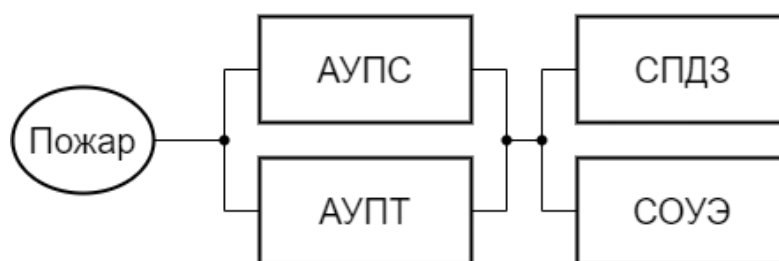


Рисунок 6. Схема прохождения сигнала о пожаре между противопожарными системами (вариант *д*)

Выше рассмотрено несколько гипотетических вариантов возможных схем срабатывания противопожарных систем. На практике их может быть намного больше: структурные схемы и, соответственно, формулы для определения вероятности их эффективной работы зависят от количества имеющихся средств по обеспечению пожарной безопасности и от взаимосвязей между ними с точки зрения последовательности срабатывания.

Поэтому каждую конфигурацию противопожарных систем необходимо тщательно анализировать и на основе анализа составлять соответствующую формулу для определения вероятности их эффективной работы. Для каждой конфигурации будет своя формула, а не одна универсальная, как показано в п. 35 методики.

Подытоживая вышесказанное, можно сделать следующий вывод. Формула (8) методики [1] (с учетом п. 36 [1])

верна только для одной конфигурации систем: когда СОУЭ срабатывает по сигналу от АУПС, а другие технические средства по обеспечению пожарной безопасности срабатывают самостоятельно. Следовательно, эта формула не является универсальной и не может применяться при рас-

чете пожарного риска на производственных объектах всегда в неизменном виде. В каждом конкретном случае она должна перерабатываться на основе анализа схемы работы противопожарных систем объекта. Это положение необходимо добавить в п. 35 методики [1] и пункт 2.6.13 пособия [2].

#### 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., 2012. 242 с.
3. Гуськов А. В., Милевский К. Е. Надежность технических систем и техногенный риск. Новосибирск, 2016. 424 с.
4. Малкин В. С. Надежность технических систем и техногенный риск. Ростов н/Д, 2010. 432 с.
5. СП 5.13130.2009. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

#### References

1. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh: utv. prikazom MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404, s izm.
2. Posobie po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh ob"ektov / D. M. Gordienko i dr. M., 2012. 242 p.
3. Gus'kov A. V., Milevskij K. E. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk. Novosibirsk, 2016. 424 p.
4. Malkin V. S. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk. Rostov n/D, 2010. 432 p.
5. SP 5.13130.2009. Ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya.

УДК 614.841.4

a\_kalach@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
С ЭПОКСИДНОЙ ОГНЕЗАЩИТОЙ****INVESTIGATION OF FIRE RESISTANCE OF STEEL STRUCTURES  
WITH EPOXY FIRE PROTECTION**

*Калач А. В., доктор химических наук, профессор,  
Клементьев Б. А., Калач Е. В., кандидат технических наук, доцент,  
Воронежский государственный технический университет, Воронеж*

*Kalach A., Klementiev B., Kalach E.,  
Voronezh State Technical University, Voronezh*

Представлены результаты испытания стальных конструкций с эпоксидными огнезащитными покрытиями «Преград-ЭП», «Огракс-СКЭ» и «Chartek 2218». Авторами установлено время от начала воздействия температур до наступления предельного состояния образца при углеводородном температурном режиме пожара. По результатам проведенных исследований установлено, что все эпоксидные вспучивающиеся покрытия не достигли критической температуры в 500 °С при достижении 120 мин, что доказывает их эффективность при использовании в качестве пассивной противопожарной защиты объектов нефтегазового комплекса.

*Ключевые слова:* огнезащита, эпоксидный состав, пожарная безопасность, нефтегазовый комплекс.

The results of testing steel structures with epoxy flame-retardant coatings "Pregrad-EP", "Ograx-SKE" and "Chartek 2218" are presented. The authors have established the time from the beginning of the temperature exposure to the onset of the limiting state of the sample under the hydrocarbon temperature regime of the fire. According to the results of the conducted studies, it was found that all epoxy swelling coatings did not reach a critical temperature of 500 °C when reaching 120 minutes, which proves their effectiveness when used as passive fire protection of oil and gas facilities.

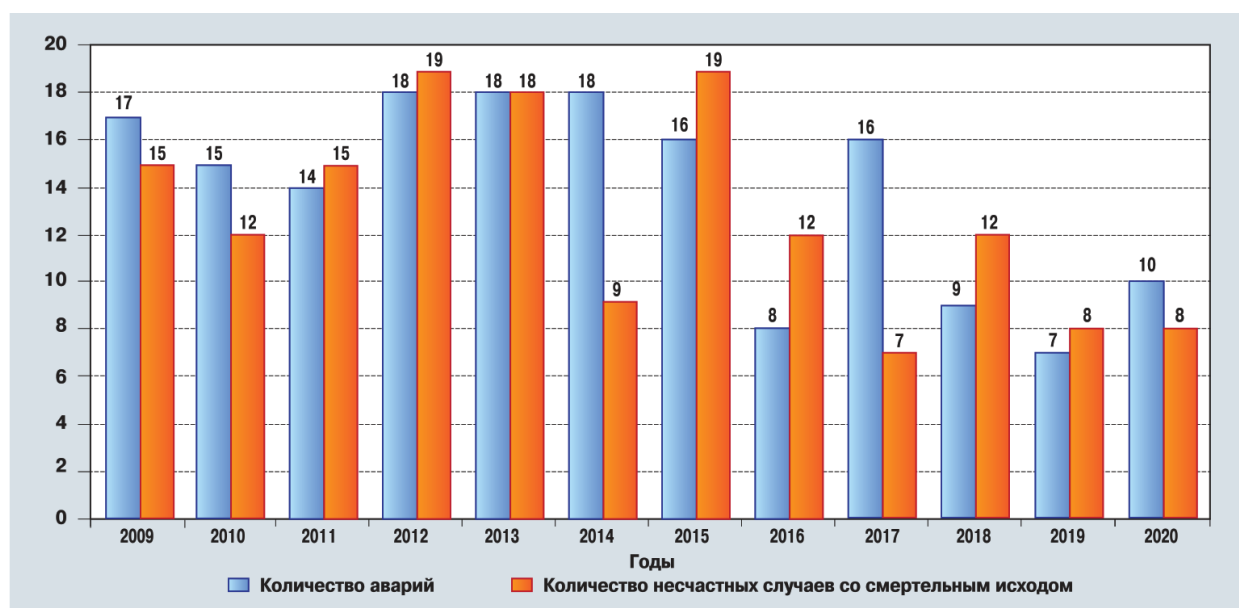
*Keywords:* fire protection, epoxy compound, fire safety, oil and gas complex.

Нефтегазовая промышленность представляет собой крупную, технологически сложную и важную отрасль экономики [1]. Объекты топливно-энергетического комплекса относятся к источникам повышенной опасности, поскольку в технологических процессах производств нефтепереработки хранятся и обращаются в достаточном объеме горючие и взрывоопасные

вещества, при несоблюдении правил работы, с которыми возможны случаи воспламенения, взрыва и/или разлива [1, 2].

В 2020 г. на объектах нефтегазодобывающей промышленности произошло 10 аварий с экономическим ущербом порядка 145 млн рублей. Динамика аварийности и несчастных случаев на объектах НГК за период 2009–2020 гг. приведена на рис. [3].





*Рисунок. Динамика аварийности и производственного травматизма со смертельным исходом на объектах нефтегазодобычи в 2009–2020 гг*

Металлические конструкции составляют основу производственных зданий и представляют собой сложные инженерные сооружения. В настоящее время на несущие элементы каркаса промышленных зданий (колонны, фермы, подкрановые балки) расходуется более 50 % массы металлоконструкций. В области стандартизации огневых испытаний для конструкций регламентируются следующие температурные режимы: «стандартный» (целлюлозный), наружный, медленно развивающийся (тлеющий) и углеводородный режим [4]. Стальные конструкции объектов нефтегазового комплекса (НГК) при аварии, сопровождающейся пожаром и взрывом, подвергаются температурному воздействию и избыточному давлению согласно углеводородного режима, при котором в первые минуты пожара температура достигает 1000 °С и выше. Прочность стальной конструкции значительно снижается в диапазоне 400–600 °С, а при нагрузке незащищенная конструкция практически мгновенно теряет устойчивость. В связи с этим на объектах повышенной опасности должны применяться конструкции, способные выдерживать высокие температуры, взрывную волну, то есть защищенные средствами огнезащиты. Кроме

того, стальные конструкции зданий и сооружений НГК, в особенности производство сжиженного газа, необходимо защитить не только от пожара, но и от низких температур. В связи с этим фактом становится актуальным использование огнезащитных материалов, которые способны сохранять свою целостность и теплоизоляционные свойства в условиях низких температур.

Одним из способов предотвращения распространения пожара и обеспечения устойчивости зданий и сооружений при пожаре является пассивная противопожарная защита (ППЗ). К средствам ППЗ относятся специальные огнезащитные штукатурки, краски, кожухи, плиты и интумесцентные краски [5, 6]. На объектах НГК широко распространены интумесцентные покрытия на основе эпоксидных связующих, важными характеристиками которых являются устойчивость к химическим и климатическим воздействиям, малое содержание летучих веществ, длительный срок эксплуатации (25 лет и более), высокая адгезия и ремонтпригодность [6–10].

Проведение испытаний по определению времени достижения критического состояния при криогенном и последующем огневом воздействиях двух огнезащитных

покрытий («ПРЕГРАД–ЭП» - образец № 1; «Огракс-СКЭ» – образец № 2) проводили в соответствии с методикой научно-технического центра «ПОЖ-АУДИТ» (Россия), основанной на положениях ISO 20088-1:2016 с уменьшением предельно-допустимой

температуры до  $-60$  °С; для состава «Chartek 2218» (образец № 3) испытания проводились согласно ISO 20088-3:2018. Свойства и характеристики исследуемых огнезащитных покрытий представлены в таблице.

*Таблица*  
*Свойства и характеристики исследуемых огнезащитных покрытий*

Свойства и характеристики	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Основа	модифицированные эпоксидные смолы и целевые наполнители		
Цвет и отделка	светло-серый	от серого до черного	светло-серый
Плотность, кг/л	$0,9 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,2$	1,0
Сухой остаток, %	$97 \pm 1$	$93 \pm 3$	100
Антикоррозионные свойства	да	да	да
Возможность нанесения на рабочей площадке	да	да	да
Используемое оборудование	безвоздушное распыление	комбинированное или безвоздушное распыление	безвоздушное распыление
Влажность при нанесении, %	не более 80	не более 90	не более 85
Температура нанесения, °С	не ниже $-10$	не ниже $+5$	не ниже $+10$

За предельное состояние при криогенном воздействии принимается достижение металла опытных образцов № 1 и № 2 критической температуры, равной  $-60$  °С, для образца № 3 –  $-45$  °С. За предельное состояние при огневом испытании при углеводородном температурном режиме принимается достижение металлом опытного образца критической температуры, равной  $500$  °С.

После проведения криогенного воздействия образец № 1 и № 2 извлекали из жидкого азота, осуществляли проверку покрытия на наличие трещин, вздутий и отслоений и размещали в печи для проведения огневых испытаний, после чего подвергли тепловому воздействию в режиме углеводородного горения согласно следующему выражению (1):

$$T - T_0 = 1080 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167t} - 0.675 \cdot e^{-2.5t}), \quad (1)$$

где  $T$  – температура в печи, соответствующая времени  $t$ , °С;  $T_0$  – температура в печи до начала теплового воздействия  $t$ , °С;  $t$  – время, исчисляемое от начала испытаний, мин.

Сущность эксперимента заключалась в последовательном определении времени от начала криогенного воздействия на опытный образец до наступления пре-

дельного состояния образца при криогенном режиме испытания и последующем определении времени от начала теплового воздействия на опытный образец до наступления предельного состояния этого образца при углеводородном температурном режиме испытания.

Подготовленные образцы, каждый с тремя смонтированными под огнезащит-

ное покрытие термопарами, установленными методом зачеканивания в количестве трех штук в среднем сечении образцов на стенке двутавра и на внутренней поверхности полок в соответствии с [11], подверглись резкому охлаждению в результате помещения в специальную емкость с последующим заполнением жидким азотом с регистрацией данных по температуре металлической подложки под покрытием и визуальным наблюдением за изменением внешнего вида.

По результатам испытаний установлено, что образец № 1 толщиной сухого слоя 18 мм, нанесенного на колонну двутаврового сечения № 20Б1 длиной 1700 мм с объемным коэффициентом  $A_p/V$  не более  $294 \text{ м}^{-1}$ , обеспечивает время достижения критической температуры  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  на образце в течение 31 мин в режиме полного погружения в жидкий азот и последующее время достижения критической температуры  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  на образце в течение 120 мин при углеводородном температурном режиме.

По результатам испытаний установлено, что образец № 1 толщиной сухого слоя 27 мм, нанесенное на колонну двутаврового сечения №20Б1 длиной 1700 мм с объемным коэффициентом  $A_p/V$  не более  $294 \text{ м}^{-1}$ , обеспечивает время достижения критической температуры  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  на образце в течение 67 мин в режиме полного погружения в жидкий азот и последующее время достижения критической температуры  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  на образце в течение 120 мин при углеводородном температурном режиме.

Криогенное воздействие на первый и второй образцы завершено на 31 и 67 мин соответственно по достижению критической температуры, а последующие за ними огневые испытания завершены на 125 мин без достижения критической температуры на образцах.

Установлено, что образец № 2 толщиной сухого слоя 22,5 мм, нанесенного на квадратную трубу  $100 \times 100 \times 8 \text{ мм}$  с объемным коэффициентом  $A_p/V$  не более

$134 \text{ м}^{-1}$ , обеспечивает огнезащитную эффективность в условиях воздействия режима углеводородного горения не менее 120 мин после 10-минутного криогенного воздействия на образец в режиме полного погружения в жидкий азот. При этом в процессе криогенного воздействия средняя температура образца не опускалась более чем на  $40^\circ$  относительно его исходной температуры. По окончании криогенного испытания средняя температура образца составила  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Огнезащитное покрытие после криогенного испытания не имело каких-либо видимых дефектов (вздутий, трещин, отслоений).

В процессе огневого испытания на 15 мин началось образование пенококса, защищающего конструкцию от нагревания. По достижении заданного времени (120 мин) испытание было прекращено. Средняя температура на образце составила  $468 \text{ }^\circ\text{C}$ . После завершения теплового воздействия выявлено, что образовавшийся пенококс сохранил свою структуру и целостность.

Установлено, что образец № 3 толщиной сухого слоя 8,67 мм, нанесенного на колонну двутаврового сечения с объемным коэффициентом  $A_p/V = 295 \text{ м}^{-1}$ , обеспечивает огнезащитную эффективность в условиях воздействия режима углеводородного горения не менее 120 мин после 30-минутного криогенного воздействия в процессе двухфазного распыления (two phase spray) жидкого азота.

В процессе криогенного воздействия средние температуры образцов опустились более чем на  $50^\circ$  относительно температуры окружающей среды (до  $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Разница в температуре не привела к возникновению или распространению трещин на огнезащитном покрытии. Последующее за криогенным воздействием огневое испытание для образца № 3 завершено на 120 мин без достижения критической температуры.

Было проведено исследование огнезащитных покрытий «Преград-ЭП» и «Огракс-СКЭ» при полном погружении

образца в среду жидкого азота и «Chartek 2218» при двухфазном криогенном воздействии с последующими огневыми испытаниями в условиях углеводородного режима пожара.

В результате проведенного исследования установлено, что все эпоксидные вспучивающиеся покрытия не достигли критической температуры в 500 °С при достижении 120 мин, что доказывает их эффективность при использовании в качестве пассивной противопожарной

защиты объектов нефтегазового комплекса.

Кроме того, исследований, посвященных поведению огнезащитных покрытий стальных конструкций в условиях низких температур, проводится чрезвычайно мало, однако с учетом экспансии мирового нефтегазового комплекса в Арктике и Антарктике ожидается широкий интерес к подобным исследованиям.

#### Литература

1. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/473>.
2. Kalach A. V. et al. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. 042046.
3. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 г. М., 2021. 369 с.
4. ГОСТ Р ЕН 1363-2–2014. Национальный стандарт Российской Федерации «Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures».
5. Беззапонная О. В. и др. Совершенствование огнезащитных вспенивающихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса // Химия, физика и механика материалов. 2017. № 2 (15). С. 77.
6. Аналитический обзор средств огнезащиты стальных конструкций 2021–2022 / К. Калафат, Л. Вахитова. Украинский центр стального строительства. 202 с.
7. Нагановский Ю. К. Определение характеристик терморасширения материалов интумесцентного типа // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2019. № 2 (2). С. 12–18.
8. Еремина Т. Ю. Снижение пожарной опасности строительных конструкций и материалов за счет применения эффективных огнезащитных средств: дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 328 с.
9. Халилова Р. А. Повышение огнестойкости металлических конструкций объектов нефтегазовой отрасли применением вспучивающихся красок: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2008. 108 с.
10. Головина Е. В. Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли : автореферат дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 23 с.
11. ГОСТ Р 53295–2009. Национальный стандарт Российской Федерации «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency».

#### References

1. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/473>.
2. Kalach A. V. et al. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. 042046.
3. Godovoi` otchet o deiatel`nosti federal`noi` sluzhby` po e`kologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 g. M., 2021. 369 p.
4. GOST R EN 1363-2–2014. Natsional`ny`i` standart Rossi`skoi` Federatsii "Konstruktsii stroitel`ny`e. Ispytaniia na ognestoi`kost`. Al`ternativny`e i dopolnitel`ny`e metody`. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures".
5. Bezzaponnaia O. V. et al. Sovershenstvovanie ognezashchitny`kh vspenivaiushchikhsia sostavov dlia ispol`zovaniia na ob`ektakh neftegazovogo kompleksa // Himiia, fizika i mehanika materialov. 2017. № 2 (15). P. 77.
6. Analiticheskii` obzor sredstv ognezashchity` stal`ny`kh konstruktsii` 2021–2022 / K. Kalafat, L. Vahitova. Ukrainskii` centr stal`nogo stroitel`stva. 202 p.
7. Naganovskii` Iu. K. Opredelenie harakteristik termorasshireniia materialov intumescentnogo tipa // Aktual`ny`e voprosy` pozharnoi` bezopasnosti. 2019. № 2 (2). P. 12–18.
8. Eremina T. Iu. Snizhenie pozharnoi` opasnosti stroitel`ny`kh konstruktsii` i materialov za schet primeneniia e`ffektivny`kh ognezashchitny`kh sredstv: diss. ... d-ra tekhn. nauk. M., 2004. 328 p.

9. Halilova R. A. Povyshenie ognestoi`kosti metallicheskih konstrukcii` ob`ektov neftegazovoi` otrasli primeneniem vspuchivaiushchikhsia krasok: diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2008. 108 p.

10. Golovina E. V. Metodika ocenki termostoi`kosti ognezashchitny`kh sostavov intumescentnogo tipa dlia ob`ektov neftegazovoi` otrasli: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk. SPb., 2019. 23 p.

11. GOST R 53295–2009. Nacional`ny`i` standart Rossii`skoi` Federacii "Sredstva ognezashchity` dlia stal`ny`kh konstrukcii`. Obshchie trebovaniia. Metod opredeleniia ognezashchitnoi` e`ffektivnosti. Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency.

УДК 004.942:614.841

prytkov.l.n@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА В ТИПОВОМ МАШИННОМ ЗАЛЕ АТОМНОЙ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ  
РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ****SIMULATION OF A FIRE IN A TYPICAL ENGINEERING ROOM  
OF A NUCLEAR POWER PLANT FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY  
OF IMPLEMENTATION OF ROBOTIC FIRE EXTINGUISHING INSTALLATIONS**

*Прытков Л. Н., Барбин Н. М., доктор технических наук, доцент,  
Кобелев А. М., кандидат технических наук,  
Титов С. А., Гришина Е. В., кандидат педагогических наук, доцент  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Prytkov L., Barbin N., Kobelev A., Titov S., Grishina E.,  
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье рассмотрены основные источники возникновения пожаров в машинных залах, особенности проведения боевых действий по тушению пожаров, смоделирована аварийная ситуация, связанная с утечкой турбинного масла с последующим возгоранием на оси обслуживания турбины без утечки на нижележащие уровни. Изложены результаты моделирования пожара в типовом машинном зале атомной электростанции до и после внедрения роботизированных установок пожаротушения.

*Ключевые слова:* моделирование пожара, роботизированная установка пожаротушения, полевая модель пожара, пожары в машинных залах, атомная электростанция, электростанция.

The article discusses the main sources of fires in the turbine rooms, the features of the conduct of hostilities to extinguish fires, an emergency situation associated with the leakage of turbine oil with subsequent ignition on the axis of the turbine service without leakage to the lower levels is modeled. robotic fire extinguishing installation The results of modeling a fire in a typical turbine room of a nuclear power plant before and after the introduction of robotic fire extinguishing installations are presented.

*Keywords:* modeling of fires, robotic fire extinguishing system, field model of fire, fires in machine rooms, nuclear power plant, electrical power station.

Машинные залы атомных и тепловых электростанций являются технически сложными объектами, что обусловлено большим количеством маслonaполненного оборудования, насосов, предназначенных для питания турбины, а также вспомогательных систем, необходимых для функционирования пароводяного контура электростанции.

Основными источниками пожара являются:

- кабельные линии;
- большое количество масла, находящегося в системе маслохозяйства турбоустановки;
- водород, применяемый для охлаждения генератора [1].

С точки зрения обеспечения пожарной безопасности и проведения боевых действий по тушению пожаров, машинные залы имеют особенности, усложняющие

действия пожарных подразделений при работе на данных объектах. Основными из них являются:

- наличие электроустановок под напряжением, отключение которых невозможно без привлечения обслуживающего персонала станции, так как имеется большое количество оборудования, для полного обесточивания которого необходимо иметь специальные знания в данной области;

- последствия после разрушения турбины;

- угроза обрушения металлических ферм покрытия машинного зала ввиду быстрого прогрева;

- необходимость в кратчайшие сроки осуществлять охлаждение металлоконструкций, что требует задействовать большое количество сил и средств;

- вероятность взрыва водорода из системы охлаждения турбогенератора;

- огромное количество токсичных продуктов при горении турбинного масла, ведение боевых действий по тушению в условиях сильного задымления и интенсивного теплового излучения [2].

Пожары в машинных залах приводят к наиболее тяжелым последствиям при разрушении турбины, выброса большого количества масла с последующим возгоранием, горение водорода из систем охлаждения. Горение в замкнутом объеме сопровождается сильным выделением токсичных продуктов, снижением видимости, при этом огромный запас воздуха и отсутствие преград способствует распространению пожара. По результатам натурных экспериментов, горение в машинном зале объемом 8000 м<sup>3</sup> турбинного масла на площади 5 м<sup>2</sup> в течение 5 мин снижает видимость до 1 м [3].

Утечка смазочного масла возможна при разрушении или ослаблении соединений трубопроводов маслосистемы турбины. Объем вышедшего под давлением масла и площади горючей жидкости зависит от инерционности системы аварийного

сброса масла. Возгорание возможно при попадании на раскаленные части турбины.

Для ликвидации горения масла, вытекающего из поврежденных маслопроводов или системы смазки турбины в виде струи и растекающегося по оборудованию на нулевую отметку, используют распыленные струи воды и пену средней кратности [4].

Результаты исследования поведения металлоконструкций при пожаре, представленные в работе [5], показывают, что нагрев ферм свыше 500 °С приводит к потере прочности с последующим обрушением. Необходимо подать большой объем огнетушащего состава на тушение, при этом оперативно осуществить охлаждение ферм для предотвращения обрушения. Для выполнения данных задач целесообразным будет применение роботизированных установок пожаротушения.

Активное применение пожарных роботов началось в 2000-х гг. Они обеспечивают оперативное обнаружение и тушение пожара. Пожарные роботы нашли применение во многих областях промышленности и уже внедрены в разных городах для защиты спортивно-зрелищных комплексов, производственных цехов деревообработки, нефтяной промышленности, а также ангаров для самолетов [6]. Согласно [7] роботизированная установка пожаротушения (РУП) включает в себя два и более пожарных робота, систему определения координат, а также устройство программного управления комплексом. В состав РУП входит два и более пожарных робота, устройства управления с дисплеем, которое соединено с пожарным роботом по интерфейсу RS-485, инфракрасный извещатель наведения на очаг пожара, запорно-пусковые устройства с электроприводом, блок питания, контроллер уровня пенообразователя и уровня жидкости, баки хранения пенообразователя, электромагнитные клапаны [7].

Целью моделирования является получение информации о температуре на

уровне металлических конструкций покрытия при использовании роботизированных установок пожаротушения и без них.

В работе проведен выбор расчетной модели; выполнено построение топологии типового машинного зала атомной электростанции; проведен анализ возможных аварий и их последствий; заданы свойства горючей нагрузки в программе PiroSim; проведено моделирование развития пожара и его опасных факторов; проанализированы полученные результаты изменения температуры прогрева металлических ферм покрытия с учетом применения роботизированного комплекса пожаротушения и без его применения; проведена оценка эффективности предлагаемого решения.

Моделирование развития пожара производилось при помощи графического пользовательского интерфейса PiroSim для программы FDS (Fire Dynamic Simulator), которая предназначена для моделирования сценариев пожара при помощи вычислительной гидродинамики, оптимизированной для низкоскоростных температурно-зависимых потоков [8]. Данная программа применяется для обеспечения безопасности зданий на стадии проектирования, для определения безопасности уже построенных зданий, при реконструкции, а также при расследовании пожаров. FDS является мощным инструментом для моделирования пожара, разработанным Национальным институтом стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology – NIST). С помощью FDS можно моделировать различные пожары, например, горение в печи или пожар нефтяного фонтана.

Программа FDS применяется не только для моделирования опасных факторов пожара, но и для проектирования си-

стемы вентиляции в здании, а также моделирования активации сприклерных оросителей и пожарных извещателей различного типа [8].

#### **Исходные данные**

В рамках моделирования рассматривается авария трубопровода высокого давления, в котором находится турбинное масло, предназначенное для смазки турбины. В следствие разгерметизации произошел розлив масла на площади 144 м<sup>2</sup> на оси обслуживания турбоагрегата. При взаимодействии с раскаленными частями турбины, произошло возгорание. Рассматриваемая авария будет сопровождаться резким повышением температуры вблизи очага возгорания, большим выделением токсичных продуктов горения, снижением видимости и интенсивным воздействием теплового потока, в первую очередь, на металлические фермы и технологическое оборудование. При данном развитии аварии является целесообразным осуществить тушение пожарными роботами с единой системой программного управления, которые объединены в роботизированный пожарный комплекс, использующий для обнаружения пожара инфракрасные датчики, установленные на стволах [9, 10]. Инерционность срабатывания роботизированной установки пожаротушения составляет 60 сек. Существенным преимуществом использования роботизированных установок является возможность их программирования для определенных задач, например, осуществление тушения очага пожара или защита металлических конструкций ферм покрытия без участия человека, а также переход в режим управления оператором для наведения ствола самостоятельно. Характеристики турбинного масла взяты из базы данных Ю. А. Кошмарова [11] и приведены в табл. 1.



Таблица 1  
Характеристики турбинного масла

Характеристика	Величина	Единица измерения
Низшая теплота сгорания	41,9	МДж/кг
Дымообразующая способность	243	Нп м <sup>2</sup> /кг
Удельный расход кислорода	-0,282	кг/кг
Удельная скорость выгорания	0,03	кг/м <sup>2</sup> ·с
Удельный выход диоксида углерода, CO <sub>2</sub>	0,7	кг/кг
Удельный выход монооксида углерода, CO	0,122	кг/кг
Удельный выход хлороводорода, HCl	0	кг/кг

В расчетной модели типового машинного зала АЭС приняты следующие параметры:

- турбина К 800-130/3000;
- турбогенератор ТЗВ-890-2УЗ мощностью 890 МВт, напряжением 24 000 В;

– количество турбогенераторов – 1.

Машинный зал имеет пролет 45 м и длину 108 м, выполнен со сквозным железнодорожным проездом. Расположение турбогенератора в машинном зале продольное (рис. 1) [12].

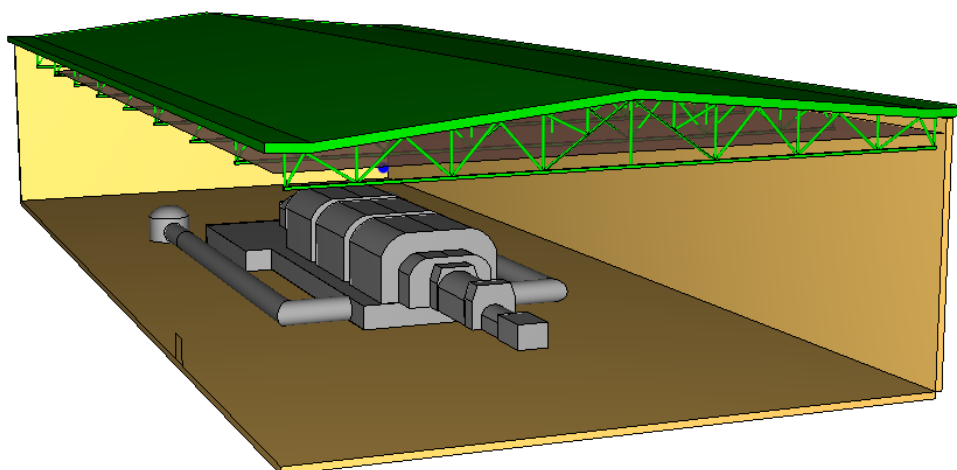


Рисунок 1. Модель машинного зала

В расчетной модели не учитывается деаэрационная этажерка, так как находящееся там оборудование не оказывает существенного влияния на распространение пожара и его опасных факторов. В рамках моделирования рассматривается сценарий, при котором разлив турбинного масла произошел на оси обслуживания турбоагрегата без утечки на нижележащие уровни машинного зала. Таким образом уменьшилось количество ячеек в расчетных сетках, что позволило уменьшить количество машинного времени, необходимого для моделирования распространения пожара.

При моделировании было построено семь расчетных сеток. Расположение сеток представлено на рис. 2. Наиболее мелкие ячейки расположены ближе к источнику пожара, чем дальше от очага, тем ячейки более крупные. Это позволило произвести более точный расчет и снизить нагрузку на компьютер при моделировании. Характеристики расчетных сеток приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Характеристики расчетных сеток

Наименование сетки	Геометрические размеры сетки, м	Размер ячейки сетки, м	Количество ячеек в сетке
Машзал1	11 × 11 × 20	0,5 × 0,5 × 0,5	19 360
Машзал2	9 × 45 × 20	1 × 1 × 1	8 100
Машзал3	11 × 17 × 20	1 × 1 × 1	3 740
Машзал4	11 × 17 × 20	1 × 1 × 1	3 740
Машзал5	26 × 45 × 20	1 × 1 × 1	23 400
Машзал6	46 × 21 × 20	1 × 1 × 1	18 400
Машзал7	46 × 42 × 20	2 × 2 × 2	9 660

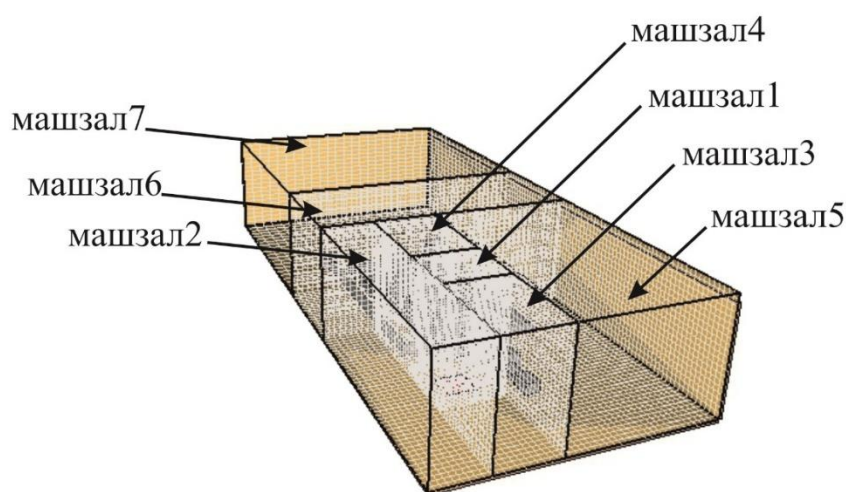


Рисунок 2. Расположение расчетных сеток

Для определения температуры на уровне металлических ферм установлены датчики температуры газовой среды. На каждой ферме расположено два датчика, сверху и снизу. Нумерация датчиков имеет следующий вид:  $Na-bc$ , где  $N$  – вариант моделирования (1 – с использованием роботизированного комплекса пожаротушения, 2 – без его использования),  $a$  – индекс, обозначающий расположение датчика на

ферме ( $v$  – сверху,  $n$  – снизу),  $b$  – номер пояса ферм,  $c$  – индекс, обозначающий порядковый номер датчика на ферме.

К примеру, датчик  $2v-34$  означает, что рассматривается вариант моделирования без применения роботизированного комплекса, датчик расположен четвертым на верхней ферме третьего пояса. Расположение датчиков температуры представлено на рис. 3.

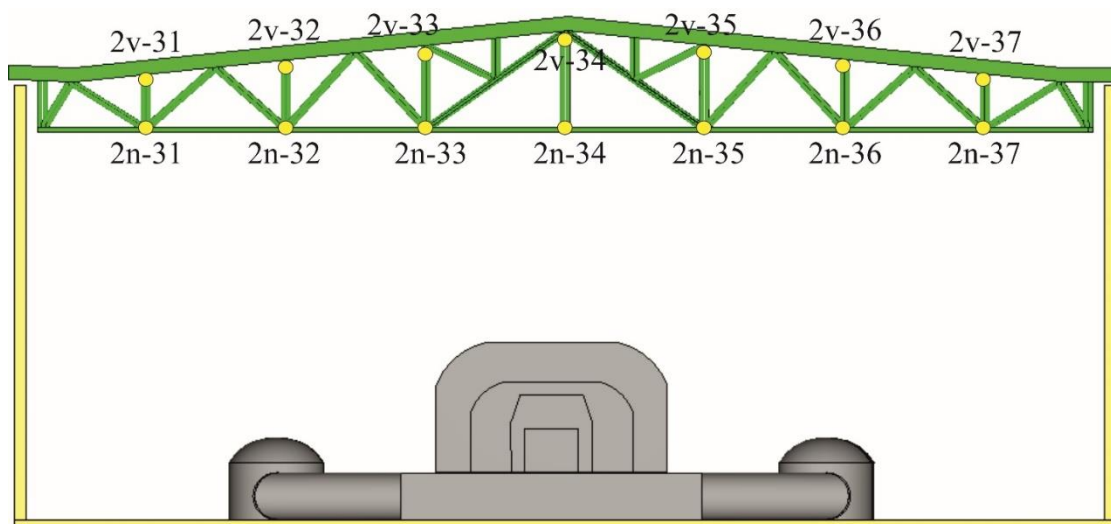


Рисунок 3. Расположение датчиков вдоль ферм

Для проведения расчетов применялся компьютер со следующими характеристиками:

- процессор – Intel Core i5 10400F 2.9 ГГц;
- оперативная память (RAM) 8 Гб;
- графический контроллер GeForce GTX 1650;

– объем видеопамяти 4 Гб.

При использовании данного компьютера моделирование 5 минут горения заняло 12 часов машинного времени. Для наглядности результатов моделирования, применялись 3D-сечения температуры в модели, представленные на рис. 4–8.

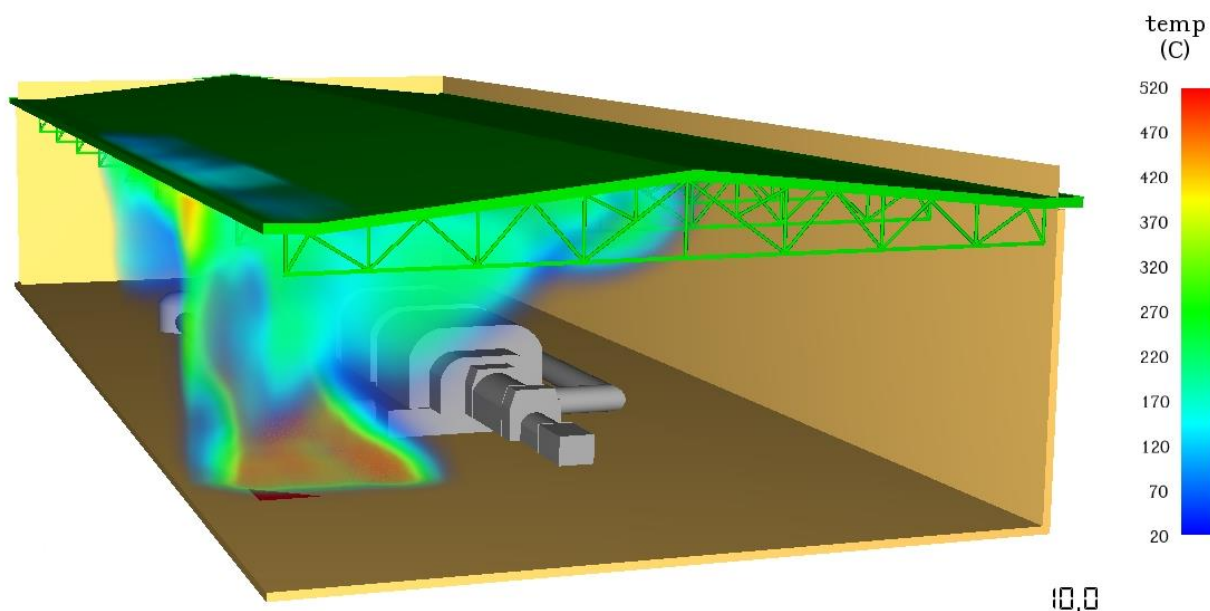
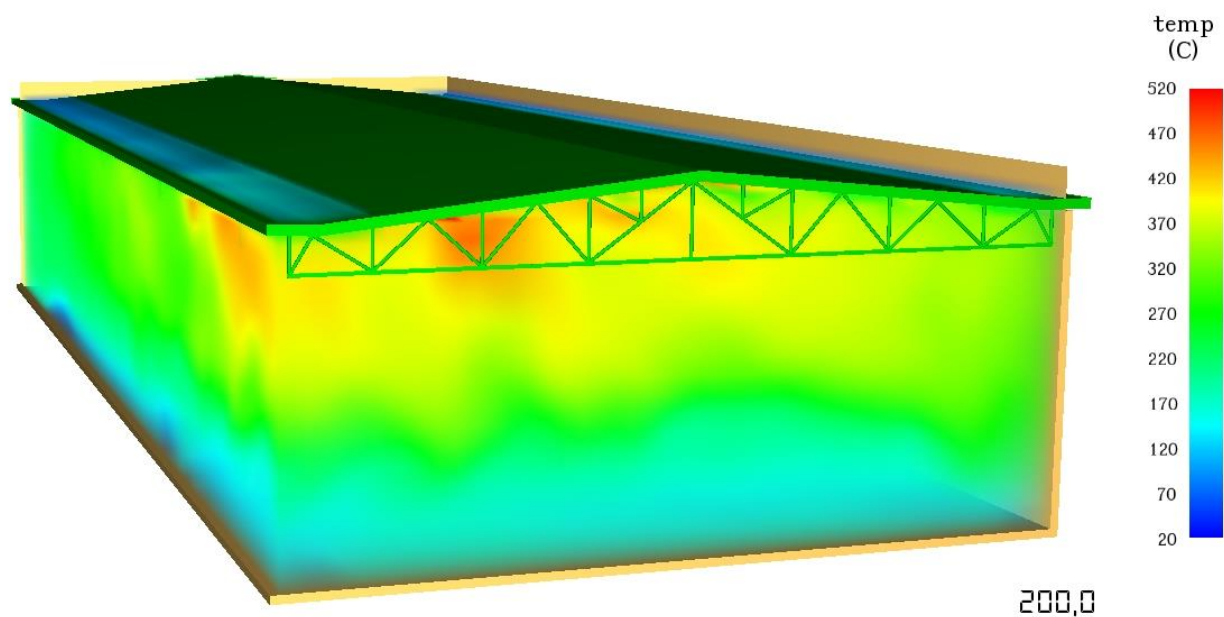
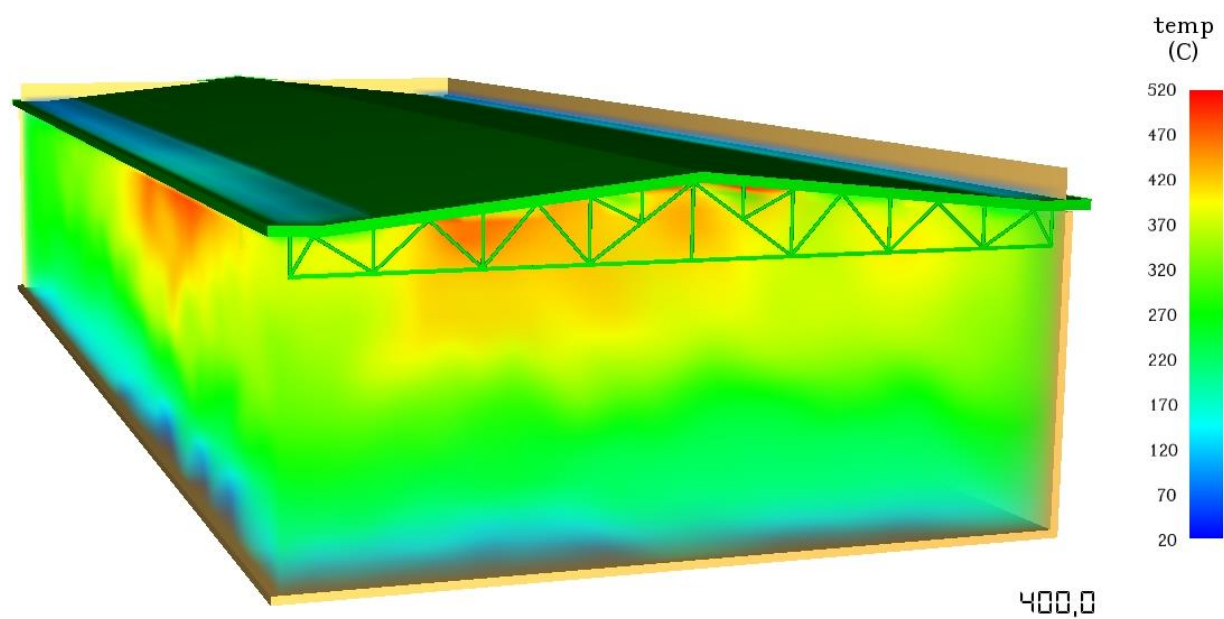


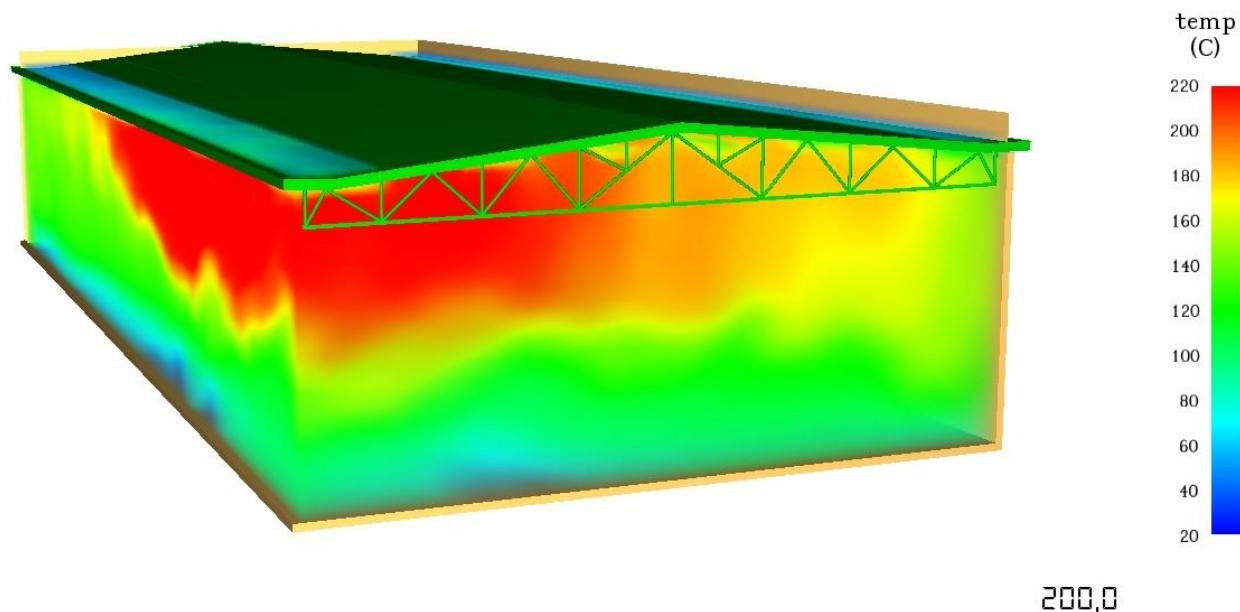
Рисунок 4. Температура в машинном зале на 10 секунде горения



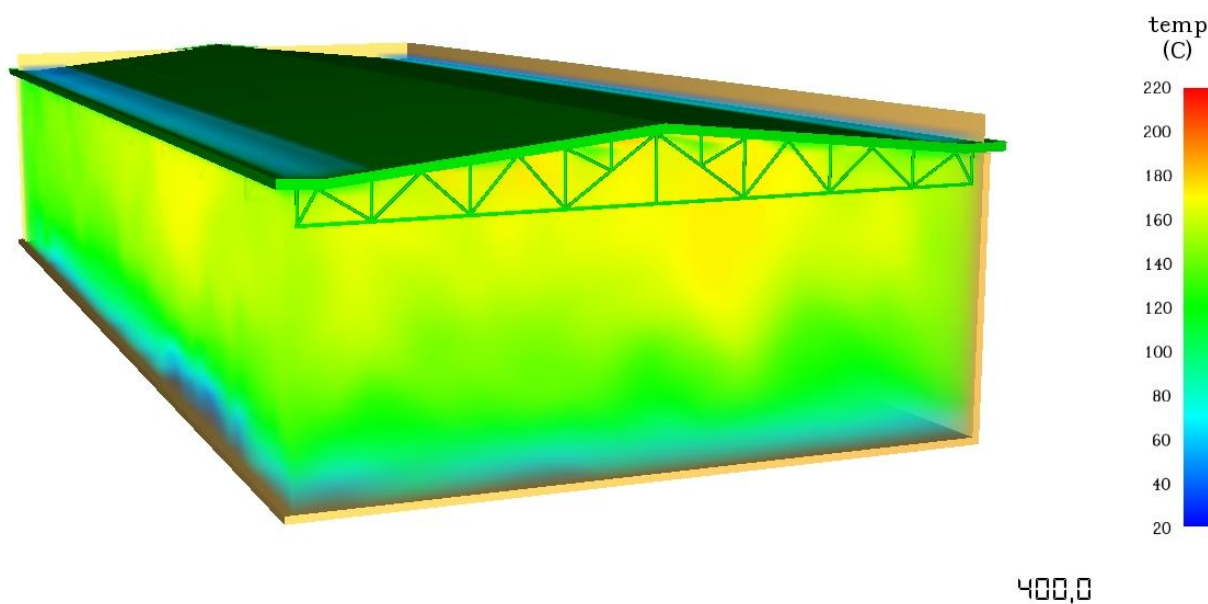
*Рисунок 5. Температура в машинном зале на 200 секунде горения без применения роботизированного пожарного комплекса*



*Рисунок 6. Температура в машинном зале на 400 секунде горения без применения роботизированного пожарного комплекса*



*Рисунок 7. Температура в машинном зале на 200 секунде горения при применении роботизированного пожарного комплекса*



*Рисунок 8. Температура в машинном зале на 400 секунде горения при применении роботизированного пожарного комплекса*

### **Результаты моделирования**

В рамках одной публикации, ввиду большого объема полученных данных, не представляется возможным представить полные результаты моделирования. Наиболее целесообразным является представление полученных результатов от датчиков температуры, которые расположены непосредственно над очагом пожара, а

именно, на третьем поясе ферм. Полученные результаты представлены на рис. 9–10.

Следует отметить, что в случае применения роботизированного пожарного комплекса, на уровне нижней части фермы наблюдается существенное снижение температуры, порядка 200–300 °С. Резкое увеличение температуры на начальной стадии моделирования связано с возгоранием турбинного масла на большой площади, над

очагом горения возникают конвективные потоки продуктов горения и нагретого воздуха, увеличивается интенсивность газообмена, мощность теплового потока увеличивается, что приводит к значительной циркуляции массы газов в помещении. При достижении горячих потоков покрытия происходит его обогрев за счет теплопередачи, продукты горения остывают и опускаются вниз. Непрерывная циркуляция приводит к

повышению среднеобъемной температуры в машинном зале. При применении роботизированного пожарного комплекса наблюдается уменьшение среднеобъемной температуры в помещении. Интенсивность горения значительно снижается, что приводит к меньшему значению теплового потока и излучения пламени, а также увеличению времени прогрева строительных конструкций.

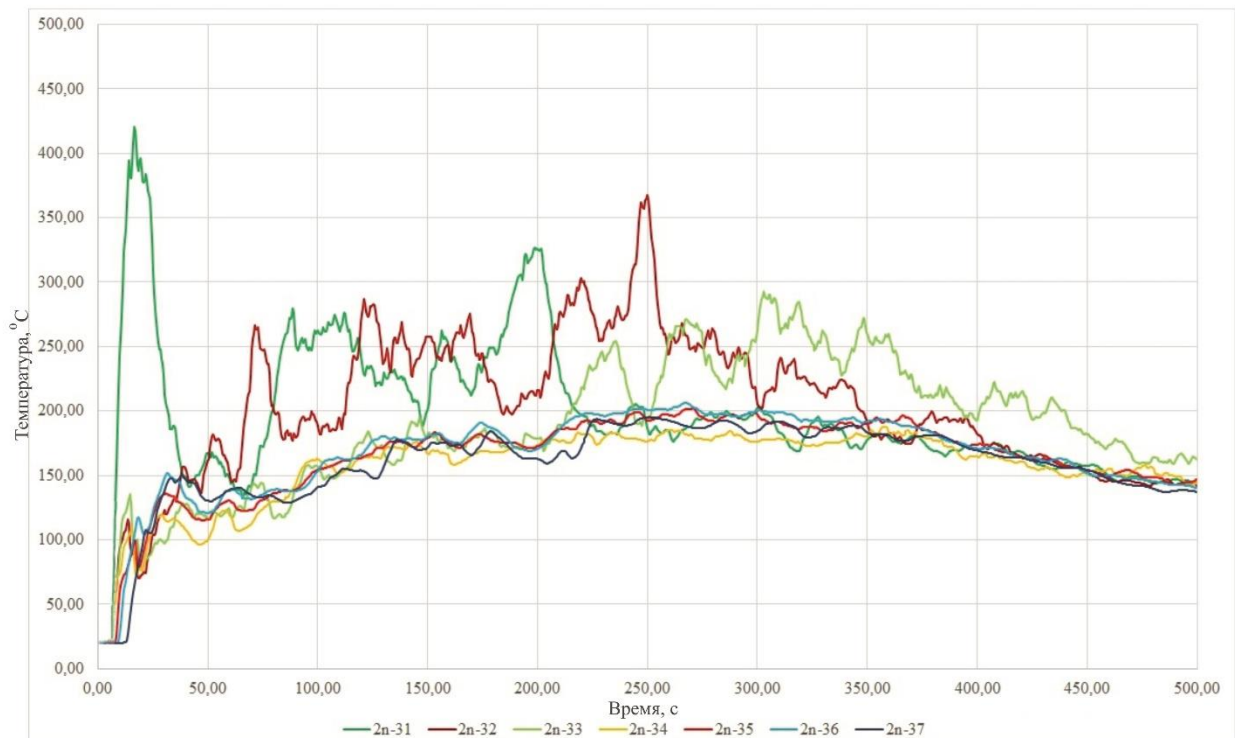


Рисунок 9. Температура в нижней части фермы.  
Вариант с применением роботизированного пожарного комплекса

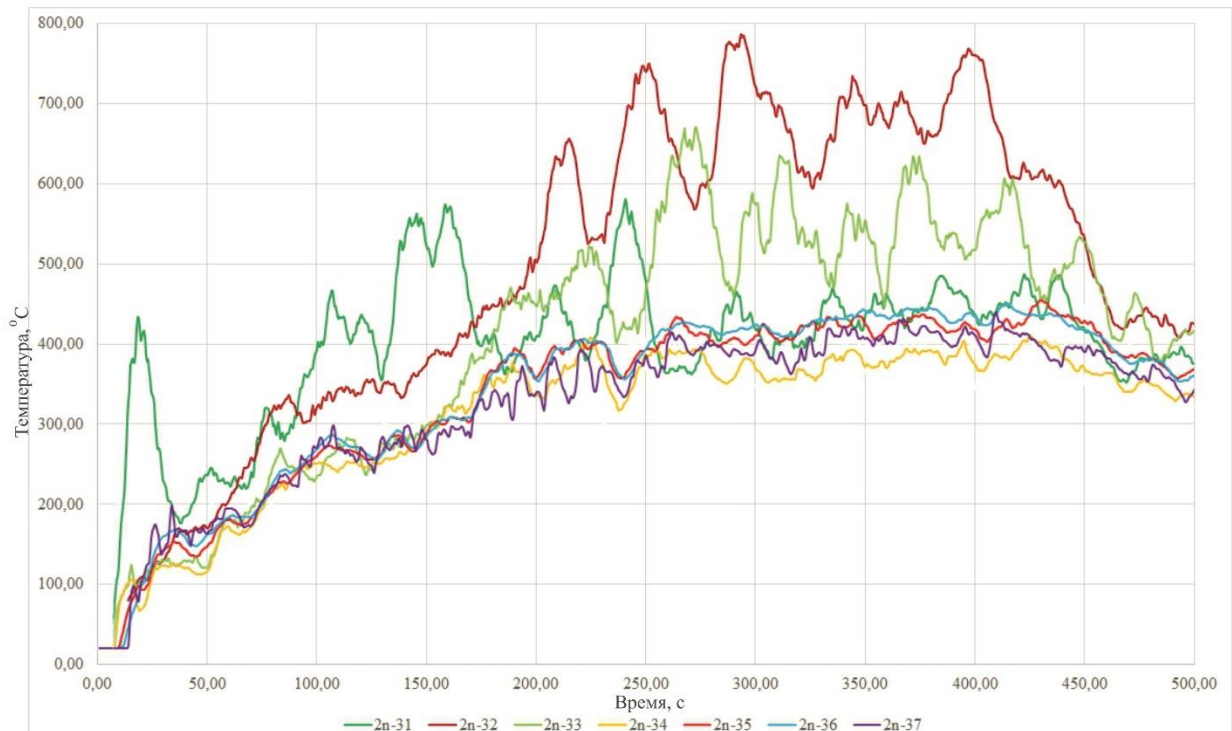


Рисунок 10. Температура в нижней части фермы.  
Вариант без применения роботизированного пожарного комплекса

**Выводы.** Проведенный анализ пожаров в машинных залах, при которых горючей нагрузкой является турбинное масло, позволяет сделать вывод, что первоочередной задачей является охлаждение металлических конструкций крыши. В рамках данной статьи рассмотрен сценарий, при котором в кратчайшие сроки осуществляется подача огнетушащего вещества, при помощи роботизированного пожарного комплекса с инфракрасными датчиками для обнаружения и наведения стволов на очаг пожара. Результаты проведенного моделирования подтвердили эффективность применения роботизированных

установок пожаротушения, использующих для обнаружения пожара инфракрасные датчики, что позволяет в кратчайшие сроки осуществить подачу огнетушащего вещества в автоматическом режиме без участия человека.

Применение роботизированного комплекса пожаротушения в совокупности с мероприятиями по огнезащитной обработке, а также устройством люков в покрытии машинного зала для снижения тепловой нагрузки [12], позволит повысить время достижения металлическими фермами критических температур и предотвратить их обрушение.

#### Литература

1. Кириллов Г. Н. и др. Атомные станции: обеспечение пожарной безопасности, вопросы контроля и надзора. М., 2012. 100 с.
2. Рекомендации по планированию, организации и ведению боевых действий подразделениями ГПС при тушении пожаров на АЭС в условиях радиационной аварии. М., 2002. 68 с.
3. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. М., 1990. 432 с.
4. Пожарная тактика: основы тушения пожаров / В. В. Тербенев, А. В. Подгрушный. М., 2012. 322 с.
5. Страхов В. Л., Давыдкин Н. Ф., Каледин В. О. Особенности поведения при пожаре и расчет огнестойкости несущих строительных конструкций // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 2. С. 20–29.

6. Защита пространственных металлических конструкций машинных залов энергетических объектов от воздействия высоких температур в условиях пожара / В. И. Томаков и др. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 8, № 1 (26). С. 67–80.
7. ГОСТ Р 53326–2009 Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний.
8. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition. 2015.
9. Горбань Ю. И. Пожарные роботы в современных технологиях автоматического пожаротушения // Алгоритм безопасности. 2010. № 3. С. 66–71.
10. Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Системы пожаротушения для защиты машинных залов ТЭЦ, АЭС и ГЭС: Проблемы и решения // Алгоритм безопасности. 2011. № 3. С. 32–36.
11. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М., 2000. 118 с.
12. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Ч. 1 / А. И. Бельтюков и др. ; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург, 2013. 548 с.
13. Акулов А. Ю., Сатюков Р. С., Субачев С. В., Субачева А. А. Моделирование пожара в машинном зале электростанции для оценки мероприятий по повышению огнестойкости его покрытия // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 2 (60). С. 38–48. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

### References

1. Kirillov G. N. et al. Atomnyye stancii: obespechenie pozharnoj bezopasnosti, voprosy kontrolya i nadzora. М., 2012. 100 p.
2. Rekomendacii po planirovaniyu, organizacii i vedeniyu boevykh dejstvij podrazdeleniyami GPS pri tushenii pozharov na AES v usloviyah radiacionnoj avarii. М., 2002. 68 p.
3. Mikeev A. K. Protivopozharnaya zashchita AES. М., 1990. 432 p.
4. Pozharnaya taktika: Osnovy tusheniya pozharov / V. V. Terebnev, A. V. Podgrushnyj. М., 2012. 322 p.
5. Strahov V. L., Davydkin N. F., Kaledin V. O. Osobennosti povedeniya pri pozhare i raschet ognestojkosti nesushchih stroitel'nyh konstrukcij // Pozharnaya bezopasnost' v stroitel'stve. 2011. № 2. P. 20–29.
6. Zashchita prostranstvennykh metallicheskih konstrukcij mashinnykh zalov energeticheskikh ob"ektov ot vozdejstviya vysokih temperatur v usloviyah pozhara / V. I. Tomakov et al. // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii. 2018. Т. 8, № 1 (26). P. 67–80.
7. GOST R 53326–2009 Tekhnika pozharnaya. Ustanovki pozharotusheniya robotizirovannye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy.
8. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition. 2015.
9. Gorban' YU. I. Pozharnye roboty v sovremennykh tekhnologiyah avtomaticheskogo pozharotusheniya // Algoritm bezopasnosti. 2010. № 3. P. 66–71.
10. Gorban' YU. I., Sinel'nikova E. A. Sistemy pozharotusheniya dlya zashchity mashinnykh zalov TEC, AES i GES: Problemy i resheniya // Algoritm bezopasnosti. 2011. № 3. P. 32–36.
11. Koshmarov YU. A. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. М., 2000. 118 p.
12. Atomnyye elektrostancii s reaktorami na bystrykh nejtronah s natrievym teplonositelem. Ch. 1 / A. I. Bel'tyukov et al; pod obshch. red. S. E. SHCHekleina, O. L. Tashlykova. Ekaterinburg, 2013. 548 p.
13. Akulov A. YU., Satyukov R. S., Subachev S. V., Subacheva A. A. Modelirovaniye pozhara v mashinnom zale elektrostancii dlya ocenki meropriyatij po povysheniyu ognestojkosti ego pokrytiya // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2015. № 2 (60). P. 38–48. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.



УДК 614.841

avkhome@inbox.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ  
ПОЖАРА В МНОГОУРОВНЕВОЙ ОТКРЫТОЙ АВТОСТОЯНКЕ ПРИ  
НАЛИЧИИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СТЕНЫ ВБЛИЗИ ОДНОЙ ИЗ СТОРОН**

**SIMULATION OF THE SPREAD OF FIRE HAZARDOUS FACTORS  
IN A MULTI-LEVEL OPEN PARKING WITH THE PRESENCE  
OF A FIRE WALL NEAR ONE OF THE SIDES**

*Карпов А. В., кандидат технических наук,  
Цыбизова Р. К., Карпова И. А., Лучкин С. А.,  
ФГБУ «Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский  
институт противопожарной обороны МЧС России», Балашиха*

*Karpov A., Tsybizova R., Karpova I., Luchkin S.,  
All-Russian Research Institute of  
Fire Defense of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Обеспечение пожарной безопасности автостоянок является чрезвычайно актуальной задачей. При этом одним из важных вопросов является предотвращение распространения пожара между автостоянкой и соседними объектами. В случае невозможности соблюдения противопожарных разрывов широкое распространение получило применение противопожарных стен. Вместе с тем в случае, когда такая стена расположена вблизи открытой автостоянки, она неизбежно будет оказывать влияние на ее проветриваемость и распространение опасных факторов пожара. В связи с этим в данной работе проведено моделирование распространения опасных факторов пожара в открытой многоуровневой автостоянке. Путем сравнительного анализа результатов моделирования было исследовано влияние противопожарной стены, расположенной вблизи от одной из длинных открытых сторон автостоянки, в том числе при наличии ветра.

*Ключевые слова:* пожар в открытой автостоянке, математическое моделирование, предотвращение распространения пожара, противопожарная стена.

The maintenance of the fire safety of parkings is an extremely important task. Herewith one of the important issues is to prevent the spread of fire between the parking and neighboring objects. If it is impossible to comply the fire separation distance, the use of fire walls is widely spread. At the same time, when such a wall is located near an open parking, it will inevitably affect the ventilation of the parking and the spread of fire hazardous factors. So, in this paper the simulation of the fire hazardous factors spread in an open multi-level parking is carried out. The influence of a fire wall located near one of the long open sides of the parking, including in the presence of wind, was investigated by means comparative analysis of the simulation results.

*Keywords:* fire in open parking, mathematical modeling, prevention of fire spread, fire wall.

**Введение**

Несмотря на наметившуюся тенденцию к снижению количества пожаров автотранспортных средств и зданий, предна-

значенных для их хранения, вопрос обеспечения пожарной безопасности указанных объектов является весьма актуальным.

Данные о пожарах ФБД «Пожары» на объектах хранения и обслуживания автомобилей за 2019, 2020 гг. приведены в таблице.

*Таблица*  
*Статистические данные о пожарах в автостоянках*

Наименование объекта	2019 г.				2020 г.			
	Кол-во пожаров, ед.	Кол-во погибших, чел.	Кол-во травмированных, чел.	Прямой ущерб, тыс. руб.	Кол-во пожаров, ед.	Кол-во погибших, чел.	Кол-во травмированных, чел.	Прямой ущерб, тыс. руб.
Сооружение открытой многоместной стоянки	7	0	0	2960	11	0	0	595
Закрытая многоместная стоянка	62	0	4	25146	47	1	2	37666
Индивидуальный гаражный бокс	2070	38	75	50919	2472	41	81	68731
Открытая стоянка автотранспорта и др. техники	18	0	0	209	13	1	2	2230
Здание, помещ. автосервиса, станции, центра тех.обсл., авто-, шиномонт. мастерской	153	4	7	45497	153	2	15	20564

Вопросам обеспечения пожарной безопасности автостоянок посвящено большое количество научных публикаций. Среди работ, посвященных пожарной безопасности открытых автостоянок, можно отметить в частности работы [1, 2]

Одним из важных вопросов является предотвращение распространения пожара между автостоянкой и соседними объектами. Часть 1 статьи 37 Технического регламента [3] предусматривает следующие способы предотвращения распространения пожара между объектами:

- 1) противопожарные стены;
- 2) противопожарные перегородки;
- 3) противопожарные перекрытия;
- 4) противопожарные разрывы;
- 5) противопожарные занавесы, шторы и экраны (экраны стены);

6) противопожарные водяные завесы;

7) противопожарные минерализованные полосы.

При этом при невозможности соблюдения противопожарных разрывов наибольшее распространение получило применение противопожарных стен. Вместе с тем при применении данного способа в случае открытой автостоянки противопожарная стена будет неизбежно оказывать влияние на условия проветриваемости. С целью проведения количественной оценки такого влияния в данной работе была проведена серия расчетов с использованием полевого метода математического моделирования пожара.

### Постановка задачи

Было рассмотрено здание четырехэтажной наземной открытой автостоянки размерами в плане 16,8×47,4 м и высотой 15 м. для предотвращения распространения пожара на соседнее здание на расстоянии 0,45 м от фасада автостоянки расположена противопожарная стена. Были рассмотрены следующие сценарии развития пожара

*Сценарий-1.* Пожар возникает на втором этаже паркинга. Схема расчетной области представлена на рис. 1, 2. Учитывается наличие стены 1-го типа на расстоянии 0,45 м от длинной стороны паркинга. Ветер отсутствует.

В соответствии с функциональным назначением помещения очага пожара

(стоянки легковых автомобилей) данные о свойствах горючей нагрузки были приняты согласно [4].

*Сценарий-2.* Сценарий пожара аналогичен сценарию-1, однако стена первого типа отсутствует. При этом автостоянка является открытой (в соответствии с определением п. 3.3 СП 4.13130.2013 [5]) и в соответствии с СП 7.13130.2013 [6] систему противодымной вентиляции предусматривать не требуется.

*Сценарий-3.* Сценарий пожара аналогичен сценарию-1, учитывается влияние ветра. В соответствии с СП 131.13330.2020 [7] скорость ветра была принята равной 2 м/с.

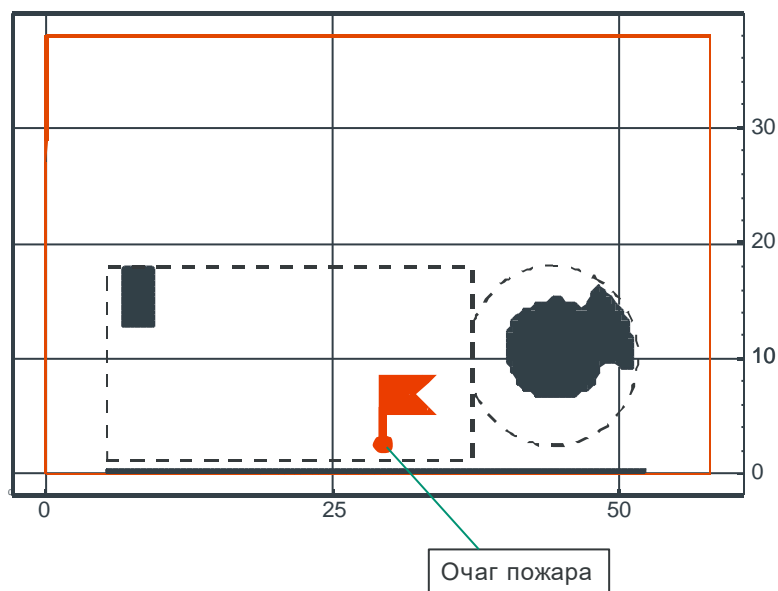


Рисунок 1. Схема расчетной области для сценария-1.  
Горизонтальное сечение на высоте 1,7 м от уровня пола 2 этажа

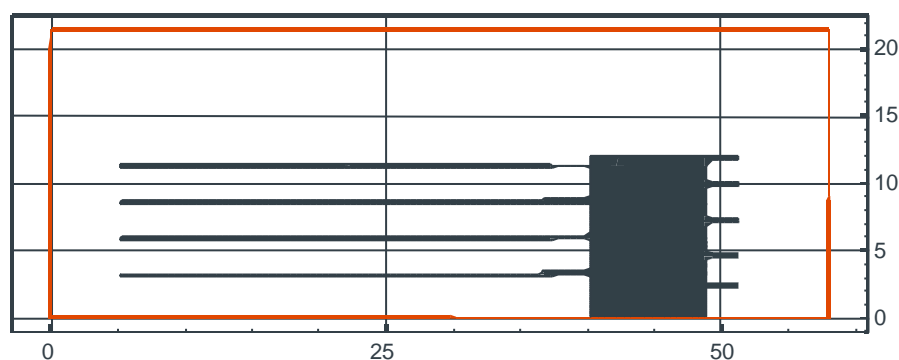


Рисунок 2. Схема расчетной области для сценария-1.  
Продольное вертикальное сечение

### Математическая модель

Использованная для прогнозирования развития пожара математическая модель включала в себя уравнение неразрывности, уравнения сохранения импульса, уравнение сохранения энергии, уравнения переноса для массы паров горючего и функции смешения, а также уравнений  $k - \varepsilon$  модели турбулентности с поправкой на влияние естественной конвекции. Для моделирования горения использовалась диффузионно-вихревая модель Магнусена – Хьертагера. Для расчета переноса тепла излучением использовалась модель дискретного радиационного теплопереноса. Данная математическая модель была реализована с помощью программного комплекса SOFIE [8].

При определении времени блокирования путей эвакуации учитывались следующие опасные факторы пожара: потеря видимости в дыму, повышение температуры до критического значения  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $343\text{ K}$ ), повышение концентрации монооксида углерода  $\text{CO}$  до критического значения  $1,16 \cdot 10^{-3}\text{ кг/м}^3$ .

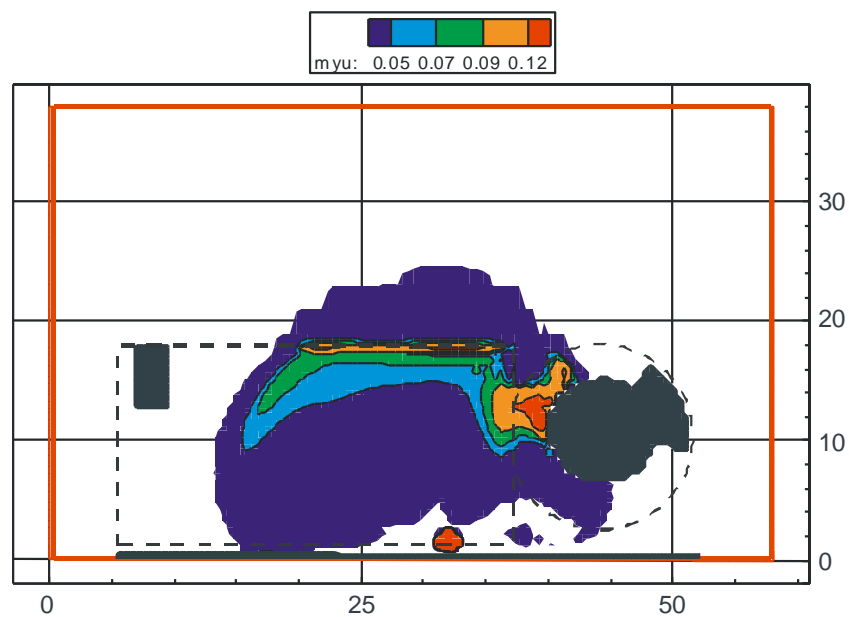
В качестве критического расстояния для оценки времени блокирования по потери видимости в дыму было выбрано значение оптической плотности дыма  $0,12\text{ Нп/м}$ .

### Результаты моделирования

*Сценарий-1.* На рис. 3 представлена оптическая плотность дыма в горизонтальном сечении на высоте  $1,7\text{ м}$  от пола на этаже пожара. Из рисунков видно, что до момента времени  $180\text{ с}$  (рис. 3а) оптическая плотность на высоте  $1,7\text{ м}$  от уровня путей достигает критического значения лишь в отдельных местах автостоянки на незначительной площади. Опускание дыма на значительной части площади этажа пожара автостоянки, приводящее к блокированию путей эвакуации, происходит лишь к моменту времени  $240\text{ с}$  (рис. 3б).

На рис. 4 представлена оптическая плотность дыма в вертикальном поперечном сечении. Из рисунков видно, что на вышележащих этажах автостоянки к моменту времени  $240\text{ с}$  оптическая плотность дыма не превышает критического значения.

а)



б)

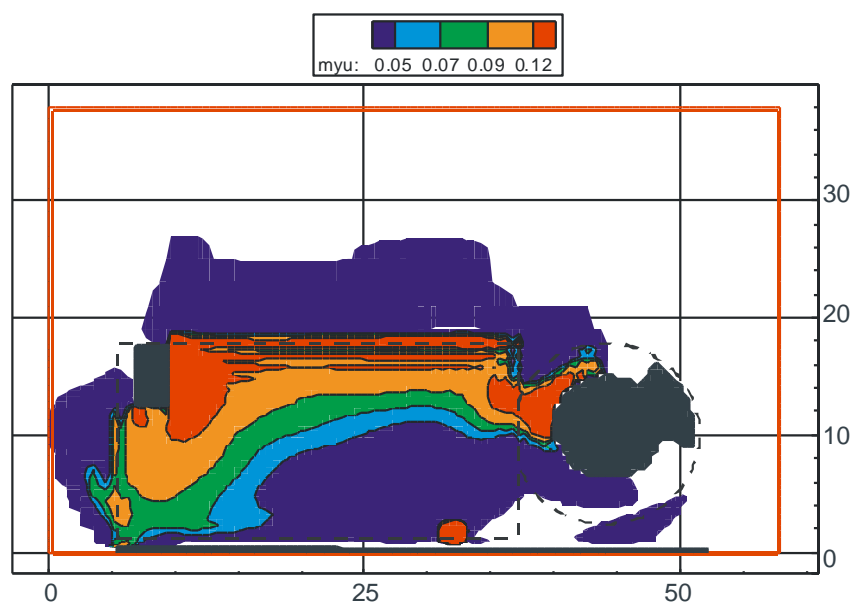
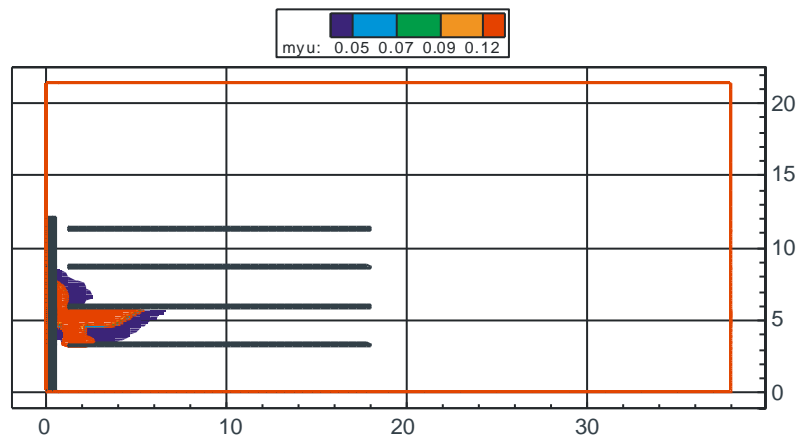
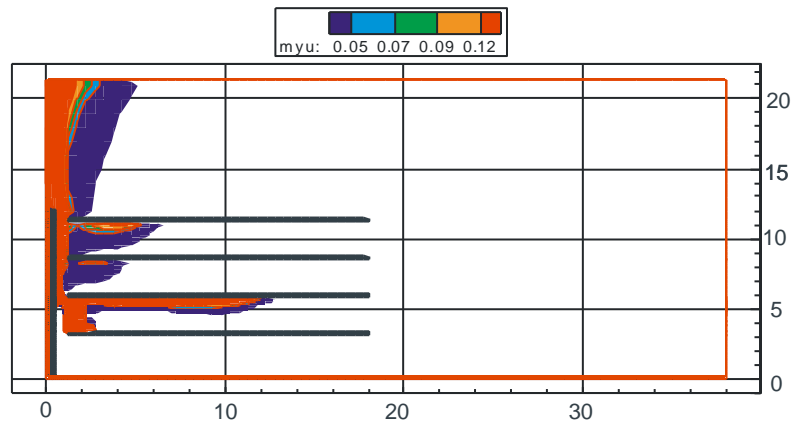


Рисунок 3. Оптическая плотность дыма ( $H_p/m$ ) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола этажа пожара в моменты времени 180 с (а), 240 с (б) для сценария-1

а)



б)



в)

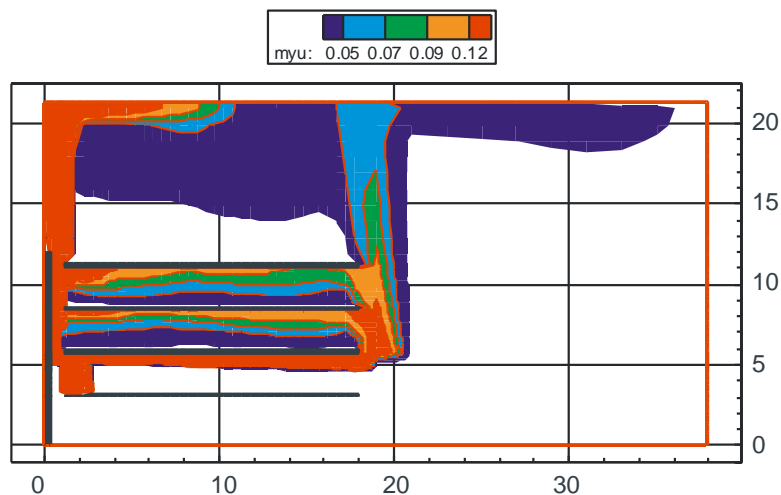


Рисунок 4. Оптическая плотность дыма ( $H_n/m$ ) в поперечном вертикальном сечении в моменты времени 30 с (а), 60 с (б) и 240 с (в) для сценария-1

Сценарий-2. На рис. 5, 6 представлена оптическая плотность дыма в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м на этаже пожара. Из рисунков видно, что до

момента времени 180 с (рис. 5) оптическая плотность на высоте 1,7 м от уровня путей превышает критическое значение лишь в

отдельных местах этажа пожара на незначительной площади. Блокирование путей эвакуации на значительной части площади этажа пожара автостоянки наблюдается к моменту времени 240 с (рис. 6).

Оптическая плотность дыма в вертикальном поперечном сечении представлена на рис. 7. Из рисунков видно, что на вышележащем (третьем) этаже автостоянки к моменту времени 240 с происходит частичное блокирование путей эвакуации.

Сравнительный анализ результатов моделирования сценариев 1 и 2 показывает:

– блокирование путей эвакуации на этаже пожара в обоих сценариях начинается одновременно в момент времени 240 с;

– к моменту времени 300 с в сценарии-1 (при наличии стены) блокируется большая площадь на этаже пожара, чем в сценарии-2 (при отсутствии стены). Однако в сценарии-2, начиная с момента времени 240 с, начинается блокирование путей эвакуации на 3 этаже, что не наблюдается к данному моменту времени в сценарии-1.

Таким образом, наличие стены на расстоянии 1 м от здания автостоянки не приводит к существенному ухудшению условий проветриваемости и обеспечения эвакуации.

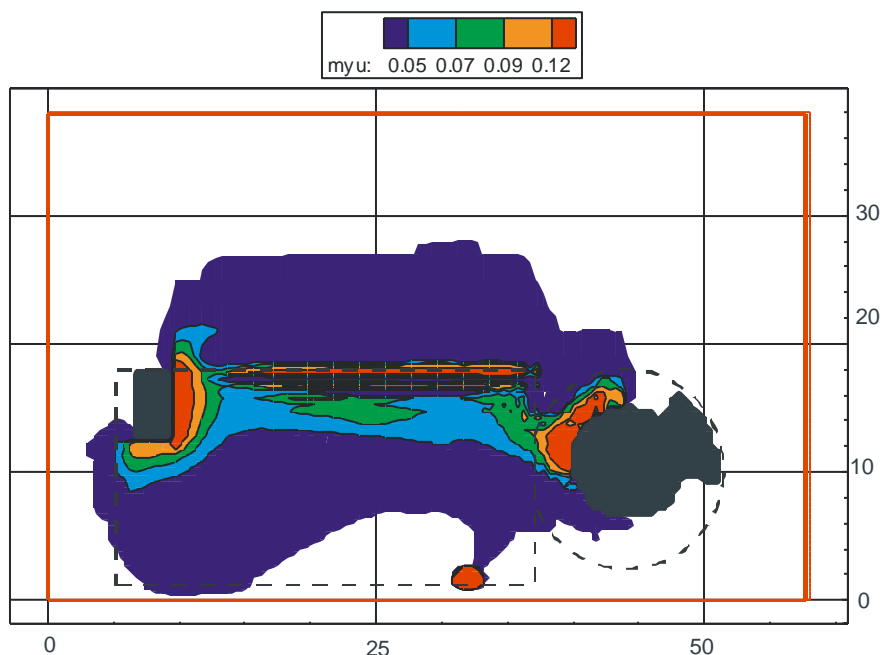


Рисунок 5. Оптическая плотность дыма ( $H_n/m$ ) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола этажа пожара в момент времени 180 с для сценария-2

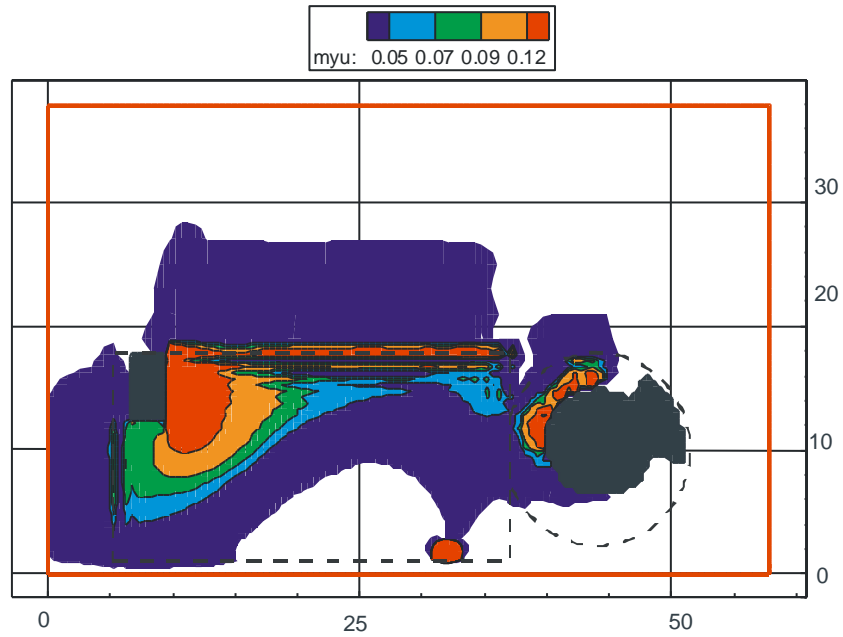
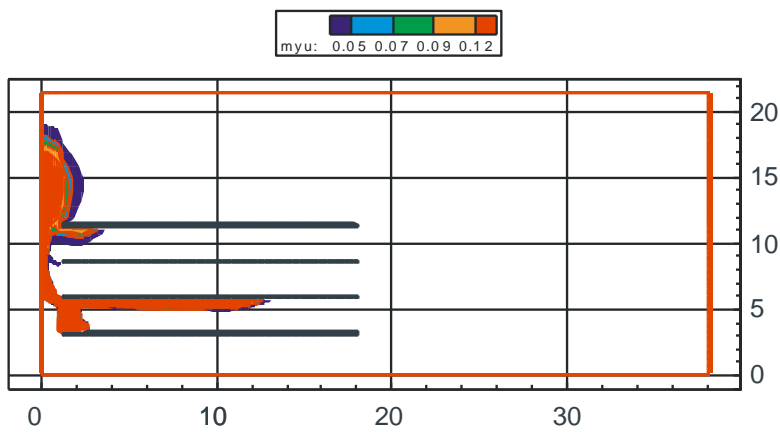
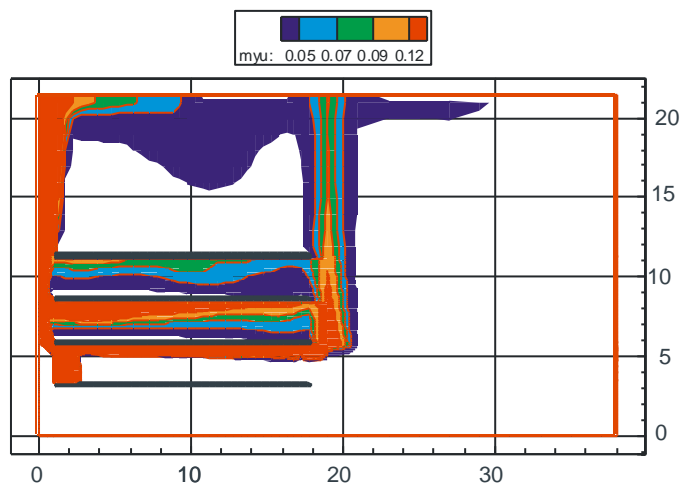


Рисунок 6. Оптическая плотность дыма ( $H_n/m$ ) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола этажа пожара в момент времени 240 с для сценария 2

а)



б)





в)

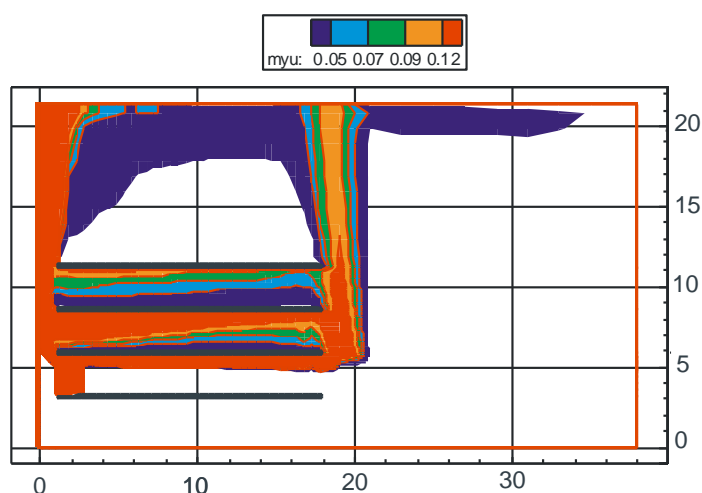
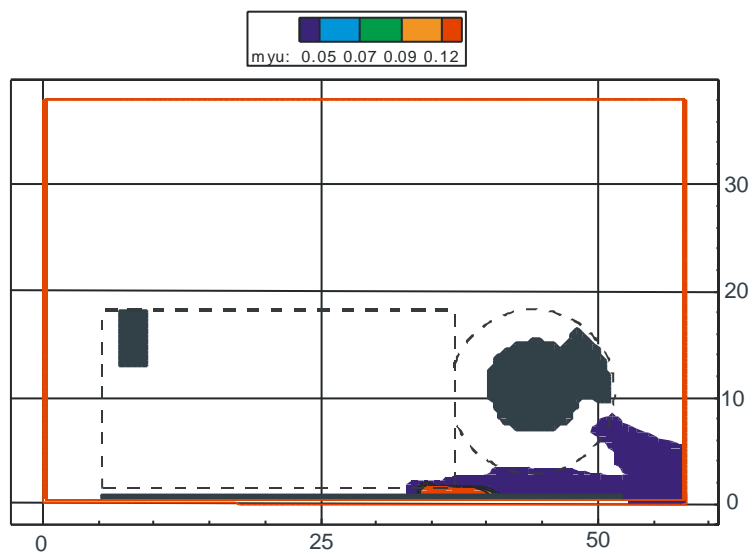


Рисунок 7. Оптическая плотность дыма ( $H_n/m$ ) в вертикальном поперечном сечении в моменты времени 60 с (а), 240 с (б), 300 с (в)

Сценарий-3. Результаты моделирования пожара для сценария-3 представлены на рис. 8–10. Видно, что оптическая плотность дыма на этаже пожара к мо-

менту времени 300 с не достигает критического значения за исключением области восходящей свободно-конвективной струи.

а)



б)

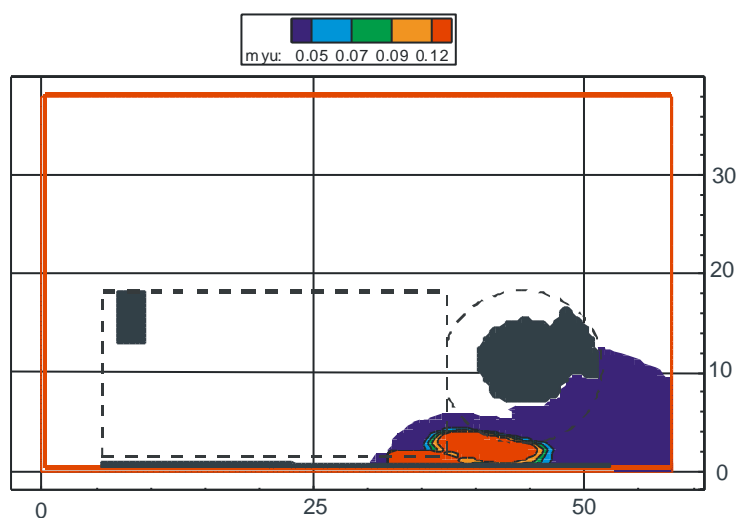


Рисунок 8. Оптическая плотность дыма ( $H_p/m$ ) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола этажа пожара в моменты времени 60 с, 240 с для сценария-3

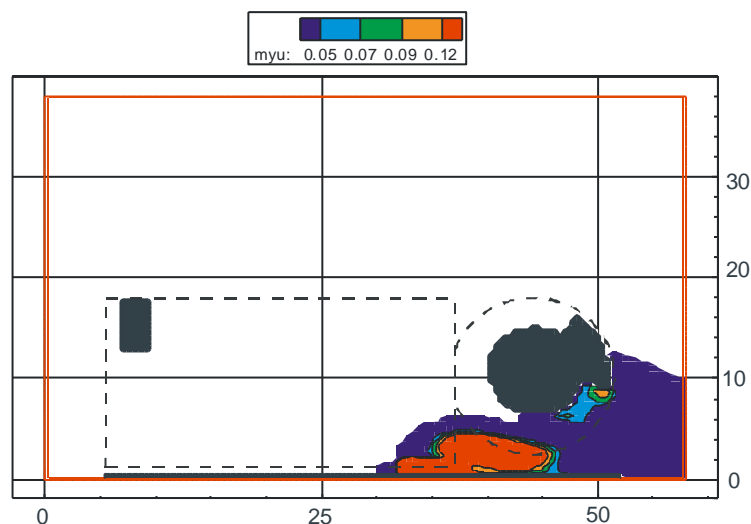


Рисунок 9. Оптическая плотность дыма ( $Hn/m$ ) в горизонтальном сечении на высоте 1,7 м от уровня пола этажа пожара в момент времени 300 с для сценария-3

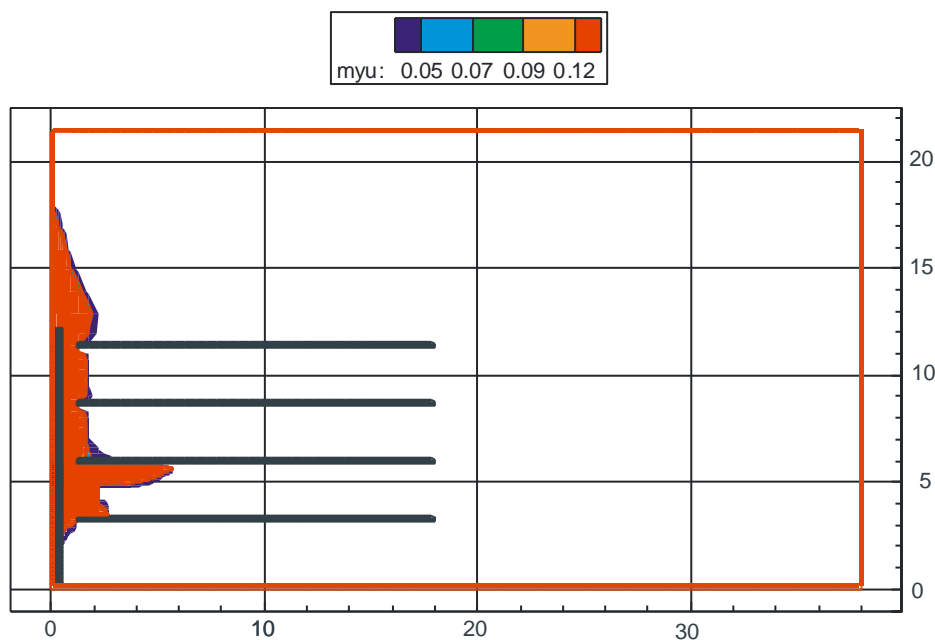


Рисунок 10. Оптическая плотность дыма ( $Hn/m$ ) в вертикальном поперечном сечении автостоянки в момент времени 300 с для сценария-3

**Выводы.** С целью определения влияния стены 1-го типа, предусмотренной на расстоянии 0,45 м от длинной стороны многоуровневой автостоянки на ее проветриваемость, было проведено моделирование трех сценариев развития пожара для данного объекта:

*Сценарий-1.* Пожар на втором этаже паркинга. Учитывается наличие стены 1-го

типа на расстоянии 0,45 м от длинной стороны паркинга. Ветер отсутствует.

*Сценарий-2.* Аналогичен сценарию-1, однако стена первого типа отсутствует. При этом автостоянка является открытой (в соответствии с определением п. 3.3 СП 4.13130.2013) и в соответствии с СП 7.13130.2013 систему противодымной вентиляции предусматривать не требуется.

*Сценарий-3* аналогичен сценарию-1, однако учитывается влияние ветра скоростью 2 м/с.

Сравнительный анализ результатов моделирования сценариев 1 и 2 показал:

– блокирование путей эвакуации на этаже пожара в обоих сценариях начинается одновременно в момент времени 240 с;

– к моменту времени 300 с в сценарии-1 критическое значение оптической плотности дыма наблюдается на большей площади на этаже пожара, чем в сценарии- 2. Однако в сценарии-2, начиная с момента времени 240 с, наблюдается пре-

вышение критического значения оптической плотности дыма на 3 этаже, что не наблюдается к данному моменту времени в сценарии-1.

Результаты моделирования сценария 3 показали, что превышение критического значения оптической плотности дыма к моменту времени 300 с не происходит.

Таким образом, исходя из вышеизложенного наличие стены на расстоянии 0,45 м от рассмотренного здания автостоянки не приводит к ухудшению условий проветриваемости и обеспечения эвакуации как при наличии, так и при отсутствии ветра.

### Литература

1. Моторыгин Ю. Д., Литовченко И. О., Максимов А. В., Черных А. К. Оценка эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 1. С. 25–31.
2. Литовченко И. О., Моторыгин Ю. Д. Методика снижения пожарной опасности в местах открытого хранения автотранспорта с использованием стохастических моделей // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2018. № 2. С. 29–36.
3. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
4. Пособие по применению Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. М., 2014. 226 с.
5. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
6. СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности.
7. СП 131.13330.2020. Строительная климатология (актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*).
8. Welch S., Rubini P., SOFIE, Simulations of Fires in Enclosures, User Guide, Cranfield University, 1996.

### References

1. Motorygin Yu. D., Litovchenko I. O., Maksimov A. V., Chernykh A. K. Otsenka effektivnosti prinyatiya resheniy po povysheniyu pozharnoy bezopasnosti na otkrytykh avtostoyankakh // Pozharovzryvbezopasnost'. 2017. T. 26, № 1. P. 25–31.
2. Litovchenko I. O., Motorygin Yu. D. Metodika snizheniya pozharnoy opasnosti v mestakh otkrytogo khraneniya avtnransporta s ispol'zovaniem stokhasticheskikh modeley // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. 2018. № 2. P. 29–36.
3. Federalniy zakon № 123-FZ ot 22 iyulya 2008 g. «Tekhnicheskiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti».
4. Posobie po primeneniyu Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsional'noy pozharnoy opasnosti. M., 2014. 226 p.
5. SP 4.13130.2013. Sistemy protivopozharnoy zaschity. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara na ob'ektakh zaschity. Trebovaniya k ob'emno-planirovochnym I konstruktivnym resheniyam.
6. SP 7.13130.2013. Otoplenie, ventilyatsiya I konditsionirovanie. Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti.
7. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya (akt. red. SNiP 23-01-99\*).
8. Welch S., Rubini P., SOFIE, Simulations of Fires in Enclosures, User Guide, Cranfield University, 1996.

УДК 614.84

bezzaponnaya@mail.ru

**ОЦЕНКА ТЕРМОСТОЙКОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО МЕТОДОМ  
СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

**EVALUATION OF THERMAL RESISTANCE OF TEXTILE MATERIALS  
COMBAT CLOTHING BY THE FIRE METHOD  
SYNCHRONOUS THERMAL ANALYSIS**

*Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,  
Бизин И. В., Головина Е. В., кандидат технических наук,  
Хабибуллина Н. В., кандидат сельскохозяйственных наук,  
Мансуров Т. Х., Уральский институт Государственной  
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Bezzaponnaya O., Bizin I., Golovina E., Khabibullina N., Mansurov T.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Представлены результаты исследования текстильных материалов боевой одежды пожарного методом синхронного термического анализа. Установлено, что из исследуемых текстильных материалов наибольшей термостойкостью характеризуется материал с силиконовым слоем. Стирка материалов приводит к снижению их термостойкости: повышению потери массы, снижению зольного остатка, повышению скорости потери массы, повышению горючести материала. Пропитка материалов составом, содержащим антипирены, повышает их термостойкость, причем некоторые характеристики термостойкости становятся даже выше, чем у исходных материалов (до стирки).

*Ключевые слова:* термостойкость, боевая одежда пожарного, синхронный термический анализ, потеря массы, зольный остаток, горючесть.

The paper presents the results of a study of textile materials for a firefighter's combat clothing by the method of synchronous thermal analysis. It was found that among the studied textile materials, the material with a silicone layer is characterized by the highest heat resistance. Washing of materials leads to a decrease in their heat resistance: an increase in weight loss, a decrease in ash residue, an increase in the rate of weight loss, and an increase in the flammability of the material. Impregnation of materials with a composition containing fire retardants increases their heat resistance, and some of the heat resistance characteristics become even higher than those of the starting materials (before washing).

*Keywords:* heat resistance, firefighter combat clothing, synchronous thermal analysis, weight loss, ash residue, flammability.

**Введение**

Известно, что работа пожарных является одной из самых опасных. Для обеспечения безопасности работы пожарного в условиях воздействия опасных факторов пожара, боевая одежда пожарного (БОП)

должна быть устойчивой к высокотемпературному воздействию, к воздействию воды и агрессивных сред, а также устойчивой к неблагоприятным климатическим воздействиям окружающей среды. Для обеспечения защиты пожарного ведутся разработки

новых термически устойчивых волокон и модификация уже существующих текстильных материалов («Кевлар», «Арселон», «Номекс», «Карбон» и др.) [1–4], разработка новых антипиренов, используемых при создании БОП, совершенствование методов оценки влияния теплового воздействия [5]. Увеличение термо- и огнестойкости текстильного материала спецодежды позволяет повысить ее устойчивость к воспламенению и снижению степени деструкции при длительном термическом воздействии [6].

Однако известно, что многие применяемые текстильные материалы БОП не в полной мере обеспечивают защиту пожарного. Зачастую пожарный после тушения пожара замечает, что нижняя часть брюк боевой одежды превращается в обгоревшие лохмотья. Кроме этого, в процессе эксплуатации БОП происходит снижение ее термостойкости, так как с каждой стиркой из нее вымывается огнезащитная пропитка.

Авторы работы [7] отмечают, что метод термогравиметрического анализа позволяет контролировать качество материалов, подвергающихся термическому воздействию. Авторы статьи считают, что метод синхронного термического анализа (СТА), который позволяет получить термоаналитические характеристики исследуемого материала в широком диапазоне тем-

ператур и определить закономерности термоокислительной деструкции исследуемых текстильных материалов, целесообразно применять для оценки термостойкости материалов БОП различной химической природы. Кроме этого, актуальны исследования по оценке изменения термостойкости этих материалов в процессе эксплуатации и прогнозирования ее сроков службы. Целью данной работы является исследование термостойкости БОП методом синхронного термического анализа.

#### Характеристика объектов и условий проведения исследования

В качестве образцов для испытаний выбраны шесть материалов боевой одежды пожарного для различных климатических районов разной модификации. Фото образцов текстильных материалов представлено на рис. 1 (а–е):

№ 1 – БОП тип У (рис. 1а);

№ 2 – БОП тип У, РЭ 8572-003-49984806-2004 (рис. 1б);

№ 3 – БОП тип У, вид А Люкс ткань арт 77-БА-АП (рис. 1в);

№ 4 – БОП тип У, ТУ 8572-003-49984806-2004 Мод К-902 (рис. 1г);

№ 5 – Боп Тип Х Силотекс-97 (рис. 1д);

№ 6 – Feuerwehr-Schutzanzug V-Force (LION APPAREL) (рис. 1е).



а



б



В



Г



Д



Е

Рисунок 1. Фото исследуемых текстильных материалов БОП:

а – БОП тип У; б – БОП тип У, РЭ 8572-003-49984806-2004;

в – БОП тип У, вид А Люкс ткань арт 77-БА-АП;

г – БОП тип У, ТУ 8572-003-49984806-2004 Мод К-902;

д – Bon Tun X Силотекс-97; е – Feuerwehr-Schutzanzug V-Force (LION APPAREL)

Исследования образцов текстильных материалов БОП проводили методом синхронного термического анализа на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха при скорости нагрева 20 °С/мин в корундовых тиглях. При проведении испытаний фиксировались следующие

термоаналитические зависимости: термогравиметрическая (ТГ) кривая; дифференциально-термогравиметрическая (ДТГ) кривая; кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Условия проведения испытаний образцов БОП приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Условия проведения испытаний

Условия испытаний	Используемый метод (модуль)	
	ТГ	ДСК
Термопара (материал)	S типа (Pt/PtRh)	
Тигель (материал, объем)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (85 мкл)	
Масса образца, мг	5÷6 мг	

Форма образца	Диск ткани диаметром 4,0 мм, толщиной 0,2–0,3 мм
Атмосфера	воздух
Расход газа, мл/мин	75
Скорость нагрева, °С/мин	20
Конечная температура нагрева, °С	900

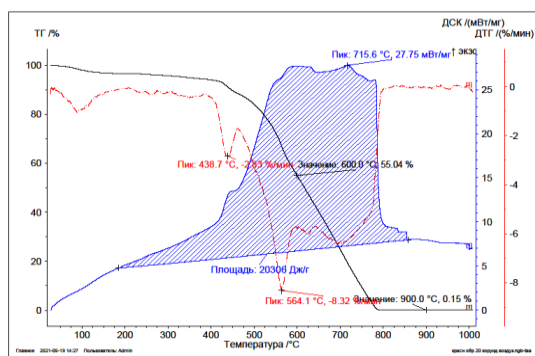
Полученные в ходе термического анализа ТГ-кривые, кривые ДТГ и ДСК трех параллельных испытаний, были обработаны и проанализированы с использованием программного обеспечения Proteus Thermal Analysis.

При анализе термостойкости текстильных материалов БОП основывались на следующих признаках, указывающих на высокую термостойкость материала: невысокая потеря массы при заданной температуре, низкая скорость потери массы, высокое значение зольного

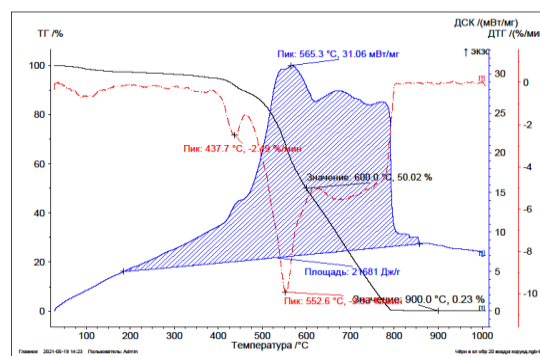
остатка, нахождение ДТГ-пиков в высокотемпературной области, низкий тепловой эффект термоокислительной деструкции материала.

### Результаты термического анализа образцов исходных текстильных материалов БОП

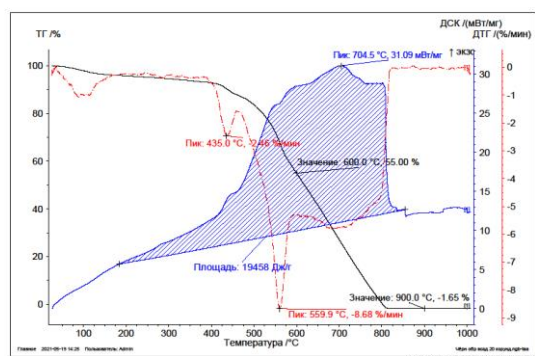
Термограммы исходных текстильных материалов БОП, полученные методом синхронного термического анализа (СТА), представлены на рис. 2 (а–е).



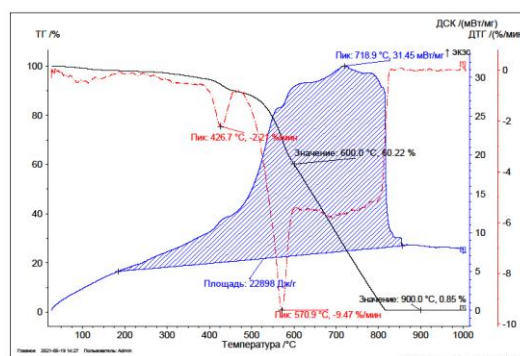
а



б

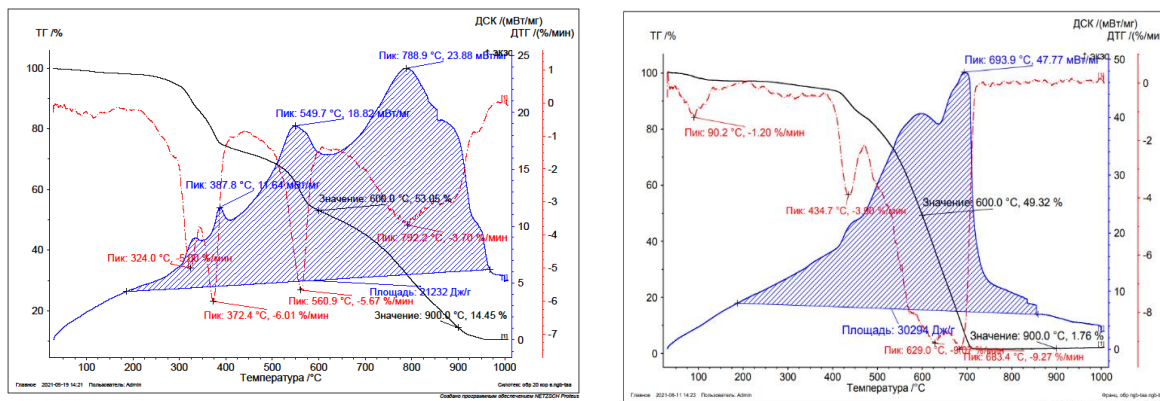


в



г





д е  
 Рисунок 2. Термограммы исходных текстильных материалов БОП:  
 а – БОП тип У; б – БОП тип У, РЭ 8572-003-49984806-2004;  
 в – БОП тип У, вид А Люкс ткань арт 77-БА-АП;  
 г – БОП тип У, ТУ 8572-003-49984806-2004 Мод К-902;  
 д – Боп Тип X Силотекс-97; е – Feuerwehr-Schutzanzug V-Force (LION APPAREL)

По ТГ-, ДТГ- и ДСК- кривым с помощью программного обеспечения Proteus Thermal Analysis были определены следующие термоаналитические характеристики:

- потеря массы ( $\Delta m_t$ , %) при фиксированном значении температуры 600 °С (температуре, при которой интенсивно протекает процесс термоокислительной деструкции);
- зольный остаток, % при температуре 900 °С (максимальной

температуре стандартного режима пожара);

- значения температур при максимумах скорости потери массы (ДТГ-максимумов);

- температуры максимумов тепловых эффектов фазовых переходов, ( $T$ , °С).

Значения термоаналитических характеристик текстильных материалов БОП представлены в табл. 2.

Таблица 2  
 Результаты термического анализа текстильных материалов боевой одежды пожарного

№ п/п	Термоаналитическая характеристика	Исследуемый материал*					
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1	Потеря массы при $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$	44,96	49,98	45,00	39,78	46,95	50,68
2	Зольный остаток при $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,15	0,23	1,65	0,85	14,45	1,76
3	Температуры максимума 1 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	<u>438,7</u> 2,83	<u>437,7</u> 2,49	<u>435,0</u> 3,46	<u>426,7</u> 2,21	<u>372,4</u> 6,01	<u>434,7</u> 3,90

4	Температуры максимума 2 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	<u>564,1</u> 8,32	<u>552,6</u> 9,53	<u>559,9</u> 8,68	<u>570,9</u> 9,47	<u>560,9</u> 5,67	<u>629,0</u> 9,07
5	Температуры максимума 3 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	<u>702,3</u> 5,36	<u>693,5</u> 5,38	<u>704,1</u> 5,12	<u>698,6</u> 5,36	<u>732,2</u> 3,70	<u>683,4</u> 9,27
6	Температуры максимума ДСК-пика, °С	715,6	565,3	704,5	718,9	788,9	693,9
7	Тепловой эффект термоокислительной деструкции, Дж/г	20306	21681	19458	22898	21232	30,29

\*Примечание: № 1 – БОП тип У; № 2 – БОП тип У, РЭ 8572-003-49984806-2004;

№ 3 – БОП тип У, вид А Люкс ткань арт 77-БА-АП; № 4 – БОП тип У, ТУ 8572-003-49984806-2004 Мод К-902; № 5 – Боп Тип Х Силотекс-97; № 6 – Feuerwehr-Schutzanzug V-Force (LION APPAREL)

Анализ результатов СТА показал, что наименьшая потеря массы при температуре 600 °С характерна для материала № 4, что свидетельствует о достаточно высокой термостойкости данного материала. Пик с наибольшей потерей массы (второй ДТГ-пик) наблюдается при более высоких температурах, нежели чем у других материалов, что указывает на более высокую термостойкость данного материала. Однако тепловой эффект процесса термоокислительной деструкции (горения) данного материала превышает тепловой эффект горения некоторых других материалов. Самой высокой скоростью потери массы на 2 стадии термолиза материала характеризуется материал № 2.

Из всех исследуемых текстильных материалов по термостойкости выделяется Силотекс-97 (материал № 5), изготовленный с добавлением полимерных нитей, а также покрытый полимерным силиконовым слоем, который предохраняет от тепловых воздействий: материал характеризуется высоким значением зольного остатка (14,45 %) по сравнению с другими анализируемыми материалами. Однако тепловой эффект термоокислительной деструкции (горения) материала достаточно высокий (21 232 Дж/г), то есть материал горючий и целесообразно модифицировать данный материал для снижения его горючести. Обычно для этих целей при производстве

волокон ткани применяют негорючие добавки, а также используют пропитки для повышения термостойкости текстильного материала [8–10].

Заслуживает внимания образец материала № 6 французского производства. Результаты термического анализа данного материала противоречивы: зольный остаток составил 1,76 %, что больше, чем у материалов 1-4, но значительно ниже, чем у материала № 5. Это свидетельствует о достаточно высокой термостойкости материала, но не сравнимой с термостойкостью материала, покрытым силиконовым слоем. При этом потеря массы при температуре 600 °С характеризуется высоким значением (50,68 %), превышающим потерю массы другими анализируемыми материалами при данной температуре, а высокий экзотермический эффект свидетельствует о высокой горючести материала.

#### **Результаты термического анализа образцов текстильных материалов БОП после стирки**

Известно, что после стирки БОП частично теряет свои теплозащитные свойства – ткань становится менее термостойкой, так как из нее вымывается пропитка с огнезащитными свойствами. Для оценки потери термостойкости материалов БОП после стирки были проведены исследова-

ния образцов материалов, характеризующихся по результатам СТА самой высокой термостойкостью – образцов материалов

№ 4 и № 5. Термограммы данных материалов БОП после стирки приведены на рис. 3–4.

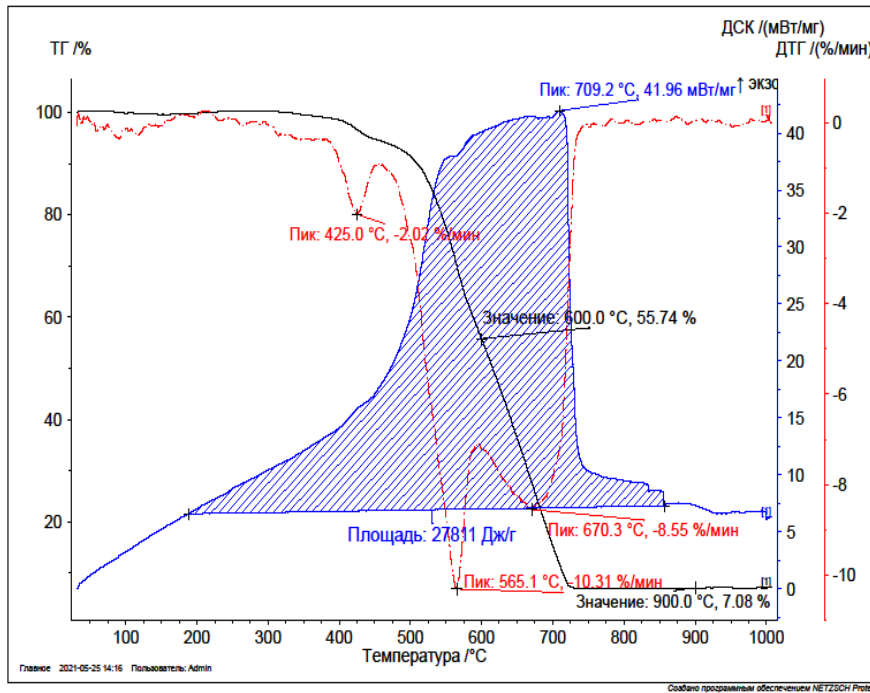


Рисунок 3. Термограмма материала БОП № 4 после стирки

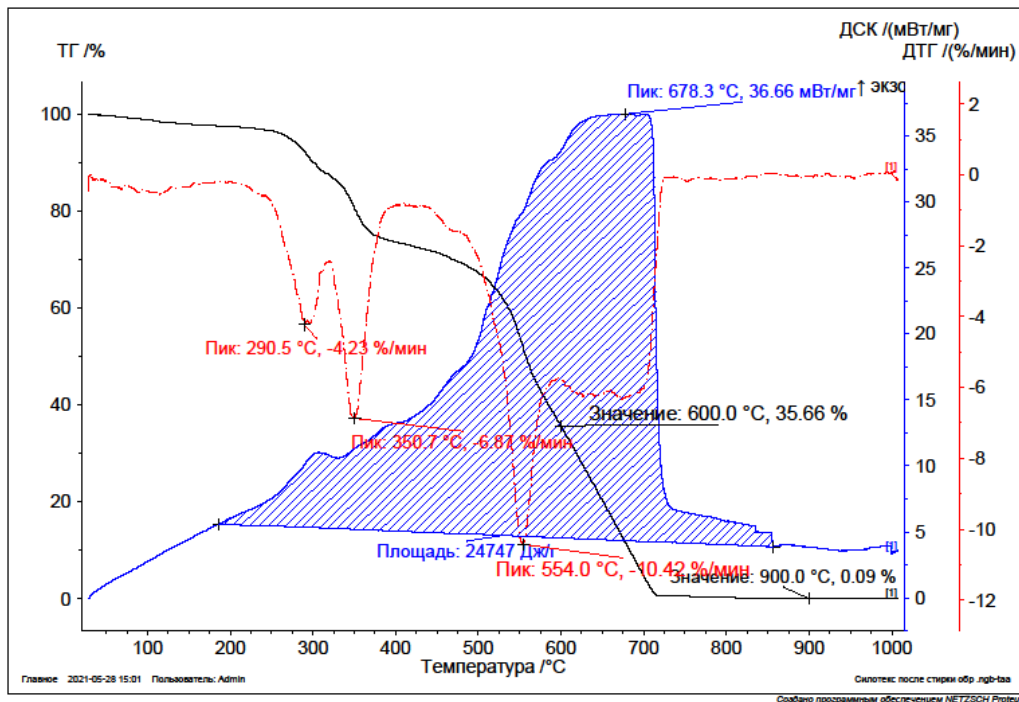


Рисунок 4. Термограмма материала БОП № 5 после стирки

Термоаналитические характеристики, полученные после обработки термограмм с помощью программного обеспечения Proteus, приведены в табл. 3.

Таблица 3  
*Результаты термического анализа образцов материала БОП после стирки*

№ п/п	Термоаналитическая характеристика	Исследуемый материал БОП после стирки	
		№ 4	№ 5
1	Потеря массы при T = 600 °C	44,26	64,34
2	Зольный остаток при T = 900 °C	7,08	0,09
3	Температуры максимума 1 ДТГ-пика °C / скорость потери массы, %/мин	<u>425,0</u> 2,02	<u>350,7</u> 6,87
4	Температуры максимума 2 ДТГ-пика °C / скорость потери массы, %/мин	<u>565,1</u> 10,31	<u>554,0</u> 10,42
5	Температуры максимума 3 ДТГ-пика °C / скорость потери массы, %/мин	<u>670,3</u> 8,55	<u>708,2</u> 6,08
6	Температуры максимума ДСК-пика, °C	709,2	678,3
7	Тепловой эффект термоокислительной деструкции, Дж/г	27811	24747

Анализ термоаналитических характеристик свидетельствует о значительном снижении термостойкости обоих анализируемых материалов: повышается потеря массы (в среднем на 24 %), ДТГ-максимума смещаются в низкотемпературную область (при меньших температурах происходит термодеструкция ткани), повышается скорость потери массы, повышается тепловой эффект процесса горения материала (в среднем на 19 %). То есть стирка боевой одежды пожарного приводит к снижению стойкости материала БОП к термическому воздействию. Данный факт приводит к выводу о необходимости применения после каждой стирки пропитки материала

для недопущения снижения его термостойкости.

#### **Результаты термического анализа образцов после пропитки текстильного материала БОП огнезащитной пропиткой**

Для пропитки использовались защитные пропитки «Эксперт» и OLIMP. Огнебиозащитная пропитка OLIMP содержала антипирены (вещества, замедляющие процесс термоокислительной деструкции (горения) материала). Пропитку проводили в течение 6 часов с последующей сушкой не менее 24 часов. Термограммы материала БОП после стирки и дальнейшей пропитки представлены на рис. 5–6.

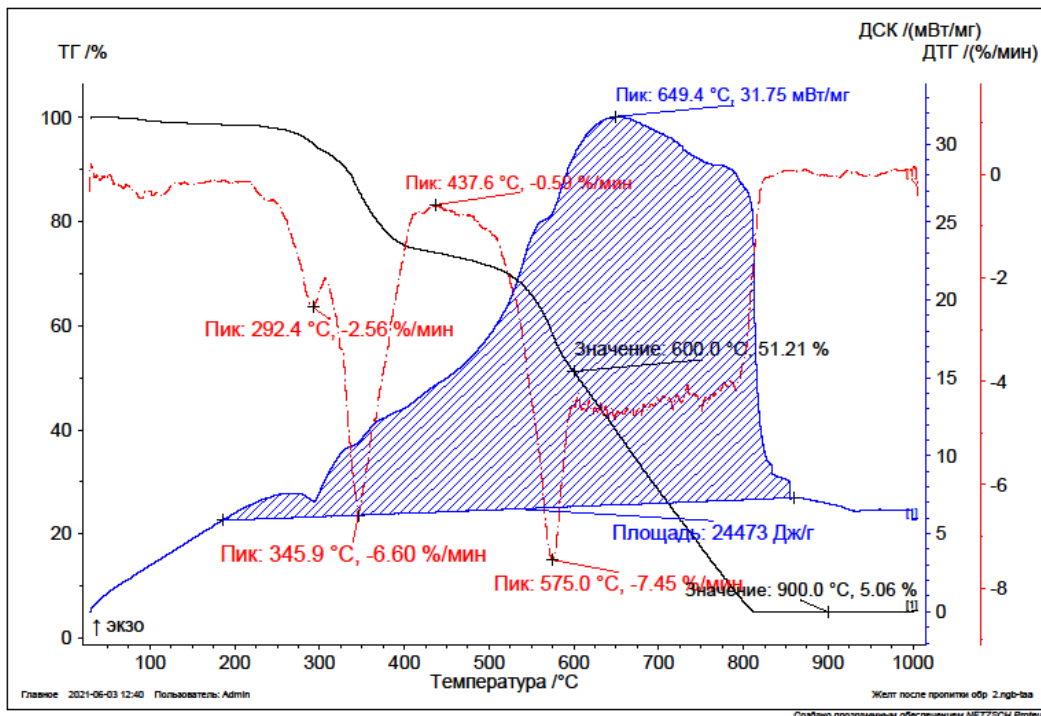


Рисунок 5. Термограмма материала БОП № 4 после стирки и последующей пропитки

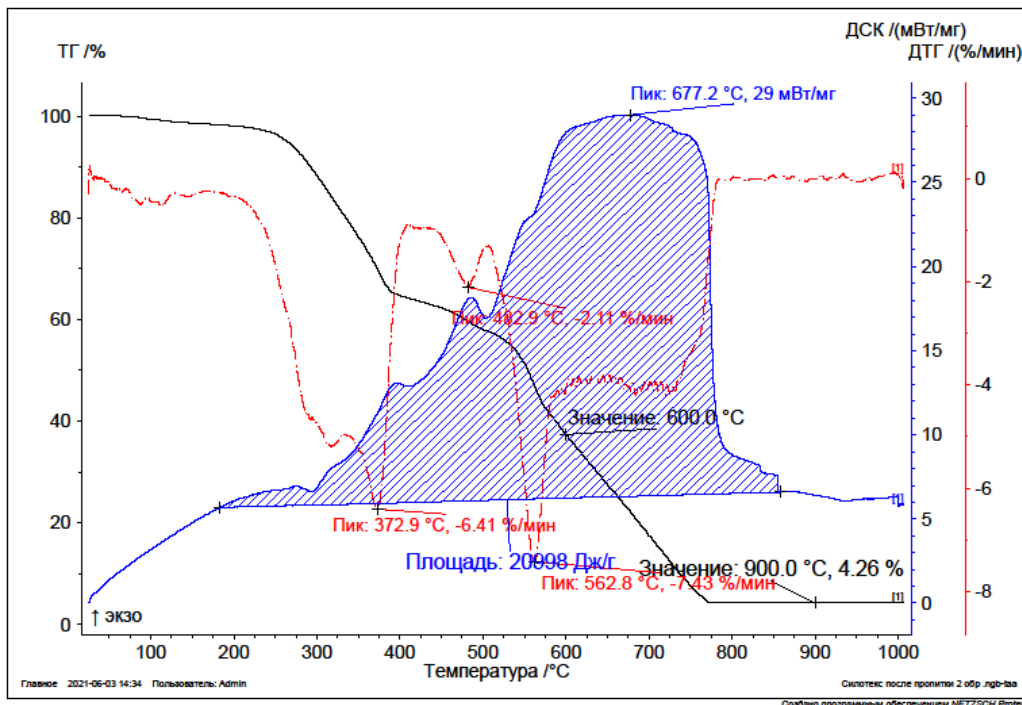


Рисунок 6. Термограмма материала БОП № 5 после стирки и последующей пропитки

Результаты, полученные после обработки термоаналитических кривых с помощью программного обеспечения Proteus, представлены в табл. 4.

Таблица 4

*Результаты термического анализа образцов материала БОП после стирки и после пропитки огнебиозащитной пропиткой OLIMP*

№ п/п	Термоаналитическая характеристика	Исследуемый материал после стирки			
		№ 4	№ 4 после пропитки	№ 5	№ 5 после пропитки
1	Потеря массы при T = 600 °С	44,26	48,79	64,34	62,15
2	Зольный остаток при T = 900 °С	7,08	5,06	0,09	4,26
3	Температуры максимума 1 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	425,0	345,9	350,7	372,9
		2,02	6,60	6,87	6,41
4	Температуры максимума 2 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	565,1	575	554,0	562,8
		10,31	7,45	10,42	7,43
5	Температуры максимума 3 ДТГ-пика °С / скорость потери массы, %/мин	670,3	780,3	708,2	740,2
		8,55	4,43	6,08	4,17
6	Температуры максимума ДСК-пика, °С	709,2	649,4	678,0	677,2
7	Тепловой эффект термоокислительной деструкции, Дж/г	27 811	24473	24 747	20998

Анализ результатов показал, что для материала № 5 понизилась потеря массы и повысился зольный остаток, температуры максимумов ДТГ-пиков сместились в высокотемпературную область, понизилась скорость потери массы, снижился тепловой эффект от горения материала (в среднем на 15,7 %), что свидетельствует о повышении термостойкости данного текстильного материала. Необходимо также отметить, что при воздействии высоких температур на материал № 4 происходит повышение потери массы за счет процесса терморасширения пропитки (интумесценции) с выделением газа CO<sub>2</sub> и паров воды, т. е. негорючих газов – флегматизаторов, что дополнительно приводит к снижению скорости окислительной деструкции материала № 4 БОП.

Таким образом, применение после стирки пропиток, содержащих антипирены, приводит к повышению термостойкости текстильных материалов, причем некоторые характеристики термостойкости становятся даже выше (температура максимума третьего ДТГ пика смещается в высокотемпературную область, снижается горючесть (тепловой эффект горения), чем у исходного материала (до стирки).

#### **Выводы:**

1. Термический анализ шести исследуемых материалов БОП показал, что наибольшей термостойкостью характеризуется материал с силиконовым слоем – Силотекс-97.

2. Стирка материалов приводит к снижению их термостойкости: повышается

потеря массы, понижается зольный остаток, повышается скорость потери массы, повышается горючесть материала.

3. Пропитка материалов составом, содержащим антипирены, повышает их

термостойкость, причем некоторые характеристики термостойкости становятся даже выше, чем у исходного материала (до стирки).

#### Литература

1. Лукьянов А. С. и др. Анализ повреждений боевой одежды пожарных в подразделениях по чрезвычайным ситуациям при проведении работ по тушению пожаров и связанных с ними аварийно-спасательных работ // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2019. № 2 (46). С. 150–162.
2. Таласпаева А. А., Жилисбаева Р. О. Анализ существующих разработок в области проектирования спецодежды пожарных // Вестник Алматинского технологического университета. 2013. № 4. С. 16–21.
3. Лаврентьева Е. П., Дьяченко В. В., Михайлова М. П., Ковальчук Л. С. Исследование свойств и возможности применения отечественного огнестойкого волокна Нитокс при создании ассортимента огнезащитных тканей для спецодежды // Швейная промышленность. 2007. № 3. С. 47–50.
4. Коломейцева Э. А., МORYГАНОВ А. П. Огнезащитная и комплексная отделка технического текстиля из целлюлозных и смешанных волокон // Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX). 2017. № 1. С. 49–54.
5. Трофимец Е. Н., Туголуков Д. М., Эрлих Е. А. Оценка влияния теплового воздействия на боевую одежду пожарного // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2019. № 3 (31). С. 25–30.
6. Шингалеев А. Э., Снегирёв Д. Г. Классификация термостойких текстильных материалов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сб. мат. Международной научно-практической конференции, посвящённой Году культуры безопасности. 2018. С. 185–187.
7. Зубкова Н. С., Горин М. С., Тимагина Н. В., Нагановский Ю. К. Получение термостойких материалов с комплексом защитных свойств // Известия ЮФУ. Технические науки: математика, механика, химия. 2014. № 1. С. 205–209.
8. Иванова С. Н., Шульц Ю. М., Загоруйко М. В. Огнезащитная модификация полушерстяных тканей фосфорсодержащими замедлителями горения // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: мат. докладов международной научно-технической конференции, посвященной Году науки. Витебск, 21–22 ноября 2017 г. Витебск, 2017. С. 44–46.
9. Барелко В. В., Кирюхин Д. П., Кузнецов М. В. Новые стеклополимерные композиционные материалы с фторопластовыми наполнителями для нужд МЧС России // Технологии гражданской безопасности. 2014. Т. 11, № 4 (42). С. 34–38.
10. Кузнецов М. В., Кирюхин Д. П. Перспективные композиционные материалы с улучшенными физико-химическими характеристиками для нужд МЧС России // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сб. мат. Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 19 сентября 2018 г. Ч. II. Иваново, 2018. С. 22–25.

#### References

1. Luk'yanov A. S. et al. Analiz povrezhdenij boevoj odezhdy pozharных v podrazdeleniyah po chrezvychajnym situacijam pri provedenii rabot po tusheniyu pozharov i svyazannyh s nimi avarijno-spasatel'nyh rabot // CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. 2019. № 2 (46). P. 150–162.
2. Talaspaeva A. A., ZHilisbaeva R. O. Analiz sushchestvuyushchih razrabotok v oblasti proektirovaniya specodezhdy pozharных // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. № 4. P. 16–21.
3. Lavrent'eva E. P., D'yachenko V. V., Mihajlova M. P., Koval'chuk L. S. Issledovanie svojstv i vozmozhnosti primeneniya otechestvennogo ognestojkogo volokna Nitoks pri sozdanii assortimenta ogneshchitnyh tkanej dlya specodezhdy // SHvejnaya promyshlennost'. 2007. № 3. P. 47–50.
4. Kolomejceva E. A., Moryganov A. P. Ogneshchitnaya i kompleksnaya otdelka tekhnicheskogo tekstilya iz cellyuloznych i smeshannyh volokon // Fizika voloknistyh materialov: struktura, svojstva, naukoymkie tekhnologii i materialy (SMARTEX). 2017. № 1. P. 49–54.
5. Trofimec E. N., Tugolukov D. M., Erlih E. A. Ocenka vliyaniya teplovogo vozdejstviya na boevuyu odezhdu pozharного // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2019. № 3 (31). P. 25–30.
6. SHingaleev A. E., Snegiryov D. G. Klassifikaciya termostojkih tekstil'nyh materialov // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii: sb. mat. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchyonnoj Godu kul'tury bezopasnosti. 2018. P. 185–187.

7. Zubkova N. S., Gorin M. S., Timagina N. V., Naganovskij YU. K. Poluchenie termostojkikh materialov s kompleksom zashchitnyh svojstv // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki: matematika, mekhanika, himiya. 2014. № 1. P. 205–209.

8. Ivanova S. N., SHul'c YU. M., Zagorujko M. V. Ogneshchitnaya modifikaciya polusherstyanyh tkanej fosforsoderzhashchimi zamedlitelyami gorenija // Innovacionnye tekhnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu nauki, Vitebsk, 21-22 noyabrya 2017 g. Vitebsk, 2017. P. 44–46.

9. Barelko V. V., Kiryuhin D. P., Kuznecov M. V. Novye steklopolimernye kompozicionnye materialy s ftoroplastovymi napolnitelyami dlya nuzhd MCHS Rossii // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2014. T. 11, № 4 (42). P. 34–38.

10. Kuznecov M. V., Kiryuhin D. P. Perspektivnye kompozicionnye materialy s uluchshennymi fiziko-himicheskimi harakteristikami dlya nuzhd MCHS Rossii // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii. CH. II: sb. mat. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu kul'tury bezopasnosti, Ivanovo, 19 sentyabrya 2018 g. Ivanovo, 2018. P. 22–25.



УДК 621.039.586

tsa-nhl@mail.ru

**АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ПРОИЗОШЕДШИЕ  
НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ЗА ПЕРИОД 1952–1991 ГГ.****EMERGENCY SITUATIONS THAT OCCURRED  
AT NUCLEAR POWER PLANTS DURING THE PERIOD 1952–1991**

*Титов С. А., Барбин Н. М., доктор технических наук,  
Кобелев А. М., кандидат технических наук,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Titov S., Barbin N., Kobelev A.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry  
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье проанализированы аварийные ситуации на атомных электростанциях в мире за период 1952–1991 гг. В работе проведен системный и статистический анализ аварийных событий в атомной энергетике. Для проведения системного анализа были выделены основные факторы: количество аварий и инцидентов, год, страны, в которых происходили аварийные события (СССР, США, Германия, Канада, Франция, Великобритания, Япония, Финляндия, Швейцария, Словакия, Аргентина, Испания, Индия). Выявлены объекты аварий (активная зона реактора, корпуса реактора, трубки конденсатора реактора, контур реактора и системы охлаждения, парогенераторы и паропроводные системы, отказ систем управления и сбоя автоматики, трансформаторы и кабельные каналы, насосы и насосные системы, предохранительные устройства, трубопроводные системы, технологический канал, механизмы системы давления и другие случаи). Определены основные причины возникновения аварийных ситуаций (по технической неисправности, по вине персонала, из-за короткого замыкания и сбоя автоматики). Отмечены типы реакторов (NRX, BWR, «Энрико Ферми – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, ВВЭР, РБМК, БН-600, PHWR, GCR). Для проведения статистического анализа было определено процентное соотношение возникновения аварий и инцидентов, основных объектов и причин возникновения аварийных ситуаций на атомных электростанциях в мире.

*Ключевые слова:* атомная электростанция, авария, инцидент, аварийная ситуация, выброс радиоактивных веществ, реактор.

The article analyzes emergency situations at nuclear power plants in the world for the period 1952–1991. The paper provides a systematic and statistical analysis of emergency events in the nuclear power industry. To conduct a system analysis, the main factors were identified: the number of accidents and incidents, the year, the countries in which emergency events occurred (USSR, USA, Germany, Canada, France, Great Britain, Japan, Finland, Switzerland, Slovakia, Argentina, Spain, India). The objects of accidents have been identified (reactor core, reactor vessels, reactor condenser tubes, reactor circuit and cooling systems, steam generators and steam pipeline systems, control system failure and automation failure, transformers and cable ducts, pumps and pumping systems, safety devices, pipeline systems, process channel, pressure system mechanisms and other cases).

The main causes of emergency situations have been identified (due to a technical malfunction, due to the fault of personnel, due to a short circuit and an automation failure). The types of reactors are marked (NRX, BWR, «Enrico Fermi – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, VVER, RBMK, BN-600, PHWR, GCR. For statistical analysis, the percentage of accidents and incidents, the main objects and causes of accidents at nuclear power plants in the world was determined.

*Keywords:* nuclear power plant, accident, incident, emergency, release of radioactive substances, reactor.

Общее мировое производство электроэнергии в наше время достигло порядка 16 млн ГВт в час. По данным международного энергетического агентства (МЭА) на сегодняшний день ежегодное производство электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС) составляет 2,58 млн ГВт в час. Атомная энергетика занимает 15,54 % доли в производстве электроэнергии в мире. В рабочем состоянии находится 191 АЭС, в которые входит 451 энергоблок [1]. Атомная энергетика является сложным производством, где возможно возникновение множества различных аварий [2–5].

В работе рассматриваются аварийные и нештатные ситуации, возникающие на АЭС в период с 1952 по 1991 гг. Проведен статистический и системный анализ, материалы были взяты из источников [2; 6–16]. При анализе статистических данных использовались программы: Microsoft Word и Microsoft Excel. Для проведения системного анализа были выделены основные факторы: количество аварийных событий; страны, в которых происходили аварии и инциденты (СССР, США, Германия, Канада, Франция, Великобритания, Япония, Финляндия, Швейцария, Словакия, Аргентина, Испания, Индия); год аварийных ситуаций; объекты аварийных случаев (активная зона реактора, корпуса реактора, трубки конденсатора реактора, контур реактора и системы охлаждения, парогенераторы и паропроводные системы, отказ систем управления и сбоя автоматики, трансформаторы и кабельные каналы, насосы и насосные системы, предохранительные устройства, трубопроводные системы, технологический канал, механизмы системы

давления и другие случаи); причины возникновения аварийных ситуаций (по технической неисправности, по вине персонала, из-за короткого замыкания и сбоя автоматики); типы (название) реакторов (NRX, BWR, «Энрико Ферми – 1», Magnox, Windscale-1, EBR-1, AGR, UNGG, ВВЭР, РБМК, БН-60, PHWR, GCR).

Самое большое количество аварийных случаев зафиксировано в СССР: 24 аварии и 9 инцидентов. Восемнадцать аварий случилось по технической неисправности. Первая авария возникла 7 января 1974 г. на Ленинградской АЭС. В первом энергоблоке реактора большой мощности канального (РБМК) произошел взрыв железобетонного газгольдера, что повлекло за собой возгорание реактора. Через год, 30 ноября 1975 г., на этой же АЭС случилась еще одна крупная авария, которая была связана с разрушением технологического канала на первом энергоблоке РБМК, что привело не только к аварийной остановке, но и выбросу радиоактивных веществ. На Чернобыльской АЭС 7 сентября 1982 г. в результате аварии разгерметизировался технологический канал РБМК и последовала его аварийная остановка с выбросом радиоактивных веществ. В декабре этого же года на Ровенской АЭС возникла авария, которая была связана с разгерметизацией первого контура на блоке № 1 водородного энергетического реактора (ВВЭР). Последствия аварии – остановка энергоблока [6]. На Чернобыльской АЭС 27 февраля 1983 г. произошел гильотинный разрыв технологического канала РБМК-1000. В этом же году 20 апреля на Южно-Украинской АЭС была зафиксирована авария, связанная с разрушением

главного циркулирующего насоса, повлекшим аварийную остановку АЭС. На Курской АЭС 21 апреля 1983 г. возникла авария с разрушением технологического канала РБМК-1000. В этот же год на Южно-Украинской АЭС произошло повреждение «холодных» коллекторов, что повлекло аварийную остановку АЭС. В 1984 г. зафиксировано две аварии. Первая возникла 11 мая на Калининской АЭС. Случилось ложное срабатывание автоматики, связанное с непосадкой пилотного клапана ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора. Вторая авария произошла 14 декабря на Южно-Украинской АЭС; она была связана с возгоранием кабелей в реакторном отделении ВВЭР-1000, что привело к возникновению пожара и аварийной остановке АЭС. На Балаковской АЭС 27 июня 1985 г. произошло нарушение условий отсечки первого контура от трубопроводов системы локализации аварии ВВЭР-1000. Последствия этой аварии – аварийная остановка реактора. В 1988 г. зарегистрировано две аварии. Первая – 5 сентября. На Игналинской АЭС возник пожар из-за перегрева кабелей на энергоблоке № 2 РБМК-1500, что в дальнейшем повлекло остановку реактора. Вторая – 15 октября. На Запорожской АЭС случилось повреждение холодных коллекторов парогенератора. Через год, 13 июня 1989 г., на Запорожской АЭС произошла аналогичная авария, что и год назад, закончившаяся повреждением холодных коллекторов парогенератора на энергоблоке № 2. В 1990 г. было отмечено три аварии. В начале года на Белоярской АЭС произошла авария с протечкой первого контура реактора на быстрых нейтронах (БН-600). На Южно-Украинской АЭС 20 сентября на блоке № 1 случилось повреждение «холодных» коллекторов парогенератора, в связи с этим блок был остановлен. На Смоленской АЭС 11 августа вследствие гидроудара произошел разрыв паропровода на блоке № 3 РБМК-1000. На Чернобыльской АЭС 11 октября 1991 г. в машинном зале электростанции

из-за конструктивной недоработки случилось возгорание на блоке № 2 РБМК, что привело к крупному пожару и аварийной остановке реактора с последующим выбросом радиоактивных веществ в атмосферу.

Три аварии случилось по вине персонала. Первая произошла 15 октября 1982 г. на Армянской АЭС. Из-за неправильных действий персонала случилось несанкционированное подключение внешней сети ВВЭР, что повлекло за собой пожар с последующей аварийной остановкой. Вторая авария зафиксирована в ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской АЭС, где произошло возгорание водорода и разрушение РБМК-1000. Последствия данной аварии повлекли за собой выброс радиоактивных веществ, взрыв реактора и пожар на АЭС с последующей остановкой реактора [7–12]. Третья возникла 28 марта 1988 г. на Игналинской АЭС. Вследствие гидроудара случилось повреждение дренажного трубопровода и трубопроводной системы выпуска отработанного пара турбины на блоке № 1 РБМК-1500.

Две аварии зафиксированы из-за короткого замыкания в 1984 г. Первая – 27 января. На Запорожской АЭС произошло возгорание кабелей в реакторном отделении на энергоблоке № 1 ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора. Вторая – 18 декабря на Калининской АЭС возникло замыкание в насосе технической воды на энергоблоке № 1 ВВЭР-1000, что привело к аварийной остановке реактора.

Одна авария была связана с природными условиями (сильным морозом). На Белоярской АЭС 31 декабря 1978 г. из-за сильного перепада температуры обрушились балки крыши на работающую турбину. Последствия случившегося – возгорание маслобака и распространение пламени по кабельным тоннелям.

В СССР было зарегистрировано девять инцидентов на АЭС. Пять из которых произошли по техническим неисправностям. В 1982 г. было зафиксировано два инцидента на Белоярской АЭС. Первый был

связан с течью пара в парогенераторе энергоблока № 5 реактора БН-600, второй – с протечкой первого контура реактора БН-600 на всасывающем патрубке электромагнитного насоса бакового хозяйства. На Ровенской АЭС 8 декабря 1988 г. произошел инцидент на энергоблоке № 2 ВВЭР-440, связанный с самопроизвольным открытием импульсно-предохранительного устройства компенсатора давления. Два инцидента произошли в 1990 г. Первый случился 19 декабря на Балаковской АЭС на блоке № 1 ВВЭР-1000 и был связан с отрывом байпасной линии регулятора слива конденсата. Вторым был 24 декабря на Нововоронежской АЭС. Этот инцидент связан с разрушением шва приварки задвижки на блоке № 5 ВВЭР-1000.

Три инцидента случились по вине персонала. Первый возник 21 января 1987 г. на Белоярской АЭС, где произошло попадание водородосодержащих веществ в активную зону реактора БН-600. Два инцидента зафиксировано в 1990 г. Первый 6 января на Калининской АЭС. Это инцидент был связан с проливом низкоактивной котловой воды в энергоблоке № 1 ВВЭР-1000. Вторым – 26 ноября на Балаковской АЭС – был связан с переключением затвора циркулирующей воды конденсаторов турбопитательного насоса ВВЭР-1000.

Один инцидент произошел из-за сбоя автоматики на Запорожской АЭС 14 ноября 1987 г., он связан с потерей контура и подрывом импульсно-предохранительного устройства компенсатора давления ВВЭР-1000.

В США за данный период было отмечено 27 аварийных случаев: 23 аварии и 4 инцидента. Одиннадцать аварий произошло из-за технических неисправностей. Первая – в штате Мичиган 5 октября 1966 г. на АЭС «Энрико Ферми», где возникло частичное расплавление топлива, которое привело к аварийной остановке реактора «Энрико Ферми – 1». На АЭС «Милстоун» 1 сентября 1972 г. в северо-восточной части США в штате Коннектикут

возникло коррозионное повреждение трубок конденсатора на реакторе ВВЭР, что привело к его аварийной остановке. На АЭС «Ранчо Секо» 20 марта 1978 г. в штате Калифорния произошло захлаживание корпуса реактора PWR. На АЭС «Найн Майл Пойнт» в 1982 г. в штате Нью-Йорк случилось растрескивание трубопровода по всей длине большого диаметра в системе многократной принудительной циркуляции реактора ВВЭР, что привело к аварийной остановке данного реактора. На АЭС «Окони» в 1984 г. в штате Южная Каролина возникла авария с эрозионно-коррозионным разрушением трубопроводов реактора PWR, что привело к аварийной остановке реактора. В 1986 г. было зарегистрировано две аварии. Первая – в январе на АЭС «Кристал Ривер» в штате Флорида, данная авария связана с разрушением главного циркулирующего насоса реактора PWR, что в дальнейшем повлекло аварийную остановку реактора. Вторая – в декабре на АЭС «Сарри» в штате Виргиния, данная авария случилась по причине разрушения трубопровода реактора PWR. На АЭС «Норт Анна» 15 июля 1987 г. в округе Луиза штата Виргиния произошло повреждение трубных поверхностей реактора PWR, что привело к его остановке. В 1989 г. произошло две аварии. Первая – 7 марта на АЭС «Макгуайр» в округе Мекленберг штата Северная Каролина на блоке № 1 случилось повреждение трубных поверхностей реактора PWR, что привело к его аварийной остановке. Вторая – 9 октября на АЭС «Широн Харрис» в округе Уэйк штата Северная Каролина, данная авария связана с повреждением главного трансформатора и оборудования генератора реактора PWR, что привело к пожару и аварийной остановке реактора. На АЭС «Милстоун» 31 декабря 1990 г. на реакторе типа PWR произошла авария, связанная с разрушением трубопровода слива сепарата, что привело к аварийной остановке реактора.

В США девять аварий зафиксировано по вине персонала. Первая крупная

авария произошла 29 ноября 1955 г. в штате Айдахо, она связана с саморазрушением реактора EBR и расплавлением активной зоны, что привело к пожару с последующей аварийной остановкой АЭС. Вторая возникла 3 января 1961 г. в штате Айдахо, данная авария была связана с разрушением активной зоны реактора SL-1, последствия аварии – остановка реактора [13]. На АЭС «Браунз Ферри» 22 марта 1975 г. в штате Алабама произошло повреждение кабелей собственных нужд, что привело к аварийной остановке реакторов BWR и возникновению пожара. На АЭС «Три-Майл-Айленд» 29 марта 1979 г. в штате Пенсильвания случилась авария, которая была связана с плавлением активной зоны, что в дальнейшем привело к аварийной остановке АЭС [14]. В 1982 г. было три аварии. Первая – 25 января на АЭС «Джинна» в округе Уэйн штата Нью-Йорк. Авария была связана с повреждением парогенератора посторонними предметами, что привело к аварийной остановке реактора PWR и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду. Вторая – 30 января на АЭС «Онтарио» в штате Нью-Йорк. Эта авария была связана с системой охлаждения реактора, из-за чего возник выброс радиоактивных веществ в окружающую среду. Третья – на АЭС «Пойнт-Бич» в округе Манитовок штата Висконсин, по причине повреждения парогенератора посторонними предметами. На АЭС «Салем» 22 февраля 1983 г. в штате Нью-Джерси произошел отказ системы аварийной остановки реактора PWR, что привело к его аварийной остановке. На АЭС «Хэтч» 3 декабря 1986 г. в округе Аплинг штата Джорджия случилась утечка отработавшего топлива из бассейна хранения радиоактивной воды.

Две аварии произошли из-за короткого замыкания. Первая – 10 мая 1986 г. на АЭС «Браунз Ферри» в округе Лаймстоун штата Алабама, где возникло сгорание градирни (устройство для охлаждения большого количества воды). Что привело к воз-

никновению пожара и аварийной остановке станции. Вторая – 13 октября 1991 г. на АЭС «Найн Майл Пойнт» в штате Нью-Йорк, случилось замыкание электропроводки, в следствие чего был утерян контроль с пункта управления за реактором BWR, что привело к аварийной остановке реактора и выбросу радиоактивных веществ в окружающую среду.

Одна авария была связана со сбоем автоматики. На АЭС «Троян» 9 марта 1985 г. в округе Коламбия штата Орегон произошла авария, которая была связана с разрушением напорной трубы насоса реактора PWR, что привело к его аварийной остановке.

В США было зарегистрировано четыре инцидента на АЭС. Два инцидента случились по техническим неисправностям. Первый – 26 февраля 1980 г. на АЭС «Кристал Ривер» в округе Ситрэс штата Флорида, по причине захлаживания корпуса реактора PWR. Вторым – 11 марта 1987 г. на АЭС «Теки Пойнт» в округе Майами-Дейд штата Флорида, данный инцидент связан с кристаллизацией борной кислоты в корпусе реактора PWR, что привело к аварийной остановке реактора. Следующие два инцидента произошли по вине персонала. Первый – 9 июня 1985 г. на АЭС «Девис-Бесс» в округе Оттава штата Огайо, где случился отказ системе питательной воды реактора PWR. Вторым – 2 февраля 1988 г. на АЭС «Катоба» в округе Йорк штата Южная Каролина, инцидент связан с повреждением парогенератора посторонними предметами реактора PWR.

В Германии было зарегистрировано пять аварий и один инцидент на АЭС. Три из них случилось по вине персонала. Первая – 7 декабря 1975 г. на АЭС «Грайфсвальд» в результате ошибочных действий персонала и последующего отказа автоматического выключателя в распределительном устройстве возникло короткое замыкание с последующим возникновением пожара и выбросом радиоактивных веществ. Вторая – 4 мая 1986 г. на закрытой АЭС THTR-300, данная авария

была связана с повреждением системы загрузки шаровых ТВЭЛов, вследствие которой произошла незначительная утечка радиоактивного газа и выбросов радиоактивности. Третья – август 1988 г. на АЭС «Изар-1». В результате ошибки оператора из-за низкого уровня давления в первом контуре произошла автоматическая остановка реактора BWR, что привело к его остановке.

Две аварии произошли по техническим неисправностям. Первая – 6 мая 1985 г. на АЭС «Гессен», на которой возник разрыв вала главного циркулирующего насоса реактора PWR, последствия случившегося привели к аварийной остановке реактора. Вторая – 2 декабря 1986 г. на АЭС «Графенрейнфельд». В ходе эксплуатации станции произошел разрыв вала главного циркулирующего насоса реактора PWR. Один инцидент случился по вине персонала 24 ноября 1989 г. на АЭС «Грайфсвальд» и был связан с отказом системы аварийной остановки энергоблока № 5 реактора типа ВВЭР, что привело к его остановке.

В Канаде было зафиксировано четыре аварии на АЭС. Одна произошла по вине персонала на АЭС Чолк-Ривер 12 декабря 1952 г. в штате Онтарио. Из-за ошибок оператора и сбоя в системе аварийной остановки случился перегрев реактора NRX с частичным расплавлением активной зоны, вследствие этого пришлось произвести аварийную остановку АЭС [14]. Три аварии произошли из-за технических неисправностей. Первая – 1 августа 1983 г. на АЭС «Пикеринг», которая была связанная с разрушением технологического канала на реакторе типа Candu, что привело к его аварийной остановке. Вторая – 28 марта 1986 г. на АЭС «Брюс», которая была связана с разрушением технологического канала канальных труб. Третья – 23 января 1990 г. на той же АЭС «Брюс». В ходе эксплуатации произошел сбой в программном обеспечении из-за повреждения технологического канала на блоке № 4 реактора PHWR, в результате случившегося

была произведена аварийная остановка реактора.

Во Франции было зафиксировано две аварии и два инцидента на АЭС. Первая – в 1969 г. на АЭС «Сен-Лоран-дез-О», авария произошла по вине персонала, и связана она с плавлением топлива в реакторе (ggr) Magnox. В результате случившегося была выполнена аварийная остановка реактора [15]. Вторая – в марте 1980 г. на АЭС «Сен-Лоран-дез-О». Вследствие технической неисправности на реакторе типа UNGG произошло плавление его активной зоны с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу. Два инцидента произошло по технической неисправности в 1989 г. Первый – на АЭС «Каттеном», данный инцидент был связан с растрескиванием штуцеров импульсных трубок компенсатора давления на блоке № 1 реактора типа PWR. Второй инцидент был аналогичен первому, и случился он на АЭС «Фламанвиль».

В Великобритании было зарегистрировано две аварии и один инцидент. Первая авария произошла из-за технической неисправности в 1957 г., которая связана с пожаром в активной зоне на реакторе Windscale-1. Вследствие аварии были остановлены два реактора № 1 и № 2 с последующим пожаром и выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду [2, 14, 15]. Вторая – 19 ноября 1978 г. на АЭС «Хинкли Пойнт». В результате ошибочных действий персонала при перегрузке произошло повреждение ТВЭЛов на реакторе AGR. Один инцидент случился 2 октября 1977 г. на АЭС «Хантерстоун». По технической неисправности произошло попадание в корпус высокого давления газоохлаждаемого реактора AGR морской воды, что привело к его остановке.

В Японии зафиксировано три аварии. Две случились по технической неисправности. Первая – 8 марта 1981 г. на АЭС «Цугура». На станции произошла утечка высокорadioактивной воды через трещину в дне помещения для хранения отработавшего ядерного топлива, что повлекло за со-

бой выброс радиоактивных веществ. Вторая – 1 января 1989 г. на АЭС «Фукусима-1», которая связана с разрушением главного циркулирующего насоса на блоке № 3 реактора PWR, в дальнейшем повлекшая аварийную остановку реактора. Одна авария случилась по вине персонала 9 февраля 1991 г. на АЭС «Михама» на блоке № 2. Из-за ошибки оператора произошло повреждение трубных поверхностей реактора PWR. В результате аварии была снижена мощность реактора и произошел выброс радиоактивности в окружающую среду [2].

В Финляндии была зарегистрирована одна авария и один инцидент. Инцидент случился 7 сентября 1989 г. на АЭС «Олкилуото». По техническим неисправностям произошло попаданием металлических частиц в приводы системы управления и защиты реактора BWR, что послужило аварийной остановке реактора. Авария возникла в 1990 г. на АЭС «Ловиса» по техническим неисправностям на блоке № 1 из-за эрозионно-коррозионного износа разрушился основной трубопровод водяного подогревателя реактора PWR [2].

В Швейцарии зафиксировано две аварии. Первая – 21 января 1969 г. на АЭС «Лусенс» произошла по вине персонала. Авария связана с повреждением активной зоны реактора NRX, что повлекло за собой выброс радиоактивных веществ в атмосферу и остановку АЭС. Вторая – 29 июля 1971 г. на АЭС «Мюленберге», из-за тех-

нической неисправности вследствие сильной вибрации маслопровода случился прорыв масляной трубки, выброшенное под давлением масло попало на горячие поверхности турбины, что привело к ее возгоранию [16].

В Словакии в 1976 г. на АЭС «Богунице» произошла одна крупная авария. В результате неисправности систем автоматики случилась утечка теплоносителя и замедлителя в здании реактора PWR, что привело к его аварийной остановке с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу [2].

В Аргентине 2 августа 1988 г. на АЭС «Атуча» из-за технических неисправностей случилась авария с повреждением активной зоны реактора типа PWR, что привело к дальнейшей его остановке [2].

В Испании 19 октября 1989 г. произошла авария на АЭС «Ванделос». В машинном зале электростанции по технической неисправности случилось возгорание на блоке № 1 реактора типа GCR, что привело к крупному пожару и аварийной остановке реактора [2].

В Индии в начале 1990 г. на АЭС «Мадрас» по технической неисправности возникло разрушение раздаточного коллектора реактора типа Candu с дальнейшей его аварийной остановкой [2, 14–16].

За период с 1952 г. по 1991 г. произошло 88 аварийных ситуаций на АЭС из них 70 аварий и 18 инцидентов. Аварийные ситуации произошли в 13 странах (рис. 1).

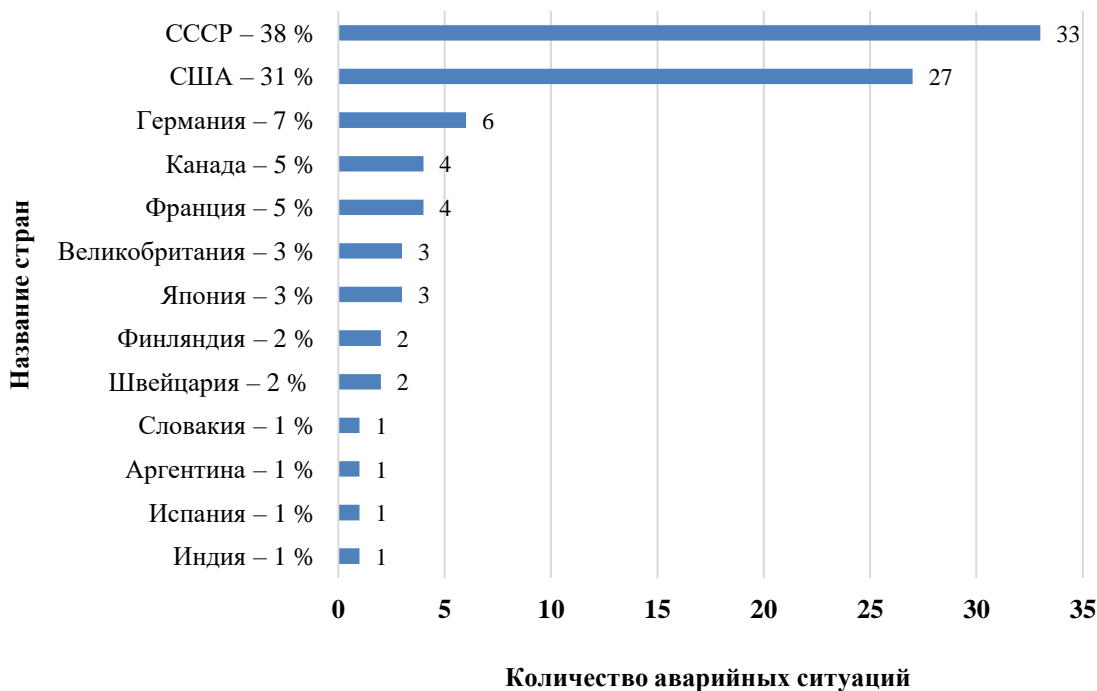


Рисунок 1. Страны, в которых возникали аварийные ситуации на АЭС

За период с 1952–1991 гг. было зафиксировано 70 аварий и 18 инцидентов на АЭС. По одной аварии в 1952, 1955, 1957, 1961, 1966, 1971, 1972, 1974, 1976, 1979, 1980, 1981, 1987 гг.; две аварии зафиксировано в 1969 г., по три аварии в 1975, 1978, 1985, 1991 гг., по пять – в 1984, 1988, 1989 гг., шесть аварий произошло в

1983 г., по семь в 1982 и 1990 гг. И самое большое количество аварий было зарегистрировано в 1986 г. – восемь (рис. 2). По одному инциденту происходило в 1977, 1980, 1985 гг., по два – в 1982, 1988 г., три инцидента было отмечено в 1987 г. и самое большое количество в 1989 и 1990 гг. – по четыре инцидента (рис. 3).

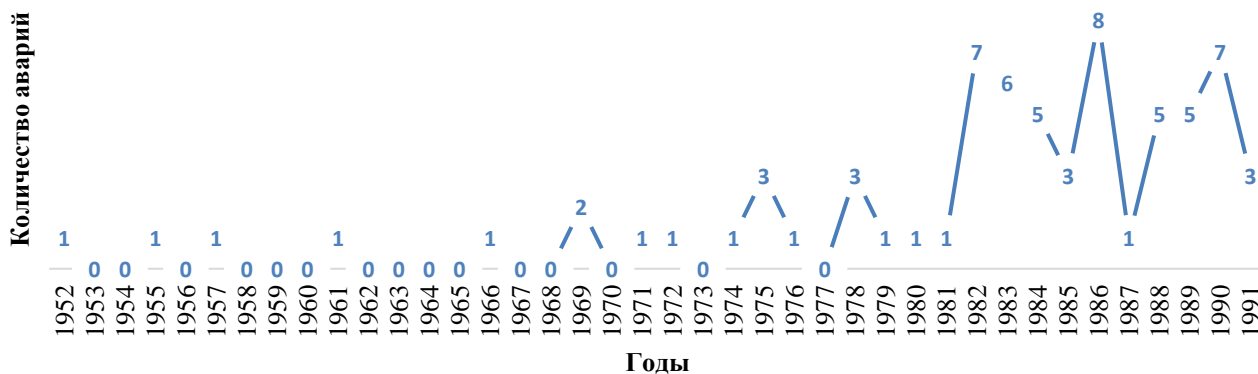


Рисунок 2. Количество аварий на АЭС по годам



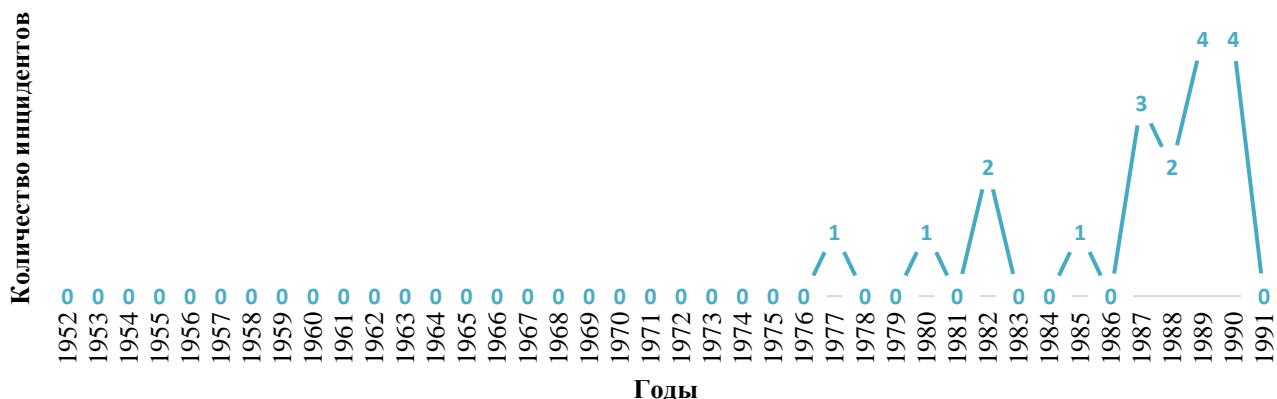
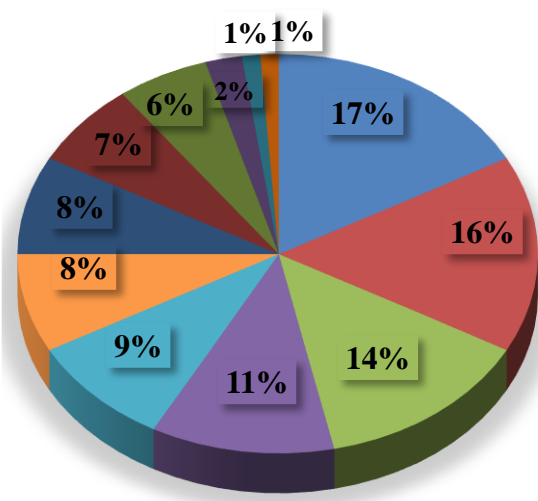


Рисунок 3. Количество инцидентов на АЭС по годам

Чаще всего объектами аварий становилась активная зона реактора – 17 %, трубопроводные системы – 16 %, отказ систем управления и сбоя автоматики – 14 %, парогенераторы и паропроводные системы – 11 %, контур реактора и системы

охлаждения – 9 %, насосы и насосные системы – 8 %, технологический канал – 8 %, трансформаторы и кабельные каналы – 7 %, корпуса реактора – 6 %, механизмы системы давления – 2 %, турбина реактора – 1 %, другие случаи возникновения аварии – 1 % (рис. 4).



- Активная зона реактора – 17 %
- Трубопроводные системы – 16 %
- Отказ систем управления и сбоя автоматики – 14 %
- Парогенераторы и паропроводные системы – 11 %
- Контур реактора и системы охлаждения – 9 %
- Насосы и насосные системы – 8 %
- Технологический канал – 8 %
- Трансформаторы и кабельные каналы – 7 %
- Корпуса реактора – 6 %
- Механизмы системы давления – 2 %
- Турбина реактора – 1 %
- Другие случаи возникновения аварии – 1 %

Рисунок 4. Основные объекты возникновения аварий на АЭС

За период 1952–1991 гг. аварии и инциденты чаще всего происходили по техническим неисправностям. Количество

аварий, произошедших по техническим неисправностям, – 60 %; по вине персонала – 29 %; из-за коротких замыканий – 6 %; из-

за сбой автоматики – 4 %; аварии, связанные с природными условиями (сильным морозом) – 1% (рис. 5). Большинство аварий на АЭС происходило по техническим неисправностям – 42; по вине персонала –

20; из-за короткого замыкания – 4; из-за сбой автоматики – 3 и одна авария была связанная с природными условиями (сильным морозом).

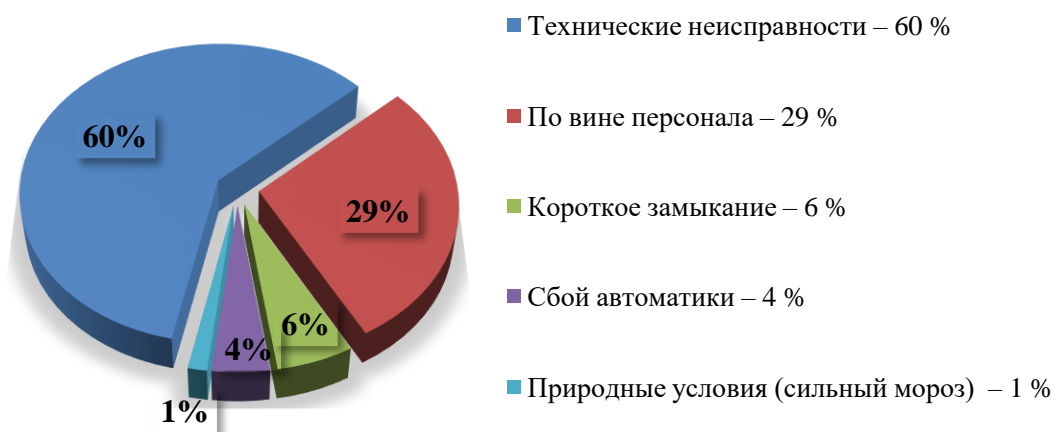


Рисунок 5. Основные причины возникновения аварий на АЭС

Количество инцидентов, произошедших по техническим неисправностям – 61,1 %, по вине персонала – 33,3 % и из-за сбой автоматики – 5,6 % (рис. 6). Большинство инцидентов на АЭС происходило по

техническим неисправностям – 11, по вине персонала – 6, и один инцидент был связан со сбоем автоматики.



Рисунок 6. Основные причины возникновения инцидентов на АЭС

Большее количество аварийных ситуаций было зарегистрировано на реакторах типа PWR – 22, ВВЭР – 16, ВВР – 9, РБМК – 9, БН-600 – 4, NRX – 3, PHWR – 3,

AGR – 2, «Энрико Ферми – 1» – 1, Magnox – 1, Windscale-1 – 1, EBR-1 – 1, GCR – 1, UNGG – 1 (рис. 7).

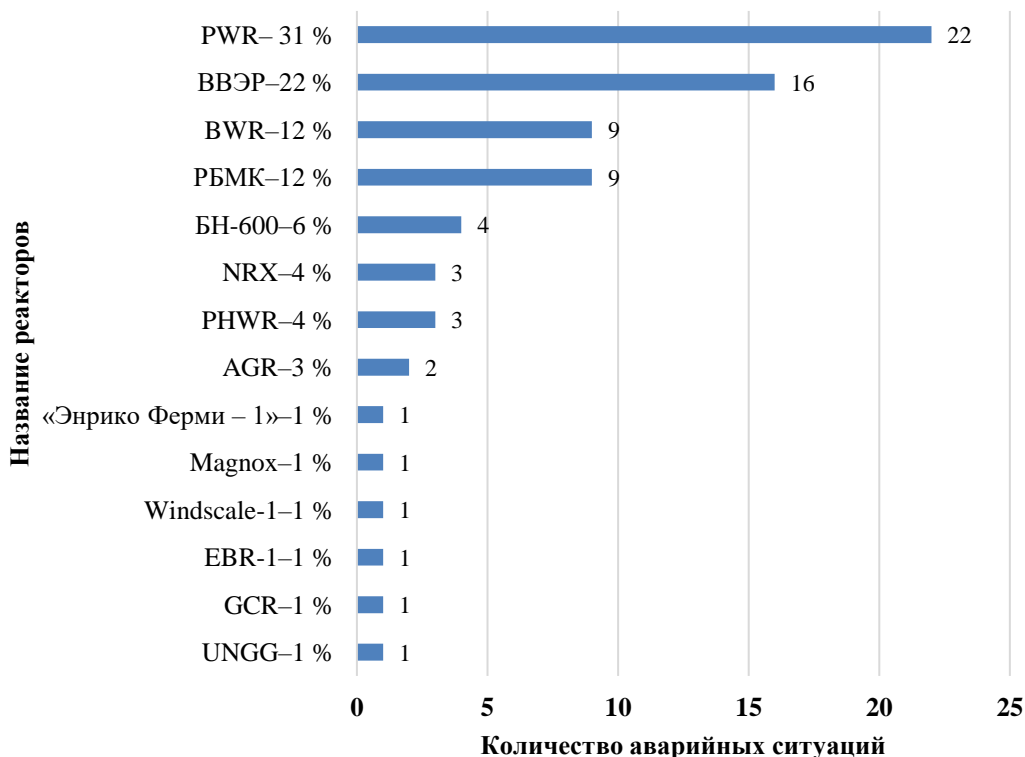


Рисунок 7. Количество аварийных ситуаций на различных реакторах

Были рассмотрены аварийные ситуации, произошедшие на АЭС в разных странах за 1952–1991 гг. Наибольшее количество аварий и инцидентов произошло в таких странах, как СССР и США (69 % всех аварий и инцидентов). Основным объектам возникновения аварийной ситуации становилась: активная зона реактора (17 % всех аварийных ситуаций). Основными причинами возникновения аварий и инцидентов были:

технические неисправности (60 % всех аварий: дефекты корпуса и контура реактора, неисправности активной зоны и системах охлаждения реактора). Наибольшее количество аварийных ситуаций произошло на реакторах «PWR» – 31 %, «ВВЭР» – 22 %, «BWR» – 12 %, «РБМК» – 12 % всех аварий и инцидентов. Проведенный системный и статистический анализ позволил выделить основные показатели возникновения аварийных ситуаций на АЭС [17–20].

#### Литература

1. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС // Энергоатомиздат. М., 1990. 432 с.
2. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»: официальный сайт. URL: <http://www.rosatom.ru/>.
3. Межведомственная информационная система по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий. URL: <http://rb.mchs.gov.ru/folder/8961>.
4. Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. Министерство РФ по атомной энергии. М., 2001. С. 20–28.

5. Титов С. А., Барбин Н. М., Кобелев А. М., Кириллов В. С. Произошедшие аварии на атомных электрических станциях в России с 1992 по 2019 г. // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. мат. Всероссийской научно-практической конференции. Железнодорожск, 2021. С. 232–236.
6. Титов С. А., Барбин Н. М., Зубарев И. А., Кобелев А. М. Аварийные ситуации на АЭС в США, России и в странах западной Европы за период 1972–1982 гг. // Сборник статей по материалам XVI Международная научно-практическая конференция. Воронеж, 2020. С. 256–258.
7. Калинин Б. А., Польский В. И., Якушин В. Л., Чернов И. И. Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики. М., 2010. С. 99–102.
8. Хорзова Л. И. Пожарная безопасность радиационно опасных объектов. Волгоград, 2018. С. 25.
9. Носовский А. В., Васильченко В. Н., Ключников А. А., Пристер Б. С. Безопасность атомных станций. Авария на Чернобыльской АЭС: опыт преодоления // Извлеченные уроки. Киев, 2006. С. 18–36.
10. Пристер Б. С. и др. Проблемы безопасности атомной энергетики. Уроки Чернобыля: монография. Чернобыль, 2016. С. 31.
11. Шойгу С. К. Чернобыль 25 лет спустя. М., 2011. С. 5.
12. Носовский А. В. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на атомных электрических станциях. Славутич, 1998. С. 3–35.
13. Ключников А. А., Пазухин Э. М., Шигера Ю. М., Шигера В. Ю. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. Чернобыль, 2005. С. 50–77.
14. Андрияшин И. А., Чернышев А. К., Юдин Ю. А. Укрощение ядра // Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. Саратов, 2003. С. 354.
15. Барбин Н. М., Титов С. А., Кобелев А. М. Аварии, произошедшие на атомных электростанциях в 1952–1972 гг. ЮР Conf. Серия: Наука о Земле и окружающей среде 666 (2021) 022018 doi:10.1088/1755-1315/666/2/022018.
16. Соловьева С. П. Аварии и инциденты на атомных электростанциях. Обнинск, 1992. С. 35–273.
17. Кобелев А. М. и др. Экологические последствия при возможной запроектной аварии на атомных электростанциях с реакторами типа РБМК-1000 И ЭГП-6 // Сб. ст. по мат. XVI Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2020. С. 391–394.
18. МАГАТЭ Уроки реагирования на радиационные аварийные ситуации (1945–2010 гг.) МАГАТЭ. Вена, 2013. С. 99.
19. МАГАТЭ Безопасность атомных электростанций: проектирование. Серия норм безопасности МАГАТЭ. № SSR-2/1. Вена, 2012. С. 13.
20. Шавалеев М. Р. Уменьшение количеств радиоактивного графита и степени загрязнения окружающей среды // Техносферная безопасность. 2014. № 4 (5) С. 50–52.

#### References

1. Mikeev A. K. Fire protection of nuclear power plants // Energoatomizdat. M., 1990. 432 p.
2. State Atomic Energy Corporation "Rosatom": official website. URL: <http://www.rosatom.ru/>.
3. Interdepartmental information system on issues of ensuring radiation safety of the population and problems of overcoming the consequences of radiation accidents. URL: <http://rb.mchs.gov.ru/folder/8961>.
4. Strategy for the development of nuclear energy in Russia in the first half of the XXI century. Ministry of the Russian Federation for Nuclear Power Engineering, M., 2001. P. 20–28.
5. Titov S. A., Barbin N. M., Kobelev A. M., Kirillov V. S. Accidents at nuclear power plants in Russia from 1992 to 2019 // Actual problems of fire safety and protection from emergencies. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Zheleznogorsk, 2021. P. 232–236.
6. Titov S. A., Barbin N. M., Zubarev I. A., Kobelev A. M. Emergency situations at nuclear power plants in the USA, Russia and in the countries of Western Europe for the period 1972–1982 // Collection of articles based on the materials of the XVI International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2020. P. 256–258.
7. Kalin B. A., Polsky V. I., Yakushin V. L., Chernov I. I. Material Science problems of ecology in the field of nuclear energy // Textbook. M., 2010. P. 99–102.
8. Khorzov L. I., Fire safety of radiation-hazardous objects // Training manual. Volgograd, 2018. 25 p.
9. Nosovsky A. V., Vasilchenko V. N., Klyuchnikov A. A., Prister B. S. Safety of nuclear power plants. The accident at the Chernobyl nuclear power plant: the experience of overcoming // Lessons learned. Kiev, 2006. P. 18–36.
10. Prister B. S. et al. Problems of nuclear energy safety. Lessons of Chernobyl: a monograph. Chernobyl, 2016. P. 31.

11. Shoigu S. K. Chernobyl 25 years later. M., 2011. P. 5.
12. Nosovsky A. V. Questions of dosimetry and radiation safety at nuclear power plants // Textbook Ukratomizdat. Slavutich, 1998. P. 3–35.
13. Klyuchnikov A. A., Pazukhin E. M., Shigera Yu. M., Shigera V. Yu. Radioactive waste of nuclear power plants and methods of handling them. Chernobyl, 2005. P. 50–77.
14. Andryushin I. A., Chernyshev A. K., Yudin Yu. A. Taming the core // Pages of the history of nuclear weapons and nuclear infrastructure of the USSR. Saratov, 2003. 354 p.
15. Barbin N. M., Titov S. A., Kobelev A. M. 2021 Accidents that occurred at nuclear power plants in 1952–1972. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 022018.
16. Solovyova S. P. Accidents and incidents at nuclear power plants. Obninsk, 1992. P. 35–273.
17. Kobelev A. M. et al. Ecological consequences of a possible beyond-design accident at nuclear power plants with RBMK-1000 and EGP-6 type reactors // Collection of articles based on the materials of the XVI International Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2020. P. 391–394.
18. IAEA Lessons in Responding to Radiation Emergencies (1945–2010) IAEA. Vienna, 2013. 99 p.
19. IAEA Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series, No. SSR-2/1. Vienna, 2012. 13 p.
20. Shavaleev M. R. Reducing the amount of radioactive graphite and the degree of environmental pollution. 2014. № 4 (5). P. 50–52.