

**В ЭТОМ НОМЕРЕ:****ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ****ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ  
И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ  
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

*Хафизов И. Ф., Шевченко Д. И., Кудрявцев А. А., Мелюсева И. А.*..... 3

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СВОЙСТВ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
НА МЕСТЕ ПОЖАРА**

*Дементьев Ф. А., Шаратов В. С., Ожегов Э. А., Мухтаров А. А.*..... 16

**ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИПСОВУЮ  
ШПАКЛЁВКУ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГА ПОЖАРА**

*Беззапонная О. В., Инкина П. С., Динисламов М. М.*..... 26

**ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО СПОСОБА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ**

*Фоминых И. М., Пазникова С. Н., Косарева М. А.*..... 33

**ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Головина Е. В., Хабибуллина Н. В., Красильникова М. А., Дан В. П.*..... 40

**ИЗУЧЕНИЕ РИСКОВ ПЕРЕРАСТАНИЯ ПОЖАРОВ В КРУПНЫЕ  
И ОПАСНОСТЕЙ ДЛЯ ЛЮДЕЙ В СТРУКТУРЕ ПРИЧИН  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ**

*Маштаков В. А., Шавырина Т. А., Кондашов А. А.,  
Бобринев Е. В., Удавцова Е. Ю.*..... 46

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ИСПЫТАНИЯХ  
СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

*Сурина Г. П., Порошин А. А., Васильева Л. В., Сурков С. А.*..... 54

**ПРОВЕДЕНИЕ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПРИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ  
РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

*Прытков Л.Н., Терентьев Д.И., Барбин Н.М.*..... 62

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ИМУЩЕСТВЕННОГО  
ПРОТИВОПОЖАРНОГО СТРАХОВАНИЯ КАК МЕТОД  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ**

*Шархун С.В., Горб В.Г., Мокроусова О.А., Пономарев А.В.,  
Смольников М.И., Леменков М.Д.*..... 67

**ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАССТОЯНИЙ ОТ ГОРЯЩЕГО**

**АВТОМОБИЛЯ В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ**

*Хасанов И.Р., Зуев С.А.*..... 76

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ****МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ВАРИАНТА КОМПЛЕКТОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ РЕЗЕРВИСТАМИ**

*Мазаник А.И., Фрайденберг А.Г., Каирбеков К.К.*..... 83

УДК 658.514

89177556981@mail.ru

**ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ  
И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ  
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**FORMALIZING THE PROCEDURES FOR ANALYSIS OF THE HAZARD  
AND PERFORMANCE OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS  
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

*Хафизов И. Ф., доктор технических наук, профессор,  
Шевченко Д. И., доктор технических наук,  
Кудрявцев А. А., кандидат технических наук, доцент,  
Мелюсева И. А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа*

*Hafizov I., Shevchenko D., Kudryavsev A., Melyuseva I.,  
Ufa State Petroleum Technological University  
Department of Industrial and Fire Safety, Ufa*

В статье приводится краткий анализ существующих методов анализа опасностей и работоспособности (АОР), применяемых на опасных производственных объектах (ОПО) нефтегазового комплекса. Решение проблемы предупреждения аварийных ситуаций затрудняется значительными объемами входной диагностической и технологической информации ввиду отсутствия системного подхода к решению многофакторных задач безопасности, отсутствия надлежащих компьютеризированных информационно-управляющих систем мониторинга синергетического риска и соответствующего специального методического и программного обеспечения системы обработки данных, что, естественно, затрудняет принятие оптимальных управляющих решений по своевременному прогнозированию и предотвращению аварийных ситуаций. В статье предложен и описан подход к автоматизированному анализу рисков на ОПО. В процессе проектирования автоматически моделируются все типовые и возможные нештатные режимы, вводятся все возможные отклонения и фиксируется выход ключевых индикаторов риска (КИР) за пределы по каждому параметру каждого элемента. В результате получен подробный план мероприятий по сокращению рисков, рассчитывающийся автоматически.

*Ключевые слова:* анализ опасности и работоспособности, ключевые индикаторы риска, алгоритм оценки рисков, оценка влияния человеческого фактора, потенциальный ущерб.

The article provides a brief analysis of the existing methods of hazard and operability analysis (HAA) used at hazardous production facilities (HPO) of the oil and gas complex. The solution to the problem of preventing emergency situations is hampered by significant amounts of input diagnostic and technological information due to the lack of a systematic approach to solving multifactorial safety problems, the lack of appropriate computerized information and control systems for monitoring synergistic risk and the corresponding special methodological and software data processing system, which naturally makes it difficult to adopt optimal control decisions for timely forecasting and prevention of emergencies. The article proposes and describes an approach to automated risk analysis

at HIFs. During the design process, all typical and possible abnormal modes are automatically simulated, all possible deviations are introduced, and the output of key risk indicators (KRI) beyond the limits for each parameter of each element is recorded. The result is a detailed action plan to reduce risks, calculated automatically.

*Keywords:* hazard and operability analysis, key risk indicators, risk assessment algorithm, human factor impact assessment, potential damage.

Для определения величины риска должны быть идентифицированы опасности, являющиеся причиной риска, а также пути, по которым эти опасности могут реа-

лизываться. Для идентификации опасностей, не учитываемых ранее при проведении анализа, как правило, применяются следующие методы (см. рис. 1).



Рисунок 1. Наиболее популярные методы идентификации опасностей при проведении АОР

1. Исследование опасности и связанных с ней проблем (HAZOP). Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования.

2. Анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ «дерева неисправностей») (FTA).

3. Анализ диаграммы возможных последствий события (анализ «дерева событий») (ETA).

4. Предварительный анализ опасности (РНА).

5. Оценка влияния на надежность человеческого фактора (НРА).

Среди недостатков этих методов, можно выделить следующие:

— в ходе исследований невозможно выявить все имеющиеся отклонения и ошибки, которые могут послужить причиной возникновения аварийной ситуации;

- результат исследований будет зависеть от профессионализма и способности участников совещания представлять потенциальные отклонения;

- метод предпочтителен на стадии завершения разработки проекта, когда проработаны основные конструктивные и технологические решения;

- рассматриваются только те части системы, которые указаны в описании проекта. Действия и операции, которые не указаны в описании проекта, не рассматриваются;

- детальный анализ может быть длительным по времени и поэтому дорогостоящим.

Также одним из недостатков перечисленных методов является отсутствие эффективного планирования ресурсов на саму процедуру их проведения. Например, для установки подготовки нефти, при количестве технологических объектов, скажем 600 шт. (завихжки, насосы и т. д.), рассматривая пять параметров (температура, расход, давление, уровни, электросеть) и выделяя пять минут на каждый объект, суммарно получаем 15 тыс. мин, или 31 день.

Методы анализа опасностей и работоспособности (АОР) подразумевают условное разделение системы на элементы и выявляют риски только в этих элементах. Но в реальных системах связи между элементами, независимо от степени условного разбиения, весьма значимы — это могут быть гидравлические связи через систему трубопроводов, электрические линии, тепловые процессы, перекрестные связи в системах регулирования, пространственная близость разных элементов и разнородных подсистем (например, силовые кабели, линии связи и трубопроводы) и т. д.

С учетом этого анализ причин и последствий, обладающий объективной достоверностью, невозможно провести в полном объеме без привлечения современных вычислительных средств [1]. Но даже при наличии вычислительных мощностей сама

постановка задачи обуславливает значительные методологические сложности.

Почти все объекты нефтегазовой отрасли подразумевают присутствие персонала, управляющего и обслуживающего технику. Поэтому на вероятность реализации риска и величину ущерба существенно влияет человеческий фактор.

Оценку человеческого фактора предлагается проводить на тренажерах, построенных на математических моделях объектов.

Сложность моделируемых объектов, наличие недокументированных свойств, неизвестных параметров и контрольных значений требуют использования при моделировании реальных архивных данных. Следовательно, возникает необходимость решения так называемых «обратных задач», когда неизвестные параметры определяются по характеристикам. Сами по себе эти сложные задачи в случае тренажеров становятся практически нерешаемыми ввиду многочисленных ограничений из-за полностью детерминированной, известной структуры и большого количества известных параметров. Предложены адаптированные к задачам построения тренажеров методы, которые можно охарактеризовать как новое использование известных методов. В предложенных методах решение некоторых обратных задач с ограничениями сводится к линейной задаче метода наименьших квадратов с ограничениями-равенствами и непосредственной проверкой точности в пределах заданного множества тренингов. Среди задач, решенных с помощью предлагаемого подхода, можно выделить:

- уточнение параметров разветвленной трубопроводной системы по данным переходных процессов с учетом ограничений на иерархию контуров и подсистем путем фиксации ряда моделируемых параметров;

- идентификация матричных передаточных функций (ПФ) с учетом возможных структурных ограничений в моделируемых системах;

– аппроксимация сложных передаточных функций (ПФ) (результаты идентификации, синтеза методом пространства состояний и т. д.) упрощенными;

– определение неизвестной структуры и параметров регуляторов многомерных систем с запаздыванием и другими особенностями с учетом возможных структурных ограничений моделируемой системы;

– определение материальных потоков нефти и газа, газовый фактор, физико-химических параметров потоков, давление насыщенных паров, составы газовой и жидкой фаз и учет влияния основных технологических параметров: температуры, давления, состава эмульсии;

– снижение количества итераций при расчете массообменных колонн, приводя моделирование к реальному времени. Моделирование режимов заполнения и продувки колонны.

Использование известных подходов, признанных в большинстве случаев неэффективными из-за вычислительных трудностей, в совокупности с известными современными вычислительными методиками может классифицироваться как новое применение известного решения или метода. Теоретическая значимость результатов заключается в принципиальной возможности решения важных для повышения адекватности тренажеров задач. Практическая значимость заключается в возможности ускорить процесс проектирования тренажеров.

Все объекты нефтегазовой отрасли и энергетики имеют особенности: элементы обычно типовые, стандартные. Поэтому разделение системы на элементы логично формализовать, при этом можно сразу определить основные опасности и риски, что часто регламентируется, выделить ключевые индикаторы риска (КИР) и задать численные границы их нормального и аномального функционирования для достаточно обширного перечня оборудования и элементов [2].

Разработана и представлена классификация ключевых индикаторов риска для основных технологических узлов оборудования, применяемого на установках подготовки нефти.

Все рассматриваемые риски можно разделить на четыре основные группы.

**Механические** – в данную группу входят все возможные воздействия и явления механического характера, такие как износ деталей оборудования, механические поломки оборудования, поломки крепежей и фундаментов оборудования, коррозия и т. д.

**Технологические** – в данную группу входят все неисправности, связанные с нарушением технологии эксплуатации оборудования, такие как нарушения режимов работы оборудования, неправильная коммутация оборудования, нарушения последовательности включения (запуска, коммутации) оборудования и т. д.

**Сырьевые** – в данную группу можно отнести все неисправности, связанные с сырьевым потоком в технологической установке, такие как изменение транспортируемой среды, химического состава среды, электрические помехи и т. д.

**Человек** – в данную группу входят все неисправности, связанные с человеком и его воздействием, такие как негативные воздействия третьих лиц, ошибки обслуживающего персонала, нарушение правил эксплуатации оборудования и т. д.

Теперь для использования всей мощности современных вычислительных средств в целях минимизации рутинных процессов в АОР будем подразумевать наличие интегрированной модели процессов. Такая модель должна включать максимально адекватную имитацию технологических процессов, защитных систем и АСУТП, включая пульта операторов и оцифрованные модели поведения персонала, управляющего системой и обслуживающего ее.

Нами был разработан программный продукт DMPipe (см. рис. 2), в который



входит модуль конструктора моделей, позволяющий производить настройку математической модели технологического процесса. Таким образом, можно настраивать

различные параметры модели, изменять технологическую схему, параметры моделирования, характеристики оборудования и т. д.

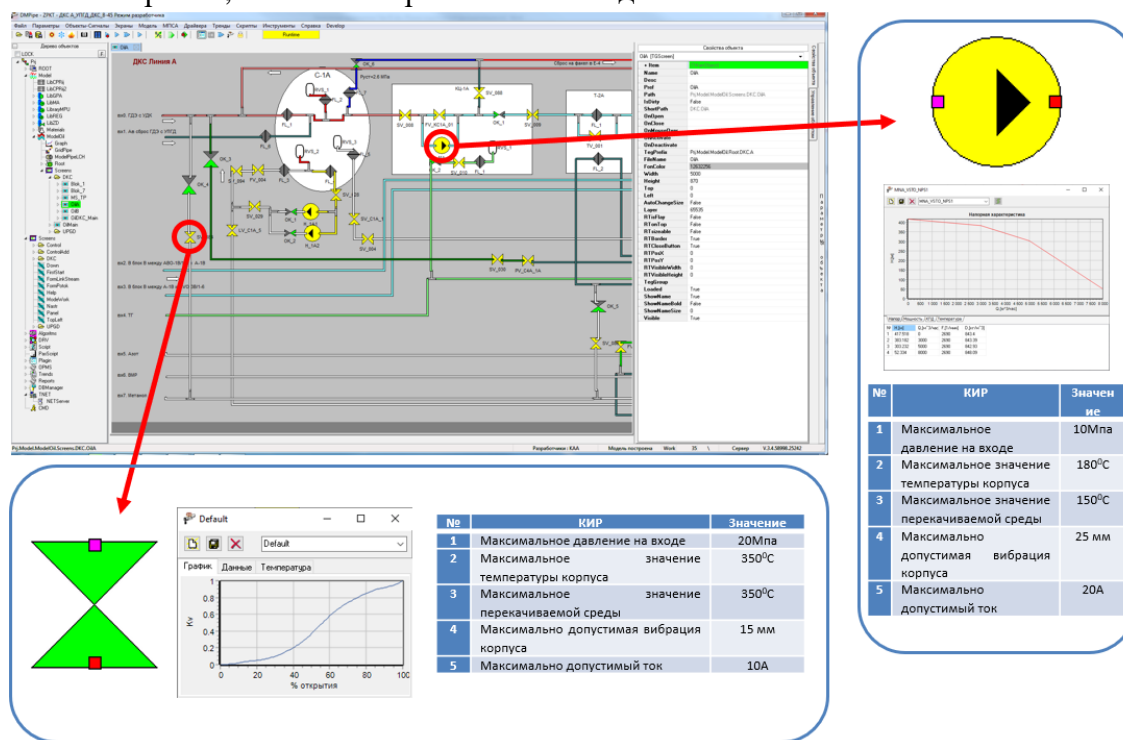


Рисунок 2. Динамическое моделирование для оценки человеческого фактора в человеко-машинных системах

Не менее важно использовать подобную модель в тренажере, оптимизируя систему тренингов и вычисляя объективные рейтинги готовности специалистов, так как строить цифровые двойники человеко-машинных систем без учета человеческого фактора малоэффективно [3].

Целесообразно выделить этап АОР для типового элемента, составить общее формализованное описание типового элемента, его модель, перечень рисков и опасностей и список возможных мероприятий для их предотвращения и уменьшения ущерба при реализации этих рисков. Одной из важнейших характеристик в данном случае является экономическая – сколько стоит то или иное мероприятие и какой ущерб оно потенциально предотвращает или уменьшает.

В инженерных АОР используется понятие ключевых слов (ДА, НЕТ, БОЛЬШЕ...). Для сопоставления их с количественными методами рационально использовать их замену на параметры КИР и их предельные величины (–min, 0, +max).

В процессе проектирования автоматически моделируются все типовые и возможные нештатные режимы, вводятся все возможные отклонения и фиксируется выход КИР за пределы по каждому параметру каждого элемента. Объем такого моделирования может быть весьма велик, но вполне по силам современной вычислительной технике.

Предлагается следующий алгоритм формализации процедуры предварительной оценки рисков (см. рис. 3).

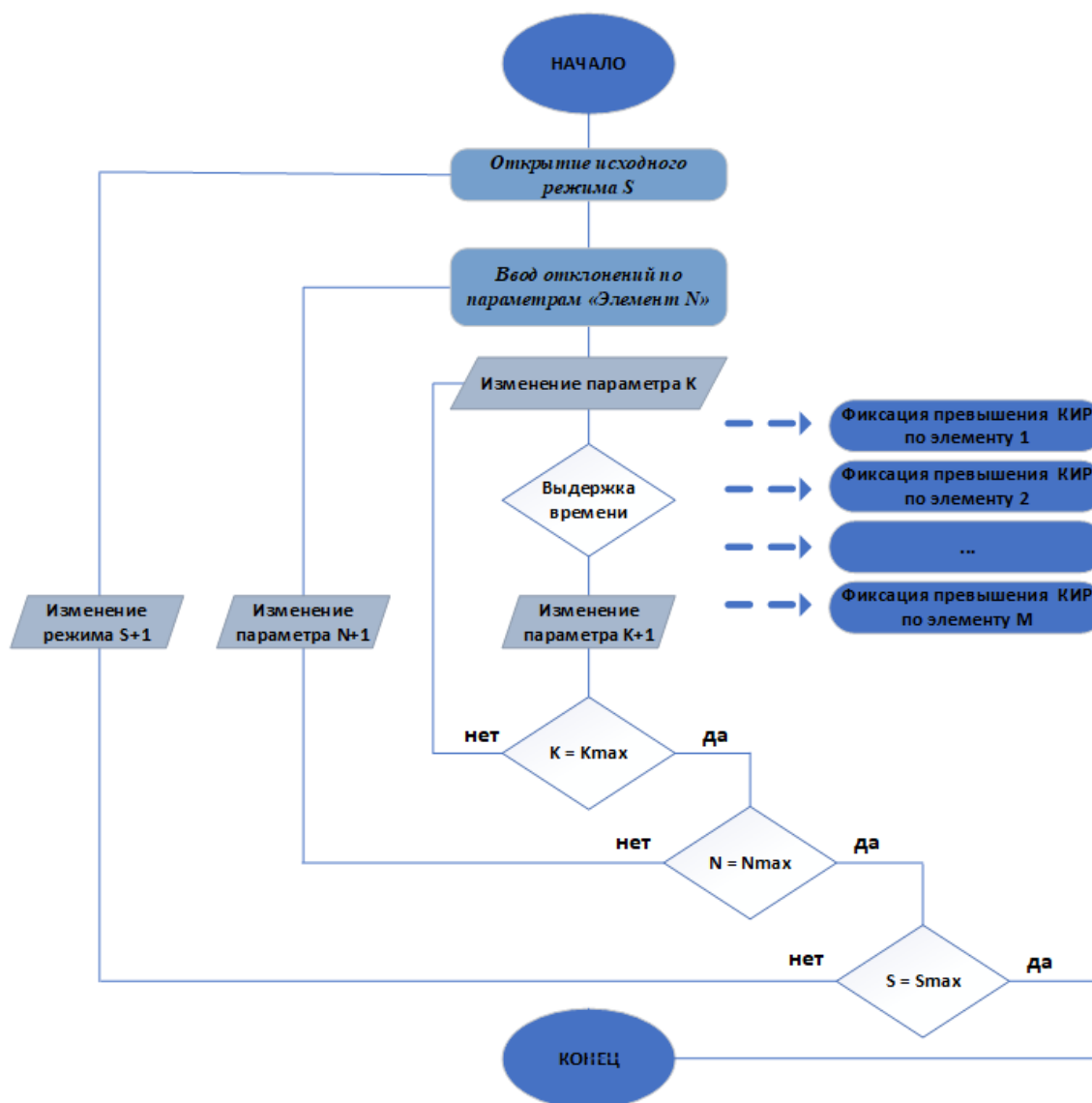


Рисунок 3. Алгоритм формализации процедуры предварительной оценки рисков

Начинаем с открытия исходного состояния моделируемой системы. Далее вводим отклонение по параметрам элемента, изменяем его, ожидаем выдержку времени. Если во время выдержки времени происходит превышение значения КИР, то выделяем его. По истечении выдержки времени переходим к следующему элементу и вводим отклонение. После чего опять ждем выдержку времени и т. д. Когда перебрали

все элементы, то открываем другое исходное состояние и все начинаем по кругу.

Любой элемент может быть источником (донором) превышения КИР (например, выход параметра за пределы) в самом себе, так и во всех других элементах. Мероприятия по парированию этого превышения относятся к элементу, в котором произошло превышение.

В итоге мы получаем набор превышений (отклонений) КИР (см. рис. 4).



**Анализ превышений ключевых индикаторов риска**

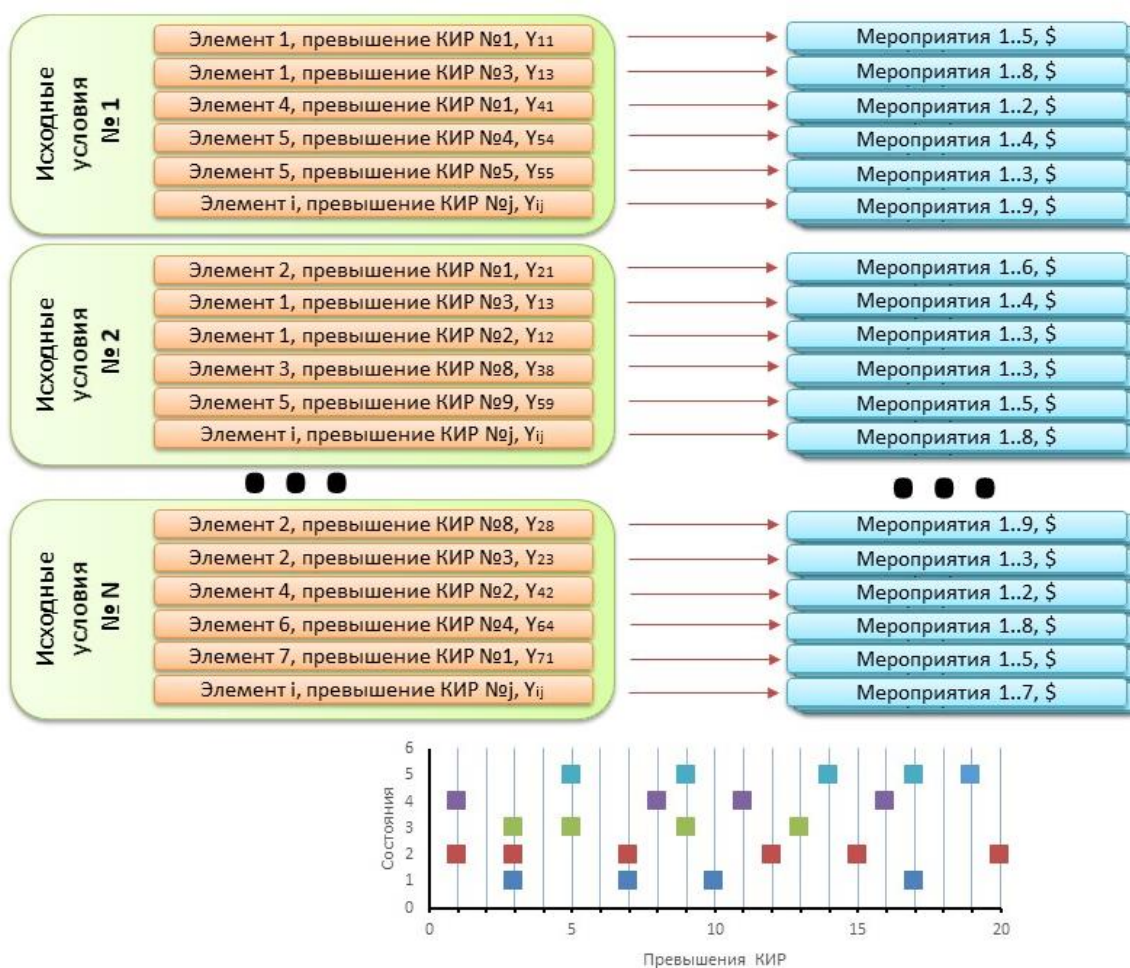


Рисунок 4. Анализ превышений ключевых индикаторов риска

Каждому превышению КИР соответствует, с одной стороны, потенциальный ущерб (например, стоимость ремонта или замены), с другой стороны, набор вариантов мероприятий по сокращению этого ущерба, которые могут быть уже реализованными, могут дополнять друг друга, дублировать либо противоречить друг другу.

Один и тот же КИР на одном и том же элементе может срабатывать (превышаться) при проигрывании разных исходных условий (состояний).

Величины ущерба на момент реализации мероприятий определяются по сметам, декларациям ПБ, паспортам безопасности, специализированным методикам, составленным на основе стандартов и регламентов.

Типы мероприятий также регламентированы в системе ППР, ТО и обучения. Соответственно, можно определить разные уровни по стоимости этих мероприятий.

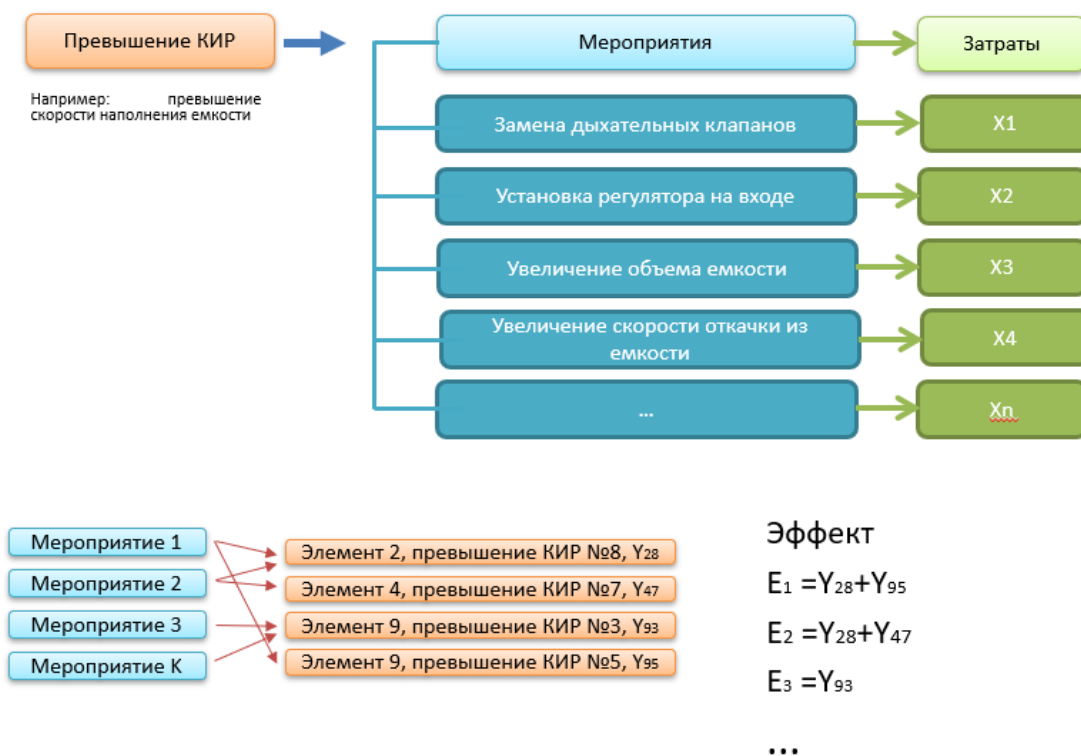


Рисунок 5. Анализ мероприятий по сокращению ущерба и определение эффекта от них

Мероприятия могут дублировать друг друга, например, превышение давления на участке трубопровода может быть вызвано процессами в разных элементах, но защитный клапан может парировать все эти опасности сразу (см. рис. 5). Тогда присваиваемый эффект, например, предотвращенный ущерб, суммируется при сохранении затрат на это мероприятие, тем самым

резко повышая «рентабельность» этого мероприятия.

Перебираем варианты, снижающие ущерб (вероятность и последствия) от реализации события (см. рис. 6). Базовый и первый вариант – минимальные затраты на предотвращение ущерба только в месте возникновения (это крайняя левая точка на графике, рис. 6).

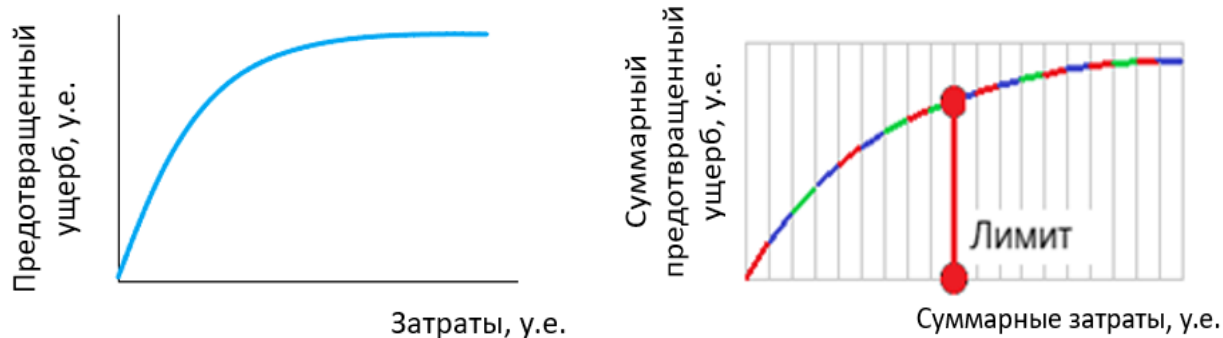


Рисунок 6. Ранжирование мероприятий

Далее рассматриваются более дорогие, но и более эффективные (снижение вероятности, снижение ущерба) типовые мероприятия сначала в самом элементе – причине риска [4] (см. табл. 1). Это могут быть

другие материалы или более дорогое оборудование, элементы дублирования, защит и автоматики. Затем рассматриваются методы снижения суммарного риска для других элементов – материалы, оборудование,

защиты и автоматика существенно повышают стоимость мероприятий, но защищают другие элементы в случае реализации конкретного риска.

Таблица 1  
Пример расчетного множества для анализа

№ прев. КИР	№ мероприятий	Затраты	Эффект
1	1	0	0
1	2	10	100
1	3	20	200
1	4	30	150
1	5	50	250
1	6	80	380
2	1	0	0
2	2	11	100
2	3	21	200
2	4	31	150
2	5	51	250
3	1	0	0
3	2	12	100
3	3	22	200
3	4	32	150
3	5	52	250

Далее проводим поэлементную сортировку мероприятий по соотношению *Эффект/Затраты*, а затем рассматриваем множество всех мероприятий как систему, в которой каждый шаг по затратам приводит к росту эффекта. Так как эти пара-

метры отсортированы, мы можем варьировать общий план мероприятий, сопоставляя его с теми или иными лимитами по общим затратам (см. табл. 2).

При таком подходе можно посчитать рентабельность мероприятия для каждого элемента по формуле:

$$R = \frac{D - S}{S},$$

где,  $D$  – эффект от мероприятия,  $S$  – стоимость.

Таблица 2

Пример сводной таблицы с лимитированными планами

Рент.	Элемент	Меропр.	Затраты	Общ. затр.	Эффект	Общ. эффект	Меропр.	План
9.00	1	3	20	20	200	200	(1,3)	(1,3)
9.00	1	2	10	30	100	300	(1,2)	(1,3) (1,2)
8.52	2	3	21	51	200	500	(2,3)	(1,3) (1,2) (2,3)
8.09	3	3	22	73	200	700	(3,3)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3)
8.09	2	2	11	84	100	800	(2,2)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2)
7.33	3	2	12	96	100	900	(3,2)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2)
4.00	1	5	50	146	250	1150	(1,5)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5)
4.00	1	4	30	176	150	1300	(1,4)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4)
3.90	2	5	51	227	250	1550	(2,5)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4) (2,5)
3.84	2	4	31	258	150	1700	(2,4)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4) (2,5) (2,4)
3.81	3	5	52	310	250	1950	(3,5)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4) (2,5) (2,4) (3,5)
3.75	1	6	80	390	380	2330	(1,6)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4) (2,5) (2,4) (3,5) (1,6)
3.69	3	4	32	422	150	2480	(3,4)	(1,3) (1,2) (2,3) (3,3) (2,2) (3,2) (1,5) (1,4) (2,5) (2,4) Φ (3,5) (1,6) (3,4)

В результате мы получаем достаточно подробный план мероприятий по сокращению рисков, включающий мероприятия по модификации оборудования, систем связи, коммуникаций, электрооборудования, РЗА, АСУТП, системы тренингов, причем он рассчитывается автоматически и может быть хорошим подспорьем при проведении процедуры HAZOP, чтобы специалисты фокусировались на реальных проблемах, а не перебирали случайные варианты.

Функционирование реальных человеко-машинных систем нефтегазовых объ-

ектов приводит в конечном счете к реальной статистике аварийности, по факту недостаточной для научных прогнозов. Решать поставленную задачу предлагается на основе функционирования человеко-машинной системы вида «Объект – Специалист», где в качестве объекта выступает тренажер, а в качестве специалиста выступает информационная модель готовности [5] (см. рис. 7). Таким образом, можно замещать отсутствующие по объективным причинам данные о реальной готовности персонала моделью этих данных, полученных в результате работы специалистов на тренажере.

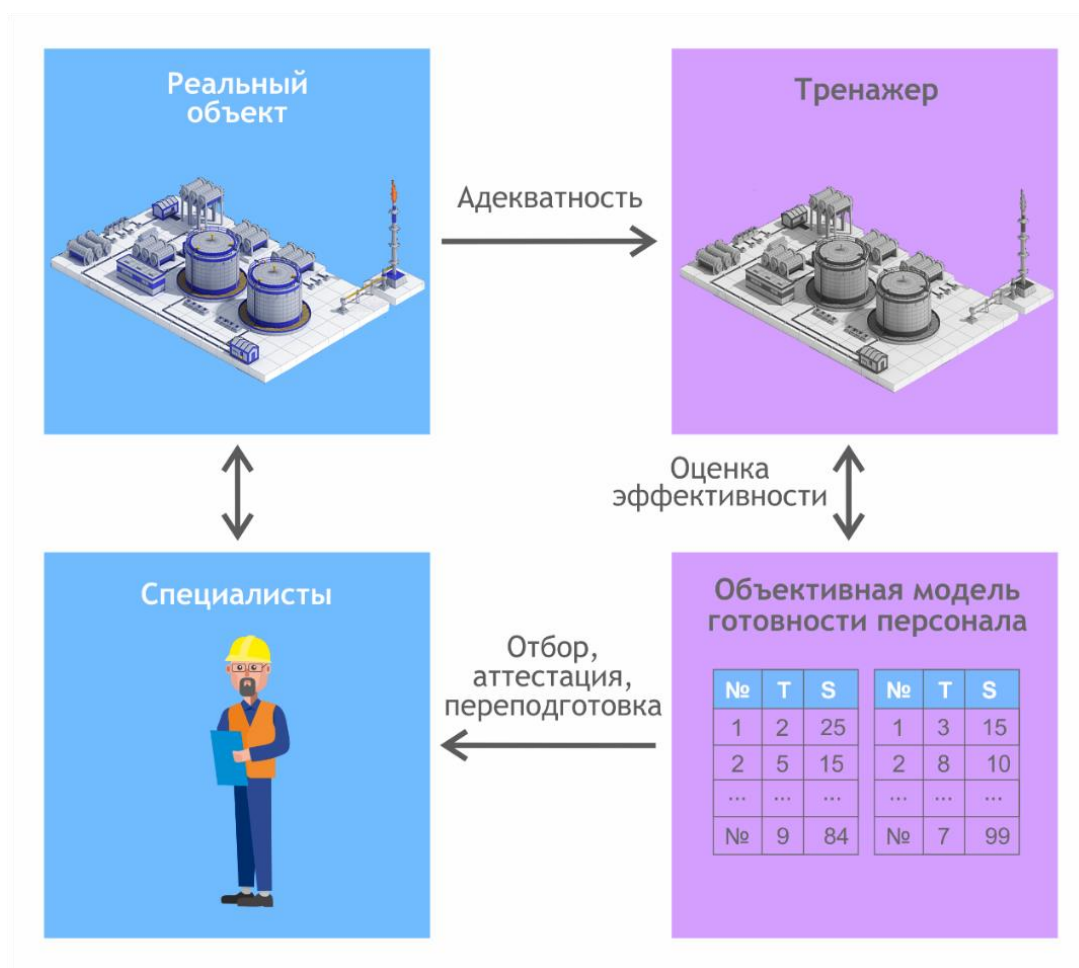


Рисунок 7. Формализация мероприятий, связанных с человеческим фактором, на основе функционирования человеко-машинной системы вида «Объект – Специалист»

Если специалист совершает ошибки на тренажере, то в реальности именно он будет «слабым звеном», поэтому задачей тренажерной подготовки в рамках предлагаемой методологии является построение объективной модели надежности (готовности) специалиста. Один из важнейших результатов предлагаемого подхода – прогнозирование времени, требуемого для исключения ошибок по всем видам заданий как минимум в условиях тренажера индивидуально для каждого специалиста.

Основой такой методологии является проектирование тренингов, отбор наиболее эффективных по выбранному критерию с учетом ограниченности времени обучения, повторение тренингов с возможностью последующего анализа пра-

вильных и неправильных действий с одновременной фиксацией результатов и динамики их улучшения.

В задачах построения тренажеров управление процессом тренировки предложено осуществлять с использованием эталонных алгоритмов деятельности операторов при ведении нормальных и аварийных режимов. Эталонные алгоритмы деятельности формируются на базе описания оперативной деятельности операторов путем достаточно глубокого и всестороннего анализа различных ветвей так называемого графа деятельности.

Для задач проектирования тренажера такая тема, или «эталонный алгоритм», может быть описана с использованием «дерева событий», каждая «ветка»



которого может зависеть от поведения обучаемого и подчиняться правилам развития так называемого «сценария» (см. рис. 8). В

терминах проектирования тренажера такой отдельный эпизод имеет отображение в виде единичного тренинга.

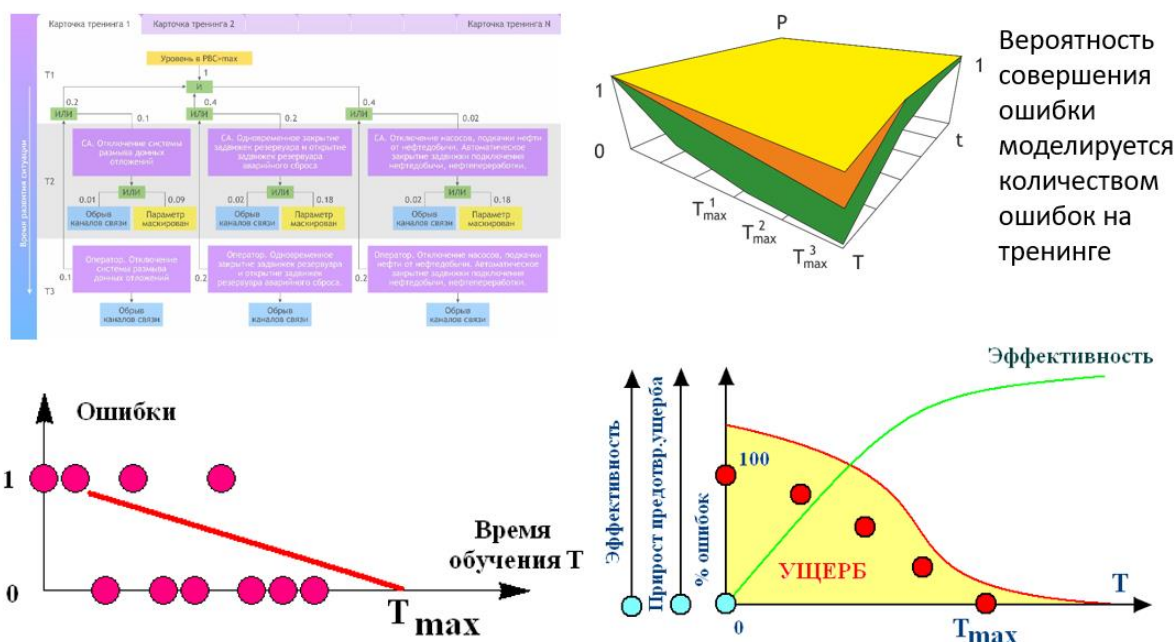


Рисунок 8. Оценка эффективности тренажерной подготовки на основе эталонных алгоритмов, описанных с использованием дерева событий

Задача тренинга – правильно диагностировать ситуацию и совершить ряд правильных действий. Тренинги повторяются сериями и фиксируется важный показатель – динамика снижения ошибок и прогноз времени прекращения ошибок  $T_{max}$  по каждому виду тренинга.

Для количественной оценки надежности персонала и риска возникновения аварийной ситуации вводится понятие вероятности совершения ошибки специалистом. Назначение тренажера при таком подходе – максимально снизить вероятность совершения обучаемым специалистом ошибки по каждому эпизоду или теме из всего множества действий в поле профессиональной деятельности. Соответственно, задачей системы тренингов является проведение единичных тренингов по каждой теме из полного списка до полного исключения ошибок.

Впервые дано определение эффективности тренинга как интеграла от удельной величины вероятного ущерба. Эта

удельная величина, в свою очередь, зависит от времени обучения и экспертной оценки значимости темы для промышленной безопасности. Данная величина может быть определена экспериментально и поддается статистической оценке.

Она может служить основой алгоритмов для научно обоснованного проектирования системы повторяющихся тренингов разного типа. Так могут быть построены индивидуальные планы обучения и групповые курсы в учебных центрах.

Каждому виду тренинга присваивается вес по методу экспертных оценок (ошибка, приводящая к взрыву резервуара, весит больше, чем ошибка, приводящая к поломке клапана). К концу обучения  $T_{max}$  по отдельному виду тренинга этот вес переходит в разряд «предотвращенного ущерба». По всем видам тренингов такой предотвращенный ущерб является мерой эффективности тренажерной подготовки. Имея такие данные, можно анализировать



индивидуальные данные и определять уровень готовности специалиста, по групповым данным строить наиболее эффективные курсы в пределах ограниченного времени (оптимальное множество тренингов), проводить функционально-стоимостный анализ технических средств тренажеров и давать научно обоснованные рекомендации по их оптимальному составу.

Разработанные методики и алгоритмы применялись при проектировании установок ДКС и УПГД ООО «Крус-Запад» при разработке проектной документации. Что позволило проанализировать конструктивные особенности и выработать подход к функциям системы противоаварийных защит.

Методология количественной оценки готовности и эффективности персонала на основе тренажерной подготовки применяется в разработках компьютерных тренажерных комплексах ряда компаний и внедрена в различные нефтегазовые вузы России.

Было разработано программное обеспечение DMPipe, включающее в себя конструктор математической модели, с технологическими элементами, применяемыми в УПН, для которых были определены КИР и мероприятия по предотвращению ущерба.

#### Литература

1. Озден И. В. и др. Совершенствование условий безопасности и охраны труда на производственных объектах // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). С. 158–164.
2. Дьяков А. Ф. и др. Оценка противоаварийных тренировок оперативно-диспетчерского персонала энергосистем // Электрические станции. 1997. № 2. С. 2–7.
3. Мугаллимов Ф. М., Кудрявцев А. А. Инновационные разработки в области технических средств обучения специалистов трубопроводного транспорта // Нефтегазовое дело. 2013. № 4. С. 475–487.
4. Кудрявцев А. А. и др. Оптимизация системы тренингов операторов нефтеперерабатывающих установок с использованием тренажера «ЭЛОУ-АВТ» // Мат. III Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2020.
5. Хафизов И. Ф. и др. Модель обучаемого в имитационных тренажерных комплексах для обучения оперативного персонала объектов нефтегазового сектора // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию филиала. Уфа, 2016. С. 369–374.

#### References

1. Ozden I. V. i dr. Sovershenstvovanie uslovij bezopasnosti i ohrany truda na proizvodstvennyh objektah // Tehnosfernaya bezopasnost. 2018. № 4 (21). S. 158–164.
2. Dyakov A. F. i dr. Ocenka protivooavarijnyh trenirovok operativno-dispatcherskogo personala energosistem // Elektricheskie stancii. 1997. № 2. S. 2–7.
3. Mugallimov F. M., Kudryavcev A. A. Innovacionnye razrabotki v oblasti tehniceskikh sredstv obucheniya specialistov truboprovodnogo transporta // Neftegazovoe delo. 2013. № 4. S. 475–487.
4. Kudryavcev A. A. i dr. Optimizaciya sistemy treningov operatorov neftepererabatyvayushih ustanovok s ispolzovaniem trenazhera «ELOU-AVT» // Mat. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ufa, 2020.
5. Hafizov I. F. i dr. Model obuchaemogo v imitacionnyh trenazhernyh kompleksah dlya obucheniya operativnogo personala objektov neftegazovogo sektora // Sovremennye tehnologii v neftegazovom dele – 2016. Ufa, 2016. S. 369–374.

УДК 614.841

urpc.urigps@bk.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СВОЙСТВ  
БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА МЕСТЕ ПОЖАРА**

**APPLICATION OF STATISTICAL CRITERIA TO EVALUATE  
THE RESULTS OF MEASURING THE PROPERTIES  
OF CONCRETE STRUCTURES AT THE FIRE SITE**

*Дементьев Ф. А., кандидат технических наук, доцент,  
Шарапов В. С.,  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской  
Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, Санкт-Петербург  
Ожегов Э. А., кандидат технических наук, доцент,  
Мухтаров А. А., Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Dementiev F., Sharapov V.,  
Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia named after the  
Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinichev, Saint Petersburg  
Ozhegov E., Mukhtarov A.,  
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

В статье предлагается проводить оценку результатов, получаемых с помощью методик пожарно-технической экспертизы, с помощью статистических критериев. Такой подход позволяет подтвердить достоверность получаемой информации и возможность применения различных методов для выявления на пожаре зон разного термического воздействия. При проведении измерений скорости прохождения ультразвуковой волны с помощью тестера для контроля бетона, а также измерений твердости бетонных блоков с помощью портативного твердомера выявлено, что разрушение материала не позволяет проводить исследование акустическим методом при высоких температурах, но именно в этой области результаты исследования твердости могут быть использованы для дальнейшего исследования образцов. Оценка качества результатов измерений проводилась по данным, полученным в ходе исследования выбранных блоков, подвергнутых воздействию высоких температур в лабораторных условиях. На примере расчета критериев Кохрена и Стьюдента по результатам исследования бетонных блоков методом ультразвукового анализа и измерения твердости доказана эффективность данного подхода. Результаты позволяют рекомендовать последовательное использование данных методов для расширения температурного диапазона информативности изучения бетонных блоков для точных заключений пожарно-технических экспертов и специалистов.

*Ключевые слова:* оценка качества результатов исследования, пожарно-техническая экспертиза, статистические критерии, полевые и лабораторные методы, скорости прохождения ультразвуковой волны.

The article proposes to evaluate the results obtained using fire-technical expertise techniques using statistical criteria. This approach allows us to confirm the reliability of the information received and the possibility of using various methods to identify areas of different thermal effects in a fire. When measuring the speed of passage of an ultrasonic

wave using a tester for concrete control, as well as measurements of the hardness of concrete blocks using a portable hardness tester, it was revealed that the destruction of the material does not allow the study to be carried out by acoustic method at high temperatures, but it is in this area that the results of the hardness study can be used for further study of samples. The quality of the measurement results was assessed based on the data obtained during the study of selected blocks exposed to high temperatures in the laboratory. The effectiveness of this approach is proved by the example of the calculation of the Kohren and Student criteria based on the results of the study of concrete blocks by ultrasound analysis and hardness measurement. The results allow us to recommend the consistent use of these methods to expand the temperature range of the informative study of concrete blocks for accurate conclusions of fire-technical experts and specialists.

*Keywords:* assessment of the quality of research results, fire-technical expertise, statistical criteria field and laboratory methods, ultrasonic wave measurement speed.

Установление очага пожаров базируется на двух основных блоках информации. В первую очередь рассматривается субъективная информация, которая содержится в описательной части протокола осмотра места пожара и объяснений, получаемых дознавателями в рамках предварительной проверки по факту пожара. Данная информация не может считаться объективной, так как основана на суждениях субъектов, оценивающих информацию о возникновении и развитии пожара, а также картину, формируемую на месте пожара после его ликвидации. Принимая во внимание то, что закон Российской Федерации «О государственной судебно-экспертной деятельности» требует формирования экспертных выводов на принципах объективности и строгой научности, заключение эксперта должно давать возможность проверить обоснованность и достоверность сделанных выводов на базе общепринятых научных и практических данных, можно сказать, что выводы об очаге пожара часто не соответствуют данным требованиям. Основная причина этого состоит в сложности оценки достоверности используемых экспертами методик.

Второй блок информации, рассматриваемый пожарно-техническим экспертом или специалистом, – это результаты исследования материальных объектов, в том числе данные инструментального исследования материалов и конструкций непосредственно на месте пожара [1–5].

В криминалистической методике экспертные исследования предполагают проведение предварительного исследования и последующего детального лабораторного анализа образцов с помощью методов криминалистической техники. В пожарно-технической экспертизе принято разделять используемые методы на полевые и лабораторные [1]. К первой группе относятся методы, позволяющие с помощью портативного оборудования оценивать свойства материалов и конструкций, поврежденных пожаром, непосредственно на месте. Если в криминалистике предварительное исследование регламентирует применение неразрушающих методов, не требующих пробоотбора и повреждения исходного образца, то полевые методы, применяемые в пожарно-технической экспертизе, часто требуют предварительной зачистки поверхностного слоя или отбора проб. Например, использование при исследовании металлических изделий и конструкций коэрцитиметра поверхность исследуемого объекта предварительно зачищается [2], а при исследовании электросопротивления угля метод предусматривает отбор пробы для использования портативного прибора [3].

Также необходимо отметить, что современные методики пожарно-технической экспертизы базируются на сравнительном анализе, не требующем количественного определения конкретных

свойств материалов, что говорит об отсутствии необходимости оценки результатов измерения и характеристики реализуемых методик с точки зрения правильности, точности и прецизионности, что обязательно предусмотрено для методик количественного определения свойств различных объектов, применяемых в экспертных исследованиях в других областях. Для подтверждения достоверности результатов, получаемых при исследовании материальных объектов на месте пожара, необходимо проведение большого количества измерений для возможности оценки получаемой информации с помощью статистических критериев.

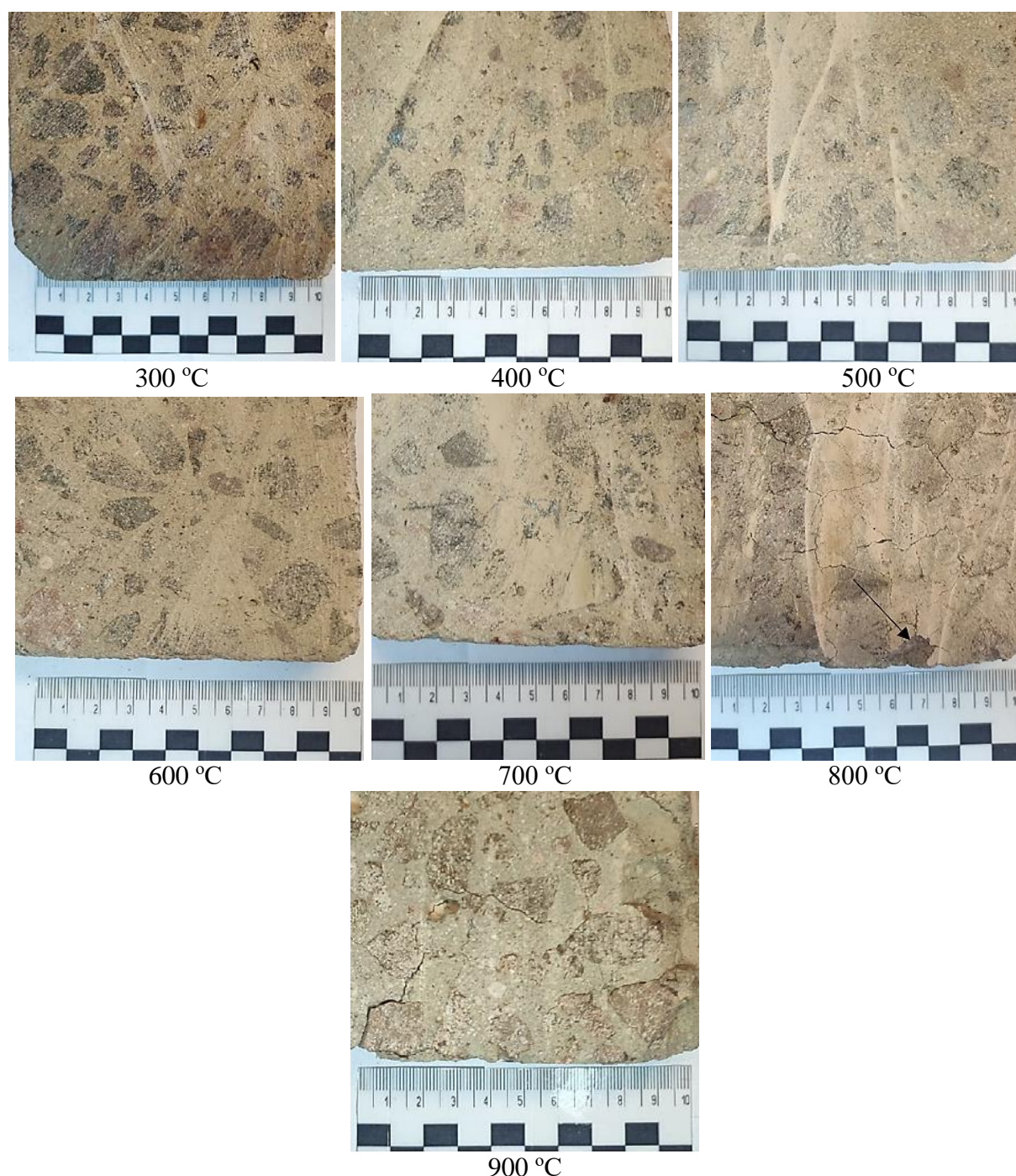
Рассмотрим пример использования методов математической статистики для оценки результатов измерения скорости прохождения ультразвуковой волны и твердости фундаментных блоков ФБС 2-2-4 (класс – В7,5; марка – М100) размерами 200×200×400 мм. Выбор данных объектов исследования был обусловлен тем, что использование ультразвуковых приборов позволяет получить результаты достаточной сходимости только в том случае, если проводится исследование однотипных объектов, изготовленных в заводских условиях. Метод измерения твердости поверхности с помощью портативного твердомера в рамках пожарно-технической экспертизы не использовался ранее.

Измерение скорости прохождения ультразвуковой волны проводили с помощью тестера для контроля бетона УК1401М, твердость измеряли с помощью портативного твердомера ТЭМП-4 по шкале Бринелля (НВ).

Оценку качества результатов измерений проводили по данным, получаемым при исследовании выбранных блоков, подвергнутых воздействию высоких температур в лабораторных условиях. Для этого блок распиливали на образцы размером 20×10×10 см. Время выдержки образцов составляло 30 и 60 минут для обеспечения их термостатирования. Для получения достаточного массива данных были проведены изменения скорости ультразвуковой волны и твердости с разных граней каждого из образцов, в общей совокупности по 40 параллельных измерений.

По мере увеличения температуры нагрева образцов было замечено изменение цвета наполнителя (щебня). Наличие большого количества наполнителя не позволяет в полной мере оценить изменение цвета самого бетонного камня, было замечено, что вначале происходит его осветление, при температурах выше 500 °С можно заметить появление розового оттенка, что часто упоминается в литературных источниках. Заметное невооруженным взглядом растрескивание материала начинается только при нагреве образцов выше 700 °С (рис. 1).





*Рисунок 1. Визуальный вид образцов при термическом воздействии в лабораторных условиях (время выдержки при высоких температурах – 60 минут)*

Образцы при нагреве существенно разрушаются как вследствие процессов дегидратации, так и под воздействием внутренних напряжений, возникающих из-за разных характеристик температурного расширения цементного камня и щебня, играющего роль наполнителя. Данное обстоятельство приводит к тому, что при нагреве выше 800 °C с помощью ультразвукового тестера скорость прохождения поверхностной волны зафиксировать не удастся. На степень разрушения материала влияние оказывает в том числе и время, в течение которого образцы находились в муфельной печи, после 60 минут выдержки зафиксировать скорость прохождения ультразвука не удастся уже при нагреве выше 700 °C (табл. 1).

Таблица 1  
 Результаты измерения скорости прохождения ультразвуковой волны образцов

Температура, °С	Средняя скорость прохождения ультразвука, м/с	
	время нагрева 30 минут	время нагрева 60 минут
20	4210	
300	3842	4365
400	3346	2546
500	2647	1957
600	1957	1320
700	1407	–
800	–	–
900	–	–

По экспериментальным данным были получены регрессионные зависимости, наглядно демонстрирующие влияние температуры и времени нагрева на результаты применения акустического метода исследования. В диапазоне температур от 300 до 700 °С зависимости имеют линейный характер, достоверность аппроксимации достигает 0,99 (рис. 2).

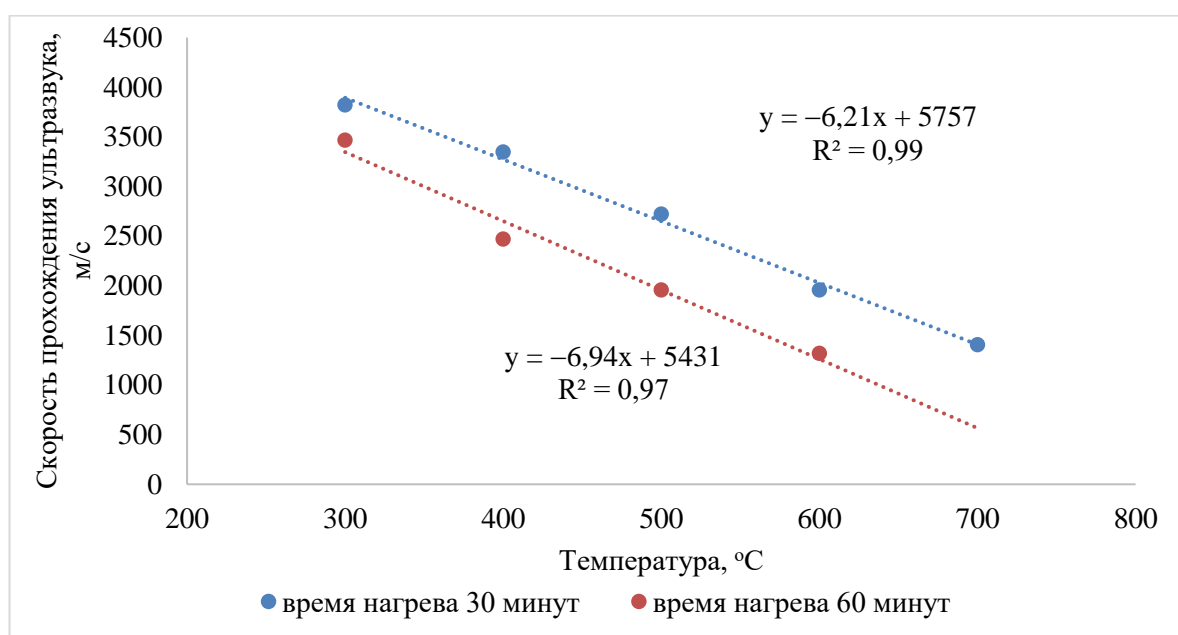


Рисунок 2. Зависимости скорости прохождения ультразвуковой волны от температуры нагрева образцов

Результаты позволили получить эмпирические уравнения, по которым можно оценить температуру нагрева блоков для времени нагрева 30 минут в диапазоне от 300 до 700 °С, а также для времени нагрева образцов 60 минут в диапазоне от 300 до 600 °С.

$$t = -0,16 \cdot C + 924, \quad (1)$$

$$t = -0,14 \cdot C + 777, \quad (2)$$

где  $t$  – температура нагрева бетонного блока, °С;  $C$  – скорость прохождения УЗ-волны, м/с.

Результаты исследования поверхности блоков твердомером показали, что данный прибор позволяет оценить свойства



образцов во всем выбранном в работе температурном диапазоне, независимо от времени выдержки (табл. 2). При измерении

твердости особое внимание обращалось на попадание детектора прибора в цементный камень, а не в наполнитель.

Таблица 2  
Результаты измерения твердости образцов твердости (НВ) от температуры прогрева (°С) бетонного образца

Температура нагрева образцов, °С	Среднее значения по 40 измерениям твердости образцов	
	время нагрева 30 минут	время нагрева 60 минут
20	183	
300	157	188
400	149	163
500	144	166
600	140	151
700	126	104
800	92	66
900	44	42

Анализ полученных результатов показал, что наибольшие изменения твердости наблюдаются при нагреве образцов выше 600 °С, в этом диапазоне зависимость

твердости от температуры нагрева носит линейный характер, достоверность аппроксимации полученных регрессионных зависимостей составляет 0,94 и 0,97 (рис. 3).

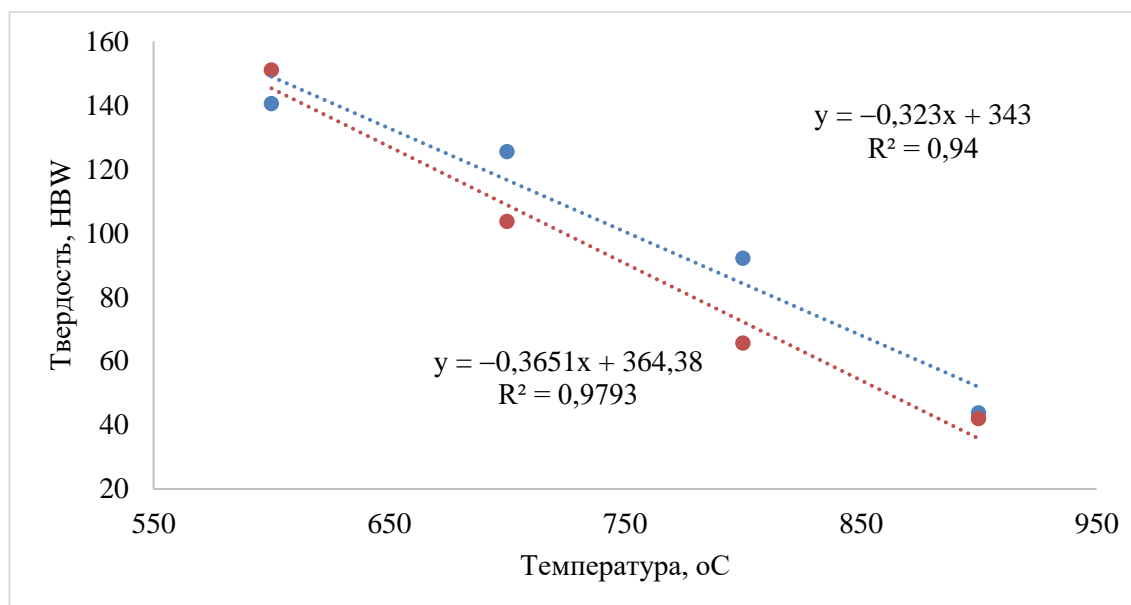


Рисунок 3. Зависимости твердости от температуры нагрева образцов в диапазоне 600–900 °С

По полученным данным также были получены уравнения, позволяющие оценить температуру нагрева блока в зависимости от измеренных значений твердости для

времени выдержки при температуре от 300 до 900 °С в течение 30 минут и 60 минут, соответственно.

$$t = -4,77 \cdot \text{НВ} + 1166, \quad (3)$$

$$t = -3,73 \cdot НВ + 1068, \quad (4)$$

где  $t$  – температура нагрева, °С;

НВ – твердость по шкале Бринелля.

Использовании подобных эмпирических уравнений в пожарно-технической экспертизе позволяет делать оценку температурных характеристик нагрева на основе данных, полученных несколькими методами. Чаще всего сравнительную оценку степени термического поражения материалов делают непосредственно по результатам, полученным с помощью средств измерения. Такой подход не позволяет использовать получаемые данные в полной мере, поскольку различные методы, как показывают представленные выше результаты, работают в разных температурных диапазонах. Оптимальным вариантом стало бы получение уравнений, основанных на результатах измерения, полученных несколькими методами исследования, но в этом случае требуется обоснованное доказательство независимости измеряемых свойств материалов и анализ получаемых выборок результатов измерения на равномерность. В тоже время можно предложить методику, последовательно сочетающую выбранные методы исследования, например, на первом этапе можно проводить исследование с помощью ультразвукового тестера, в тех зонах, где метод не работает, прибегать к использованию твердомера.

Прежде чем предложить данный подход необходимо убедиться в достоверности получаемых значений. В количественном анализе для этих случаев исполь-

зуют определенные в соответствии с нормативными документами показатели повторяемости, воспроизводимости, правильности и точности. Но в методиках пожарно-технической экспертизы, основанных на сравнительном анализе результатов измерения, полученных в разных зонах пожара, такой подход не применим. Поэтому предлагается использовать для этих целей статистические критерии, позволяющие доказать допустимость применения отдельных методов при исследовании после пожара бетонных конструкций.

Разрушение образцов при нагреве не позволяет однозначно утверждать, что получаемые массивы можно отнести к равномерным выборкам, даже относительно измерений для образцов, выдержанных при одинаковых температурах. Для оценки достоверности результатов, определенных выбранными в работе методами на первом этапе, было проведено сравнение данных, снятых при исследовании образцов полученных в аналогичных температурно-временных условиях, анализ приводился по 10 параллельным измерениям. Для этих целей был использован критерий Кохрена ( $G$ ), который позволяет проводить сравнение выборок с целью установления сравнимости случайных ошибок. Для выбранных в работе условий критическое значение критерия  $G$  составляет 0,62 для доверительной вероятности  $P = 0,95$  [6]. Полученные значения критерия  $G$  на основе результатов измерения скорости прохождения ультразвуковой волны и твердости представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3  
Значения критерия  $G$  при оценке выборок, полученных при изменении скорости прохождения ультразвуковой волны

Температура нагрева образцов, °С	Критерий $G$	
	Время нагрева 30 минут	Время нагрева 60 минут
20	0,42	0,42
300	0,47	0,73
400	0,53	0,99
500	0,66	0,33
600	0,61	0,79
700	0,55	–

Таблица 4  
Значения критерия G при оценке выборок, полученных при изменении твердости

Температура нагрева образцов, °С	Критерий G	
	Время нагрева 30 минут	Время нагрева 60 минут
20	0,56	0,56
300	0,75	0,58
400	0,59	0,35
500	0,55	0,45
600	0,39	0,39
700	0,65	0,42
800	0,40	0,42
900	0,50	0,52

Полученные значения выбранного статистического критерия позволяют отнести результаты измерений образцов к относительно равномерным выборкам, в ряде случаев фиксируется превышение критического значения. Это можно объяснить влиянием на результат условий проведения экспериментов, прогрев образцов в муфельной печи недостаточно равномерный со всех четырех сторон образца. В целом можно сказать, что результаты оценки полученных экспериментальных данных позволяют использовать их для построения регрессионных зависимостей, что подтверждает достоверность выводов на их основе.

Вторым этапом работы стало изучение возможности применения результатов

измерения данного параметра для оценки температуры нагрева. Для этого результаты исследования образцов нагреваемых при разных температурах, отличающихся на 100 °С, необходимо сравнить между собой для подтверждения значимости различий между ними. Для этих целей в работе использован расчет критерия Стьюдента (t), его критическое значение составляет 2,26. Результаты сравнения измерения скорости прохождения ультразвуковой волны для образцов, нагретых до разных температур приведены в табл. 5–6. За положительный результат считается превышение критического значения критерия, в этом случае разница является значимой.

Таблица 5  
Значения t-критерия, полученные при сравнении результатов измерения скорости прохождения УЗ-волны образцов, подвергнутых нагреву до разных температур (время выдержки образцов – 30 мин)

Температура, °С	300	400	500	600	700
20	7,06	11,52	18,89	25,39	45,78
300	–	5,97	13,25	20,16	36,31
400	–	–	6,43	13,17	23,19
500	–	–	–	7,06	15,10
600	–	–	–	–	5,72

Таблица 6  
Значения *t*-критерия, полученные при сравнении результатов измерения скорости прохождения УЗ-волны образцов, подвергнутых нагреву до разных температур (время выдержки образцов – 60 мин)

Температура, °С	300	400	500	600
20	14,34	17,35	39,48	70,30
300	–	9,43	25,26	48,01
400	–	–	5,87	13,30
500	–	–	–	12,60

Анализ полученных данных показывает, что во всех случаях рассчитанные критерии, полученные при анализе результатов измерения образцов, температура предварительного нагрева которых отличается на 100 °С, превышают критическое значение, что подтверждает возможность использования данного метода при оценке степени термического воздействия на образцы бетонных блоков в целях пожарно-технической экспертизы.

Аналогичные данные, полученные при оценке результатов измерения твердости образцов, показали, что данный метод может быть использован для оценки температуры нагрева образцов только если ее значение превышает 700 °С (табл. 7–8).

Таблица 7  
Значения *t*-критерия, полученные при сравнении результатов измерения твердости образцов, подвергнутых нагреву до разных температур (время выдержки образцов – 30 мин)

Температура, °С	300	400	500	600	700	800	900
20	1,36	3,01	2,18	2,66	3,22	5,38	9,08
300	–	1,68	0,80	1,14	1,89	4,15	8,11
400	–	–	0,94	0,87	0,21	2,56	6,80
500	–	–	–	0,24	1,17	3,57	7,94
600	–	–	–	–	1,13	4,09	10,19
700	–	–	–	–	–	2,35	6,61
800	–	–	–	–	–	–	4,42

Таблица 8  
Значения *t*-критерия, полученные при сравнении результатов измерения твердости образцов, подвергнутых нагреву до разных температур (время выдержки образцов – 60 мин)

Температура, °С	2	3	4	5	6	7	8
20	0,26	1,03	0,83	1,96	4,92	7,58	9,22
300	–	1,27	1,06	2,18	4,99	7,51	9,05
400	–	–	0,14	0,83	4,05	6,95	8,76
500	–	–	–	0,90	3,78	6,32	7,89
600	–	–	–	–	4,26	8,40	11,02
700	–	–	–	–	–	3,85	6,42
800	–	–	–	–	–	–	2,77

Проведенные исследования показали эффективность использования статистических критериев для подтверждения достоверности результатов исследования бетонных блоков с помощью акустического тестера и твердомера. Разрушение материала не позволяет проводить исследование акустическим методом при высоких температурах (выше 700 °С), но

именно в этой области результаты исследования твердости могут быть использованы для дальнейшего исследования образцов, что подтверждено статистическими критериями. Данный подход может применяться для оценки результатов, получаемых при исследовании других материалов на месте пожаров в ходе установления очаговой зоны и условий развития пожара.

#### Литература

1. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2 кн. СПб., 2010. Кн. 1. 708 с.
2. Моторыгин Ю. Д., Сикорова Г. А. Комплексная методика исследования степени термического поражения стальных элементов транспортных средств с помощью полевых методов // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 3 (93). С. 137–151.
3. Ловчиков В. А., Лебедев А. Ю. Исследование электросопротивления углей в пожарно-технической экспертизе // Судебная экспертиза. 2011. № 3 (27). С. 10–16.
4. Лебедев А. Ю., Бельшина Ю. Н., Черушов И. В. Исследование акустических свойств природных каменных материалов в целях установления очага пожара // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10, № 3 (55). С. 164–168.
5. Абразумов О. В., Лебедев А. Ю. Определение степени термической деструкции бетонных материалов методом акустического анализа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 109–115.
6. Дерффель К. Статистика в аналитической химии. М., 1994. С. 268.

#### References

1. Cheshko I. D., Plotnikov V. G. Analysis of expert versions of fire occurrence. In 2 books. St. Petersburg, 2010. Book 1. 708 p.
2. Motorygin Yu. D., Sikorova G. A. Complex methodology for studying the degree of thermal damage to steel elements of vehicles using field methods // Technosphere security technologies. 2021. No. 3 (93). Pp. 137–151.
3. Lovchikov V. A., Lebedev A. Yu. Study of electrical resistance of coals in fire-technical expertise // Forensic examination. 2011. No. 3 (27). Pp. 10–16.
4. Lebedev A. Yu., Belshina Yu. N., Cherushov I. V. Investigation of acoustic properties of natural stone materials in order to establish a fire source // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2021 Vol. 10, No. 3 (55). Pp. 164–168.
5. Abrazumov O. V., Lebedev A. Yu. Determination of the degree of thermal destruction of concrete materials by acoustic analysis // Problems of risk management in the technosphere. 2021. No. 3 (59). Pp. 109–115.
6. Derffel K. Statistics in analytical chemistry. M., 1994. P. 268.

УДК 614.84

bezzaponnay@mail.ru

**ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ГИПСОВУЮ ШПАКЛЁВКУ МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГА ПОЖАРА**

**ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE OF IMPACT  
ON GYPSUM PUTTY BY THERMAL ANALYSIS METHODS  
FOR DIAGNOSTICS OF A FIRE SEA**

*Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,  
Инкина П. С., Динисламов М. М.,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Bezzaponnaya O., Inkina P., Dinislamov M.,  
Ural Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

В статье описан методический подход для оценки термического воздействия на гипсовую шпаклёвку. Установлено, что в качестве критериев для оценки температуры воздействия на гипсовую шпаклёвку методами термического анализа целесообразно использовать термоаналитические характеристики: потерю массы при температуре 200 °С и зольный остаток при температуре 900 °С. Приведены результаты применения метода термического анализа для определения температуры воздействия на гипсовую финишную шпаклёвку ROTBAND.

*Ключевые слова:* температура воздействия, очаг пожара, гипсовая шпаклёвка, термические методы анализа, термоаналитические характеристики.

The article describes a methodical approach for assessing the thermal impact on the gypsum-based plaster composition. It has been established that it is advisable to use thermal analytical characteristics as criteria for assessing the temperature of impact on the plaster composition by thermal analysis methods: weight loss at a temperature of 200 °C and ash residue at a temperature of 900 °C. The results of applying the thermal analysis method to determine the impact temperature on the ROTBAND gypsum finishing putty.

*Keywords:* exposure temperature, fire source, gypsum putty, thermal methods of analysis, thermal analytical characteristics.

**Введение**

Определение местонахождения очага пожара является одной из основных задач, решаемых при производстве пожарно-технической экспертизы. Предварительные исследования проводятся уже во время осмотра места пожара при обследовании термических повреждений материалов. При необходимости отбираются пробы для проведения исследований в экспертных судебных учреждениях. Однако для определения степени термического воздействия необходимы данные

предварительных испытаний строительных материалов, в различной степени подверженных термическому воздействию, с получением зависимости аналитического сигнала от температуры воздействия на исследуемый материал. Очаг пожара диагностируется по максимальной степени термической деструкции исследуемого материала.

Для решения задачи диагностики очага пожара экспертами применяются такие методы, как метод ультразвуковой дефектоскопии, метод определения электросопротивления обугленной



древесины, копоти и пенококса полимеров, метод определения магнитных свойств холоднодеформированных металлических изделий [1], а также инструментальные методы (метод ИК-спектроскопии, хроматографический метод анализа и другие). Однако, по мнению авторов статьи и других исследователей, наиболее информативным и точным методом для решения задачи диагностики очага пожара является метод синхронного термического анализа (СТА) [2–4].

Анализ научных публикаций свидетельствует о том, что в настоящее время накоплен уже значительный экспериментальный материал исследования процесса термоокислительной деструкции различных строительных материалов [5–8], что весьма ценно для использования полученных результатов в целях пожарно-технической экспертизы. Изменение термоаналитических характеристик при повышении температуры воздействия позволяет не только охарактеризовать процесс термоокислительной деструкции материала, но и оценить зависимость этих характеристик от температуры воздействия для оценки степени термического воздействия на исследуемый материал. В последнее время появляется всё больше методических подходов [9–10] для оценки степени термического воздействия на тот или иной материал, но единого подхода на настоящее время не разработано, что свидетельствует об актуальности темы исследования.

В качестве критериев для определения температуры воздействия и диагностики очага пожара необходимо

использовать термоаналитические характеристики, которые имеют высокую корреляционную связь с температурой воздействия на материал. Безусловно, для материалов разной химической природы это будут разные термоаналитические характеристики. В данной статье будут рассмотрены термолиз гипсовой шпаклёвки и алгоритм получения зависимостей температуры воздействия от термоаналитических характеристик, которые целесообразно применять в качестве критериев для оценки температуры воздействия на гипсовые шпаклёвки.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для подготовки образцов проб и проведения исследований методом синхронного термического анализа (СТА) гипсовая финишная шпаклёвка ROTBAND была нанесена на полимерную подложку для полного высыхания. Исследование образцов материала проводили на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха, в корундовых тиглях, в интервале температур, характерном для стандартного (целлюлозного) режима пожара (25–900 °С). При проведении испытаний фиксировались следующие зависимости: термогравиметрическая (ТГ) кривая; дифференциально-термогравиметрическая (ДТГ) кривая; кривая дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Термограмма гипсовой финишной шпаклёвки ROTBAND, полученная при скорости нагрева 25 °С/мин, представлена на рис. 1.

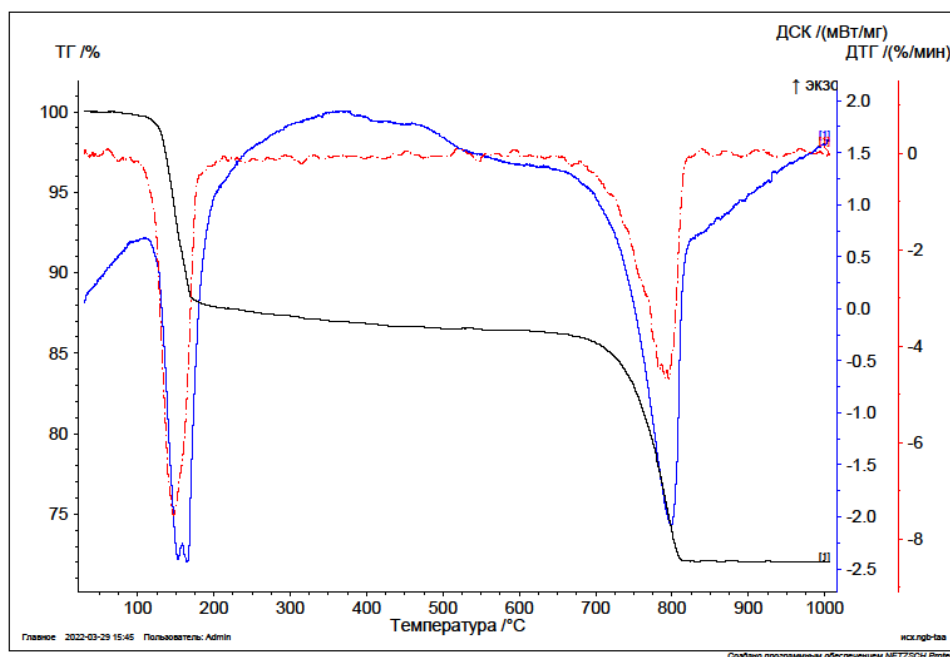
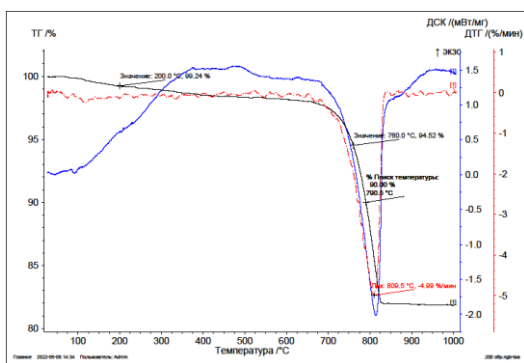


Рисунок 1. Термограмма исходной (нативной) гипсовой шпаклёвки ROTBAND (среда – воздух, скорость нагрева 20 °С/мин)

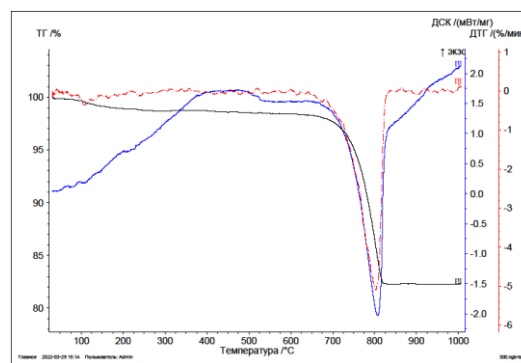
Анализ ТГ-кривой свидетельствует о 2-хстадийном процессе термоллиза образцов шпаклёвки (две ступени на ТГ-кривой) и двух ДТГ-пиков на ДТГ-кривой. Зольный остаток анализируемой шпаклёвки составил 72,04 %. Максимум первого ДТГ-пика приходится на температуру 147,1 °С, второго ДТГ-пика – на температуру 795,4 °С.

На ДСК-кривой наблюдаются два эндотермических пика: с максимумом при температуре 165,1 °С и при температуре 799,1 °С.

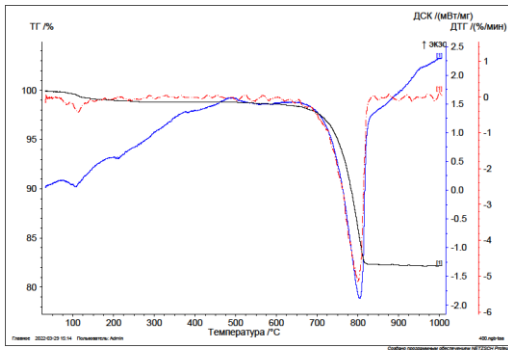
Термограммы гипсовой шпаклёвки, предварительно подвергнутой термическому воздействию, представлены на рис. 2 (а–ж).



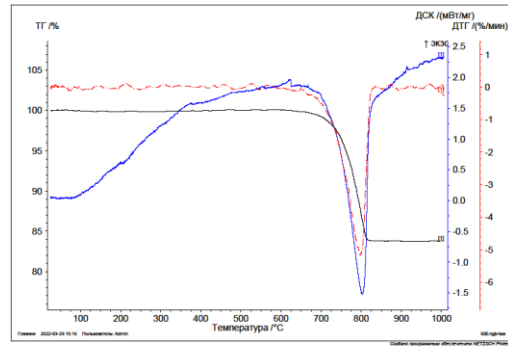
а)  $t_{\text{пв}} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$



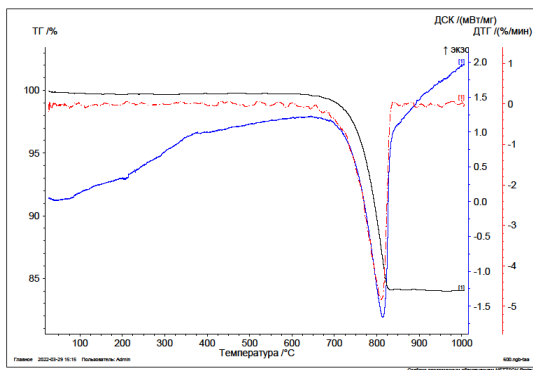
б)  $t_{\text{пв}} = 300 \text{ } ^\circ\text{C}$



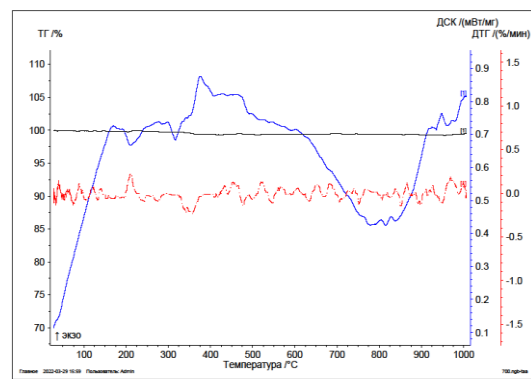
в)  $t_{ПВ} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$



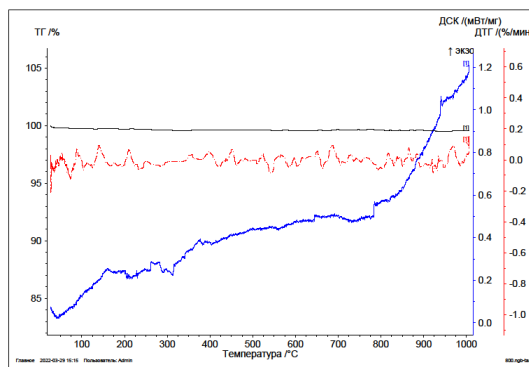
з)  $t_{ПВ} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$



д)  $t_{ПВ} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$



е)  $t_{ПВ} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$



ж)  $t_{ПВ} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 2. Термограмма гипсовой финишной шпаклёвки ROTBAND при различных температурах предварительного теплового воздействия (среда – воздух, скорость нагрева 20 °C/мин)

Зависимость зольного остатка от температуры предварительного воздействия представлена на рис. 3.

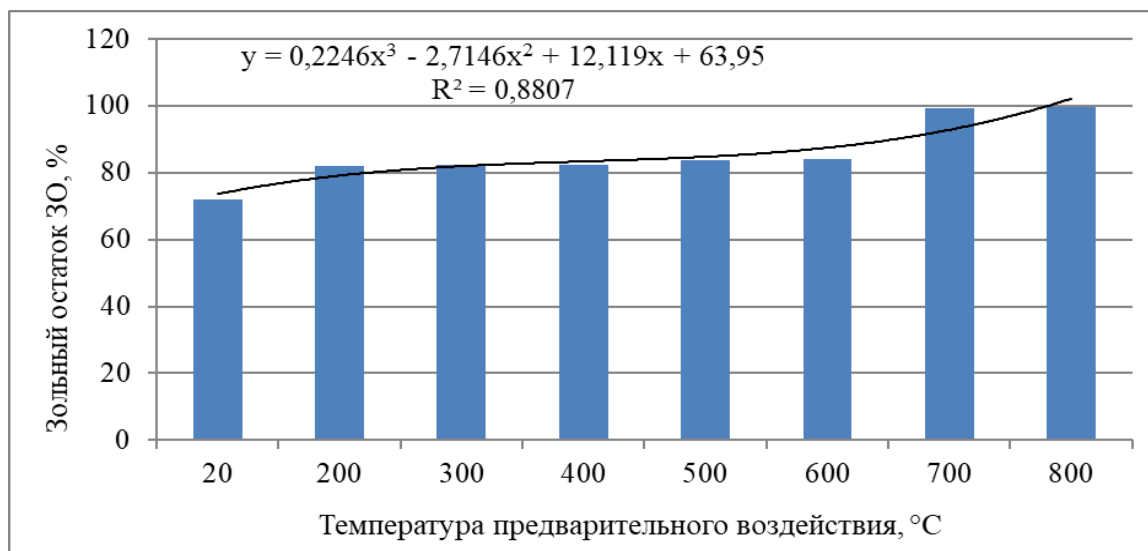


Рисунок 3. Зависимость зо́льного остатка от температуры предварительного воздействия на образец гипсовой финишной шпаклевки ROTBAND

Зависимость зо́льного остатка шпаклёвки ROTBAND от температуры воздействия удовлетворительно ( $R^2 = 0,8807$ ) описывается полиномиальной кривой третьего порядка. Полученное уравнение зависимости позволяет прогнозировать значение зо́льного остатка при заданной температуре воздействия на гипсовую шпаклёвку.

Для расчёта температуры воздействия на исследуемый материал необходимо получить уравнение зависимости температуры воздействия от зо́льного остатка. График, демонстрирующий влияние температуры на величину зо́льного остатка, приведён на рис. 4.

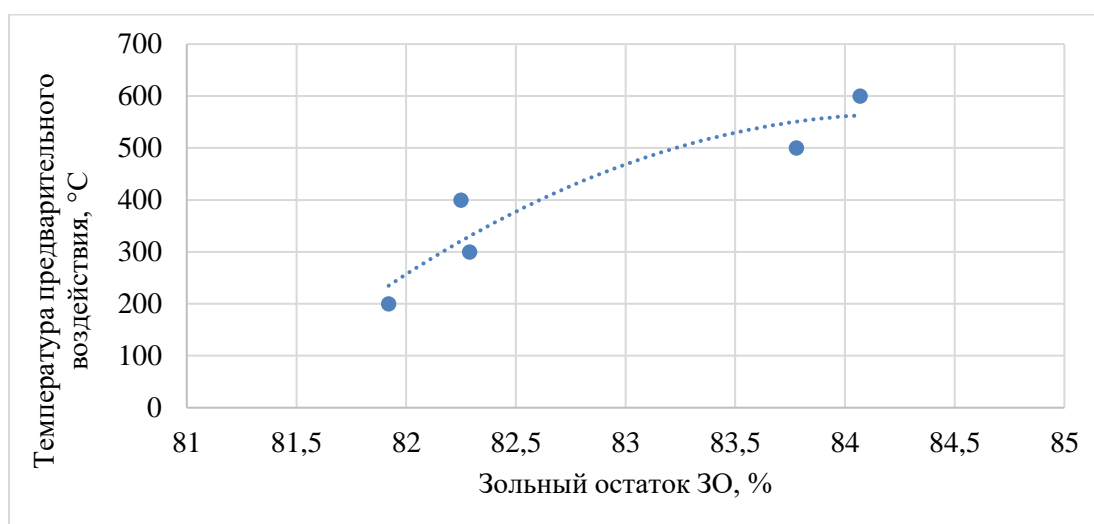


Рисунок 4. Влияние температуры воздействия на зо́льный остаток шпаклевки ROTBAND при 900 °C

Получено уравнение второго порядка для определения температуры воздействия  $t$ , при известной потере массы

гипсовой финишной шпаклёвки  
ROTBAND ( $R^2 = 0,8765$ ):

$$t = -59,527x^2 + 10033x - 422228, \quad (1)$$

где  $x$  – зольный остаток шпаклёвки  
ROTBAND при температуре 900 °С, %.

График, демонстрирующий влияние температуры на величину потери массы при температуре 200 °С, приведён на рис. 5.

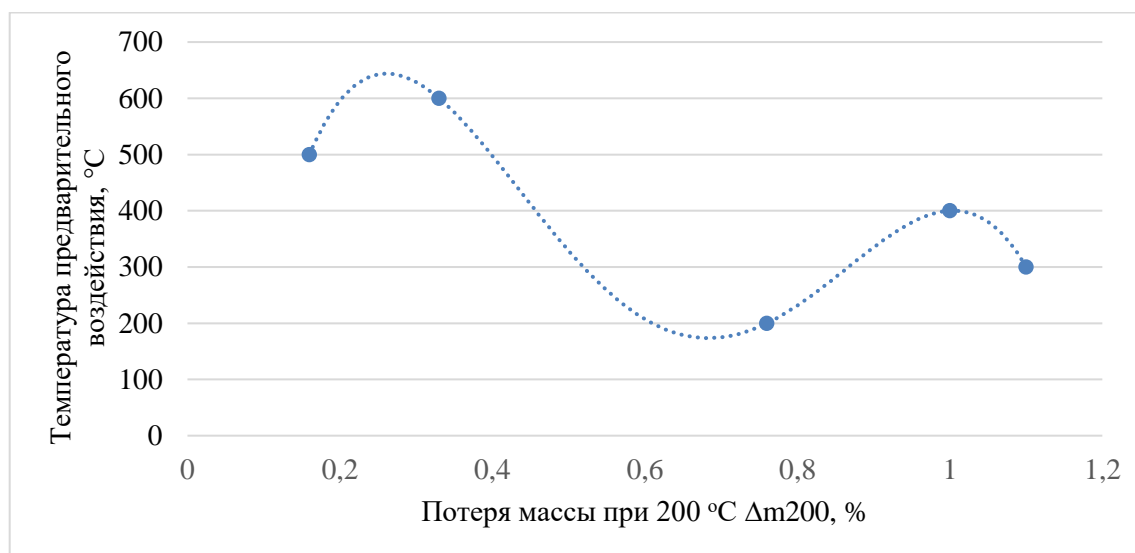


Рисунок 5. Влияние температуры воздействия на потерю массы гипсовой шпаклёвки ROTBAND при 200 °С

Получено полиномиальное уравнение четвертого порядка для определения температуры

воздействия  $t_{пв}$ , при известной потере массы образца гипсовой шпаклёвки ( $R^2 = 0,998$ ):

$$t_{пв} = -17625x^4 + 45803x^3 - 39739x^2 + 12643x - 681,65, \quad (2)$$

где  $x$  – потеря массы образца шпаклёвки при температуре 200 °С, %.

Для остальных термоаналитических характеристик удовлетворительных зависимостей не получено. Для расчёта итоговой температуры воздействия на исследуемый материал находится среднее арифметическое значений, рассчитанных по уравнениям (1) и (2).

После оценки степени термического воздействия в разных зонах помещения строится схема температурных полей и по максимальной температуре воздействия определяется зона нахождения очага пожара.

Проверка достоверности результатов определения температуры воздействия на материал показала, что относительная погрешность составила

1,14 %, то есть погрешность определения не превышает 5 %, что свидетельствует о достоверности полученных результатов и точности расчётов.

### Выводы

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы:

- в качестве критериев оценки температурного воздействия на гипсовые шпаклёвочные составы целесообразно рассматривать термоаналитические характеристики, имеющие тесную корреляционную связь ( $R^2 > 0,8$ ) с температурой воздействия на материал: зольный остаток при температуре 900 °С, потеря массы при температуре 200 °С;

- получены уравнения, позволяющие рассчитать температуру

воздействия на материал при известной потере массы и зольного остатка;

– погрешность определения температуры воздействия на исследуемый

материал не превышает 5 %, что свидетельствует о достоверности полученных результатов и точности проведения расчётов.

#### Литература

1. Чешко И. Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие. М., 2002. 330 с.
2. Дашко Л. В., Синюк В. Д., Плотникова Г. В. Экспертное исследование цементного камня после высокотемпературного воздействия // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 12. С. 22–32.
3. Беззапонная О. В. и др. Диагностика температуры воздействия пожара на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2019. № 4 (25). С. 73–81.
4. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Петров А. В., Потёмкина О. В. Методика комплексного исследования бетонов, подвергшихся термическому воздействию на пожаре // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2019. № 1 (30). С. 36–43.
5. Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Петров А. В. Термический анализ как способ установления скрытых повреждений // Пожарная и аварийная безопасность. 2019. № 2 (13). С. 11–15.
6. Корзанов В. С., Красновских М. П. Влияние термического воздействия на прочность бетона // Вестник Пермского университета. 2020. Т. 10, Вып. 3. С. 277–284.
7. Беззапонная О. В. Оценка температуры воздействия на древесину в условиях пожара методами термического анализа // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 70–80.
8. Дашко Л. В., Довбня А. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2012. № 1 (60). С. 59–64.
9. Ключников В. Ю., Дашко Л. В., Довбня А. В., Плотникова Г. В. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 7. С. 47–51.
10. Беззапонная О. В. Термические методы анализа. Екатеринбург, 2021. 87 с.

#### Reference

1. Cheshko I. D. Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov: metod. posobie. M., 2002. 330 s.
2. Dashko L. V., Sinyuk V. D., Plotnikova G. V. Ekspertnoe issledovanie cementnogo kamnya posle vysokotemperaturnogo vozdejstviya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2015. T. 24, № 12. S. 22–32.
3. Bezzaponnaya O. V. i dr. Diagnostika temperatury vozdejstviya pozhara na ognезashchitnye pokrytiya intumescentnogo tipa metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 4 (25). S. 73–81.
4. Flegontov D. V., Akulova M. V., Petrov A. V., Potyomkina O. V. Metodika kompleksnogo issledovaniya betonov, podvergshihся termicheskomu vozdejstviyu na pozhare // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2019. № 1 (30). S. 36–43.
5. Flegontov D. V., Akulova M. V., Petrov A. V. Termicheskij analiz kak sposob ustanovleniya skrytykh povrezhdenij // Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'. 2019. № 2 (13). S. 11–15.
6. Korzanov V. S., Krasnovskih M. P. Vliyanie termicheskogo vozdejstviya na prochnost' betona // Vestnik Permskogo universiteta. 2020. T. 10, Vyp. 3. S. 277–284.
7. Bezzaponnaya O. V. Ocenka temperatury vozdejstviya na drevesinu v usloviyah pozhara metodami termicheskogo analiza // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 3 (28). S. 70–80.
8. Dashko L. V., Dovbnya A. V., Klyuchnikov V. YU., Plotnikova G. V. Primenenie metodov termicheskogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii. 2012. № 1 (60). S. 59–64.
9. Klyuchnikov V. Yu., Dashko L. V., Dovbnya A. V., Plotnikova G. V. Primenenie metodov termicheskogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21, № 7. S. 47–51.
10. Bezzaponnaya O. V. Termicheskie metody analiza. Ekaterinburg, 2021. 87 s.



УДК 641.841.41

paznikova2007@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО СПОСОБА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ****APPLICATION OF A NEW METHOD FOR EVALUATING  
THE EFFECTIVENESS OF FLAME RETARDANTS**

*Фоминых И. М., кандидат технических наук, доцент,  
Пазникова С. Н., кандидат технических наук, доцент,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,  
Косарева М. А., кандидат технических наук,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург*

*Fominykh I., Paznikova S.,  
Ural Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Yekaterinburg  
Kosareva M., The Ural Federal University  
named after the first President of Russia B .N. Yeltsin, Yekaterinburg*

В ходе работы проведен ряд исследований, направленных на выбор объекта исследования, составов, которые можно применять для разработанного способа оценки горючих свойств веществ. В статье представлены результаты экспериментальных исследований эффективности промышленно-доступных средств огнезащиты древесины. Для оценки эффективности указанных составов использовали экспресс-метод «Огневая труба» и новый способ оценки горючих свойств веществ с применением спичек. Отражены результаты сравнительного анализа огнезащитной эффективности при использовании различных типов огнезащитных составов (ОЗС) и древесных образцов. Предполагается, что применение на практике разработанной методики позволит дать предварительную оценку веществам, способным защищать древесину от распространения пламени, не используя материально и трудозатратные методы.

*Ключевые слова:* антипирены, горючесть, методика, огнезащитная эффективность, растворы, спички.

In the course of the work, a number of studies were carried out for choosing the object of study, which is compositions that can be used for the developed method of assessing the combustible properties of substances. The article presents the results of experimental studies of the effectiveness of industrially available means of wood fire protection. To evaluate the effectiveness of these compositions, the express method "Fire pipe" and a new method for assessing the combustible properties of substances using matches were used. The results of a comparative analysis of fire retardant efficiency when using various types of fire retardant compositions (OZS) and wood samples are reflected.

It is assumed that the application in practice of the developed methodology will make it possible to give a preliminary assessment of substances that can protect wood from the spread of flame without using labor- and material-consuming methods.

*Keywords:* flame retardants, combustibility, technique, fire retardant efficiency, solutions, matches.

Строительные конструкции зданий и сооружений в обычных условиях эксплуатации могут сохранять необходимые рабочие качества в течение десятков лет. Древесина является наиболее распространенным и доступным природным строительным материалом. Однако в условиях пожара эти конструкции достаточно быстро утрачивают свои эксплуатационные свойства, теряют несущую, теплоизолирующую способность и целостность.

Огнезащита конструкций является составной частью общей системы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений. Особенно эффективными способами огнезащиты древесины являются пропитка антипиренами и нанесение огнезащитных покрытий. Основными целями огнезащитной обработки являются предотвращение способности древесины к возгоранию, прекращение либо снижение распространения пламени по поверхности, создание «пассивной» локализации пожара.

Используемые огнезащитные средства чрезвычайно разнообразны: неорганические и органические, однокомпонентные и многокомпонентные, содержащие азот, фосфор, галогены, бор, алюминий, а также их комбинации в различных соотношениях [1–4]. Огнезащитное действие антипиренов также оказывается различным.

В научной литературе приводятся результаты разработки большого числа новых огнезащитных средств для древесных материалов с использованием различных методов испытаний материалов на горючесть [5–7], в связи с чем, объективное сравнение антипиренов между собой в значительной мере затруднено.

Причем немаловажными являются правильная подготовка образцов для испытаний, а также технологии нанесения составов. В связи с этим становится актуальной задача по поиску простого экспресс-метода для предварительной оценки огнезащитной эффективности огнезащитных составов.

Проведенные ранее исследования показали, что результаты, полученные на установке типа ОТМ [8], имеют аналогичную закономерность, что и по методу «Огневая труба» [9]. На основании этого для достижения перечисленных выше целей применяли экспресс-метод «Огневая труба» и новый способ оценки горючих свойств веществ [10].

Среднее значение потери массы образцов при огневом воздействии в условиях, благоприятствующих аккумуляции тепла, сравнивали с результатами, полученными при использовании нового способа.

С целью сравнения экспресс-метода и нового способа были исследованы промышленные огнебиозащитные составы производства: АО Объединение Ярославские краски ФАКТУРА™ 1 (Faktura 1) и ФАКТУРА™ 2 (Faktura 2); ГК Рогнеда WOODMASTER® ФЕНИЛАКС® (Фенилакс); ООО «ЛАКРА СИНТЕЗ» ОгнеБио «Здоровый дом». Производителями рекомендуется поверхностная пропитка древесины огнебиозащитными составами.

Метод «Огневая труба» заключается в определении потери массы образца и времени самостоятельного горения при его испытании в трубе пламенем спиртовой горелки. Образцы для испытаний должны быть изготовлены из древесины сосны без дефектов с линейными размерами 100×35×5 мм, влажностью 8–15%. Образец подвешивается на крючок прибора, который закрепляется на штативе так, чтобы нижний край образца выходил из нижнего конца трубы на расстояние 5 мм, а расстояние между нижним концом образца и срезом фитиля спиртовки составляло также 5 мм. Необходимо следить, чтобы образец располагался по центру трубы и не касался ее стенок.

Нанесение ОЗС на древесные образцы осуществляли способом обмазки от одного до четырех слоев, после нанесения очередного слоя, кондиционируя древесный образец при комнатной температуре

не менее 1 суток. Было исследовано влияние расхода огнезащитного состава на потерю массы при горении древесного образца (рис. 1).

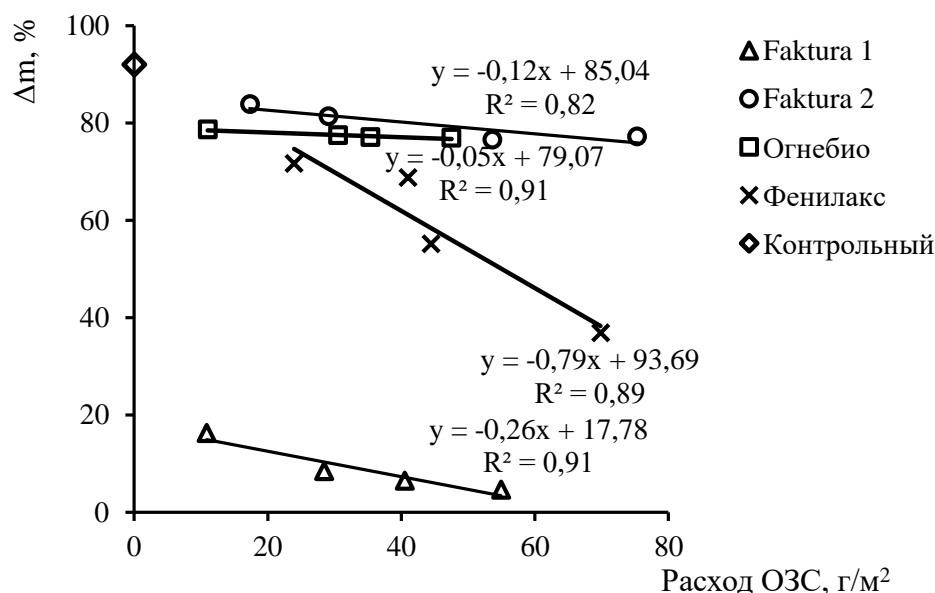


Рисунок 1. Зависимость потери массы образца от расхода ОЗС метод «Огневая труба»

Из данных графика видно, что при увеличении расхода ОЗС уменьшается потеря массы при горении. Огнебиозащитные составы Faktura 1 и «Фенилакс» эффективнее составов Faktura 2 и «Огнебио», что соответствует характеристикам, заявленным производителем. «Фенилакс» и «Огнебио» – огнебиозащитные пропиточные составы для древесины (I и II группа огнезащитной эффективности, в зависимости от расхода); Faktura 1 и Faktura 2 – I и II группа огнезащитной эффективности, соответственно. Следовательно, по заявке производителя наиболее эффективны Faktura 1 и «Фенилакс» (в зависимости от расхода).

Второй способ оценки горючих свойств веществ [10] основан на создании температурных условий, наиболее способствующих горению с помощью следующего решения: на спичечную соломку наносилось исследуемое вещество и головка соломки зажигалась другой спичкой.

В качестве материала для нанесения исследуемого вещества взята спичка ГОСТ 1820 – 2001 [11]. Выбор обоснован тем, что спички обладают рядом достоинств: на их приобретение не требуется значительных материальных и временных затрат, общедоступны. Наибольшим преимуществом, перед другими образцами из древесины, является то, что их производят по ГОСТу, при их выпуске контролируются такие показатели, как влажность (6–8 %), размеры, нанесение горючего материала (головка) и др.

Методика эксперимента является экспресс-методом и заключается в определении потери массы образца при горении.

Предварительно образец взвешивали и определяли его линейные размеры, исключая обработанный край с горючим наполнителем (головку). На образец наносили жидкий огнезащитный состав путем окунания спички, при этом держали образец за край с горючим наполнителем (за го-

ловку). Обработанные образцы кондиционировали при комнатной температуре до постоянной влажности не менее суток. Огнезащитный состав наносили с разным расходом – от одного до четырех слоев (окунанием).

Метод нанесения окунанием позволяет достаточно равномерно нанести исследуемое вещество на образец. Перед испытанием обработанный образец взвешивали и определяли расход огнезащитного

состава. Затем образец, с противоположной стороны от головки, закрепляли в горизонтальном положении с помощью держателя (лапки), установленной на штативе. Исследуемый образец зажигали другой горячей спичкой.

Несгоревшие остатки образца осторожно вынимали из лапки и помещали на чашку Петри. После остывания чашку Петри с несгоревшим остатком взвешивали и определяли потерю массы образца при горении (рис. 2).

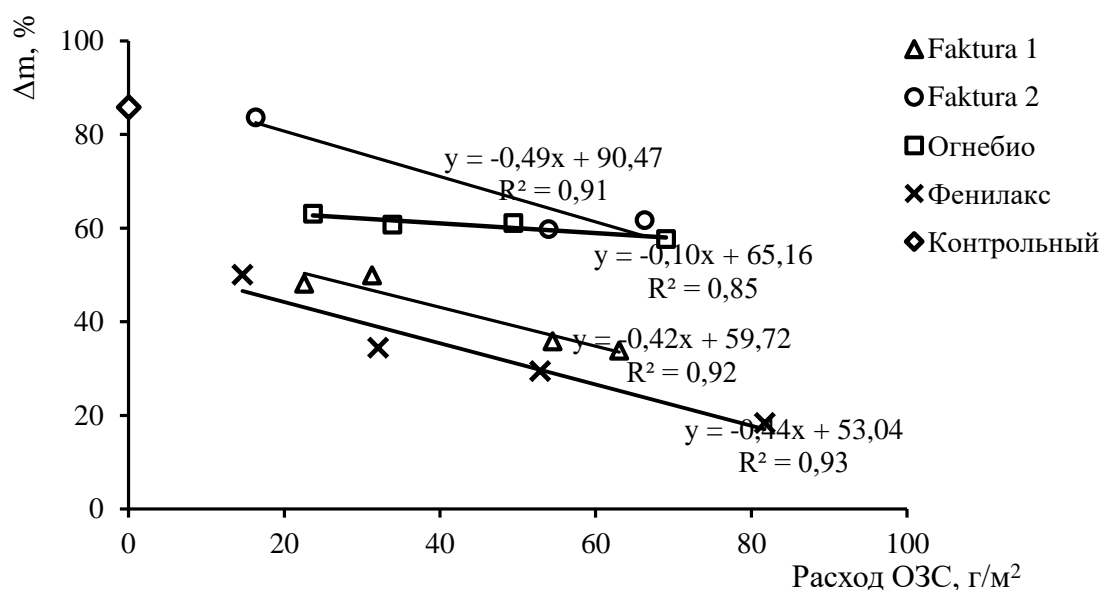


Рисунок 2. Зависимость потери массы образца (спичка) при рассчитанной площади каждого образца от расхода ОЗС

Потеря массы при горении обработанной ОЗС спички составила более 30 %, при расходе Faktura 1 60–80 г/м², в то время как производитель рекомендует расход 360 – 480 г/м² (300–400 мл/м²).

Из данных рис. 1 и 2 видно, что при использовании метода и «Огневая труба», и способа оценки горючих свойств веществ происходит снижение потери массы образцов при увеличении расхода ОЗС, за исключением образцов с применением «Огнебио». В обоих случаях при увеличении расхода ОЗС потеря массы древесных образцов уменьшается незначительно.

Как и в эксперименте с применением древесных образцов по методу «Огневая труба», из данных рис. 2 видно, что

наиболее эффективны огнебиозащитные составы Faktura 1 и «Фенилакс».

При нанесении одинакового количества слоев ОЗС, его расход и потеря массы образцов при горении исследуемых древесных материалов (брусок и спичка) могут различаться, например Faktura 1, это может быть связано как с качеством поверхности образца, породой древесины, так и с линейными размерами. Толщина спички в 2 раза меньше толщины бруска, ширина – в 16 раз, следовательно, физико-химические процессы (распространение пламени по поверхности материала, нагрев и разложение, ориентация теплового потока, толщина поверхностного коксового слоя, скорость обугливания древесины и

др.) на поверхности образцов будут различными.

Таким образом, применение разработанного способа оценки горючих свойств веществ [10] в качестве экспресс определения огнезащитной эффективности ОЗС является целесообразным. Дальнейшим исследованиям на установке типа ОТМ [8] подлежат образцы с потерей массы не более 40 %. Новый способ упрощает оценку горючих свойств веществ, позволяет сравнивать новые огнезащитные составы с изученными ранее.

С целью увеличения расхода ОЗС образцы древесины были замочены на

сутки в растворе Faktura 1 и высушены при комнатной температуре. При испытании в огневой трубе наблюдалось вспучивание покрытия, что привело к нарушению условий проведения эксперимента: образец перекосило, он касался стенок огневой трубы и перекрыл равномерную подачу воздуха и пламени горелки к поверхности образца. Метод огневой трубы не предусматривает испытание вспучивающихся ОЗС. Таким образом, применение метода с использованием спичек позволяет дать предварительную оценку по огнезащитной эффективности, в том числе и вспучивающимся ОЗС (рис. 3).



а



б

*Рисунок 3. Образцы спичек после испытаний:*

*а) необработанный образец; б) образец, обработанный ОЗС Faktura 1*

Для метода «Огневая труба» используются древесные заготовки, недостатком которых является разброс результатов по их влажности и размерам. Привести влажность образцов к одному показателю, измерить линейные размеры – трудозатратная часть проведения эксперимента.

С целью снижения трудозатрат на проведение эксперимента было определено среднее значение площади спички, на

которую наносится ОЗС (более 50 образцов). Расчетное значение площади составило  $3,06 \text{ см}^2$ . Значения потери массы образцов от соответствующего расхода, как при рассчитанной площади для каждого образца (Faktura 1 и Faktura 2), так и для определения расхода ОЗС при средней площади (Faktura 1,  $S = 3,06 \text{ см}^2$  и Faktura 2,  $S = 3,06 \text{ см}^2$ ), практически совпали (рис. 4).

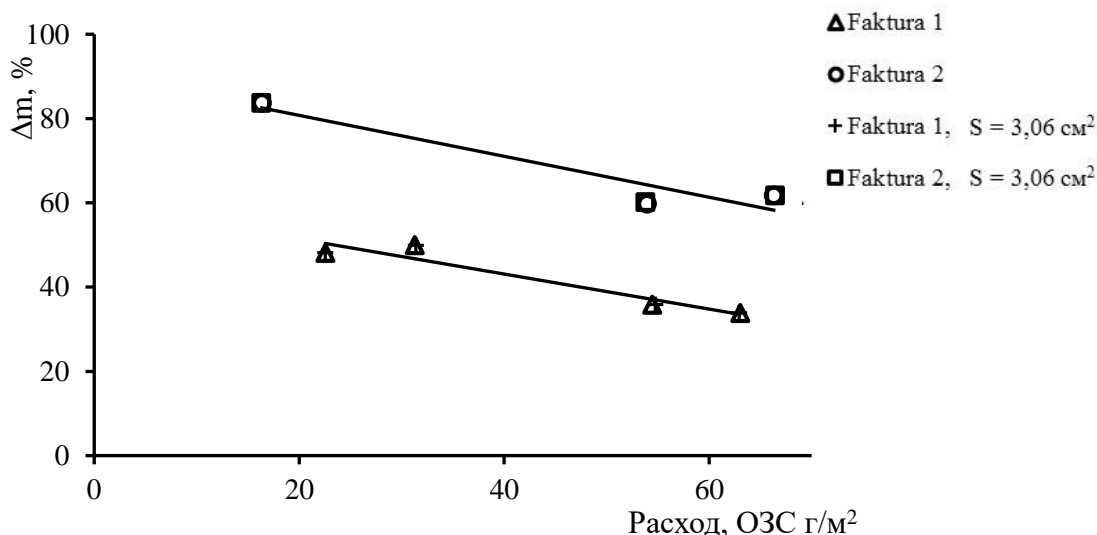


Рисунок 4. Зависимость потери массы образца (спичка) от расхода ОЗС

Таким образом, использование в качестве образца, на который наносится исследуемое вещество, спички является наиболее целесообразным.

Отличительные особенности предлагаемого способа экспресс-оценки горючих свойств веществ с использованием спички для нанесения исследуемого вещества заключаются в простоте, доступности,

универсальности и точности (относительная погрешность находится в пределах 10–15 % при  $P = 0,95$ ).

Поскольку предлагаемый способ не является материально и трудозатратным, он дает возможность обработать и исследовать большое количество веществ, провести качественную оценку по эффективности и выбрать наиболее перспективные образцы для проведения дальнейших сертификационных испытаний.

#### Литература

1. Леонович А. А., Шелоумов А. В. Огнезащитная эффективность фосфоразотсодержащих антипиренов в зависимости от химической природы азотсодержащего компонента // Хим. пром-сть. 2003. Т. 80, № 2. С. 8–12.
2. Балакин В. М., Полищук Е. Ю. Азотфосфорсодержащие антипирены для древесины и древесных композиционных материалов (Литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17, № 2. С. 43–51.
3. Патент № 2469843 Российская Федерация, МПК В27К 3/52 (2006.01), С09К 21/02 (2006.01). Огнезащитный состав для обработки древесины: № 2011101296/13: заявл. 13.01.2011: опубл. 20.12.2012 / Салех А. И. 6 с.
4. Патент № 2538256 Российская Федерация, МПК В27К 3/52 (2006.01), С09D 5/14 (2006.01), С09К 21/04 (2006.01) В27К 3/20 (2006.01). Композиция для огнебиозащитной пропитки древесины: № 2012129756/05: заявл. 16.07.2012: опубл. 27.01.2014 / Лукьяненко Н. А., Лукьяненко К. Н., Веренкова Э. М.; заявитель ООО «ПОЛИФАН-Л». 7 с.
5. Асеева Р. М. и др. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 5. С. 23–30.
6. Афанасьев С. В., Коротков Р. В. Азотфосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 12, № 6. С. 38–42.
7. Тычино Н. А. Огнезащита и биозащита строительной древесины посредством капиллярной пропитки. М., 2004. 107 с.
8. ГОСТ Р 532925–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М., 2009. 20 с.
9. Балакин В. М. и др. Сравнительная оценка огнезащитных свойств фосфорсодержащих антипиренов на основе продуктов аминлиза полиэтилентерефталата // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 4. С. 29–32.



10. Патент № 2657831 Российская Федерация, МПК G01N 25/22 (2006.01). Способ оценки горючих свойств веществ: № 2017117835: заявл. 22.05.2017: опубл. 15.06.18 / Косарева М. А., Добрынина Н. Ю., Гайнулина Е. В. и др. 9 с.

11. ГОСТ 1820–2001. Спички. Технические условия. М., 2002. 7 с.

#### References

1. Lejnovich A. A., Sheloumov A. V. Oгнеzashchitnaia effektivnost fosforazotosoderzhashchikh antipirenov v zavisimosti ot khimicheskoi prirody azotsoderzhashchego komponenta // Khim. prom-st. 2003. T. 80, № 2. S. 8–12.

2. Balakin V. M., Polishchuk E. Iu. Azotfosforsoderzhashchie antipireny dlia drevesiny I drevesnykh kompozitsionnykh materialov (Literaturnyi obzor) // Pozharovzryvobezопасnost. 2008. T. 17, № 2. S. 43–51.

3. Patent № 2469843 Rossiiskaia Federatsiia, МПК B27K 3/52 (2006.01), C09D 5/14 (2006.01), C09K 21/04 (2006.01) B27K 3/20 (2006.01). Oгнеzashchitnyi sjstav dlia obrabotki drevesiny: № 2011101296/13: zaiavl. 13.01.2011: opubl. 20.12.2012 / Salekh A. I. 6 s.

4. Patent № 2538256 Rossiiskaia Federatsiia, МПК B27K 3/52 (2006.01), C09K 21/02 (2006.01). Kompozitsiia dlia ognebiozashchitnoi prohitki drevesiny: № 2012129756/05: zaiavl. 16.07.2012: opubl. 27.01.2014 / Lukianenko N. A., Lukianenko K. N., Verenkova E. M.; zaiavitel ООО «POLIFAN-L». 7 s.

5. Aseeva R. M. i dr. Effectivnost I mekhanizm deistviia dvukh ognezashchitnykh system dlia drevesiny // Pozharovzryvobezопасnost. 2007. T. 16, № 5. S. 23–30.

6. Afanasev S. V., Korotkov R. V. Azotfosforsoderzhashchie antipireny propityvaiushchego deistviia dlia drevesiny // Pozharovzryvobezопасnost. 2012. T. 12, № 6. S. 38–42.

7. Tychino N. A. Oгнеzashchita i biozashchita stroitelnoi drevesiny posredstvom kappiliarnoi propitki. M., 2004. 107 s.

8. GOST R 532925–2009. Oгнеzashchitnye sostavy i veshchestva dlia drevesiny I materialov na ee osnove. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniia. M., 2009. 20 s.

9. Balakin V. M. i dr. Sravnitel'naya otsenka ognezashchitnykh svoistv fosforsoderzhashchikh antipirenov na osnove prodyktov aminoliza polietilentereftalata // Pozharovzryvobezопасnost. 2013. T. 22, № 4. S. 29–32.

10. Patent № 2657831 Rossiiskaia Federatsiia, МПК G01N 25/22 (2006.01). Sposob otsenki goriuchikh svoistv veshchestv: № 2017117835: zaiavl. 22.05.2017: opubl. 15.06.18 / Kosareva M. A., Dobrynina N. Iu., Gai-nullina E. V. i dr. 9 s.

11. GOST 1820–2001. Spichki. Tekhnicheskies usloviia. M., 2002. 7 s.



УДК 614.841

ekaterinagolovina@yandex.ru

**ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ****THE PROBLEM OF STUDYING THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES  
OF INTUMESCENT FLAME RETARDANT MATERIALS**

*Головина Е. В., кандидат технических наук,  
Хабибуллина Н. В., кандидат сельскохозяйственных наук,  
Красильникова М. А., Дан В. П.,  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Golovina E., Khabibullina N., Krasilnikova M., Dan V.,  
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

В статье обозначена проблема исследования теплофизических свойств вспучивающихся огнезащитных покрытий, применяемых на объектах нефтегазовой отрасли для защиты металлических конструкций. Проведен анализ основных теплофизических свойств веществ и материалов: теплопроводность, теплоёмкость и температуропроводность. Изучены особенности анализируемых характеристик применительно к терморасширяющимся огнезащитным составам. Проведен анализ научной литературы и сделан вывод о недостаточной изученности теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности применительно к огнезащитным материалам. Приведены примеры исследований теплофизических свойств терморасширяющихся огнезащитных материалов отдельными авторами, и сделан вывод о необходимости изучения теплофизических характеристик не только самого огнезащитного покрытия, но и образующегося теплоизолирующего слоя – пенококса на этапе его формирования, полной интумесценции и начале выгорания. Выдвинуто предположение о зависимости теплофизических свойств огнезащитных материалов от природы связующего и наличия определенных компонентов в составе огнезащитного покрытия. Сделан вывод о необходимости изучения теплофизических характеристик огнезащитных вспучивающихся составов для определения их «работоспособности».

*Ключевые слова:* огнезащита, огнезащитный вспучивающийся состав, теплофизические характеристики, теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность.

The article outlines the problem of studying the thermophysical properties of intumescent flame-retardant coatings used at oil and gas industry facilities to protect metal structures. The analysis of the main thermophysical properties of substances and materials such as thermal conductivity, heat capacity and thermal conductivity is carried out. The features of the analyzed characteristics in relation to thermally expanding flame retardants are studied. The analysis of scientific literature is carried out and the conclusion is made about the insufficient knowledge of thermal conductivity, heat capacity and thermal conductivity in relation to flame retardant materials. Examples of studies of the thermophysical properties of thermally expanding flame-retardant materials by individual authors are given and the conclusion is made that it is necessary to study the thermophysical characteristics of not only the flame-retardant coating itself, but also the resulting heat-insulating layer - foam at the stage of its formation, complete intumescence and the beginning of burnout. The assumption is made about the dependence of the thermophysical properties

of flame retardant materials on the nature of the binder and the presence of certain components in the composition of the flame retardant coating. It is concluded that it is necessary to study the thermophysical characteristics of flame-retardant swelling compounds to determine their "operability".

*Keywords:* fire protection, flame retardant intumescent composition, thermophysical characteristics, thermal conductivity, heat capacity, thermal conductivity.

### Постановка проблемы

Металлические конструкции, изменяемые на объектах нефтегазовой отрасли, требуют особого внимания к защите от воздействия огня, поскольку при достижении 500 °С несущая способность металлоконструкций утрачивается. Одним из эффективных способов защиты металлических конструкций являются терморасширяющиеся огнезащитные составы, поскольку при воздействии высоких температур они увеличиваются в объеме, образуя пенококсы, который позволяет увеличить время, при котором металлическая конструкция сохраняет свои прочностные характеристики и уменьшает скорость ее нагрева.

На предприятиях нефтехимической промышленности существует вероятность развития углеводородного режима пожара, для которого свойственны резкий скачок температуры пламени (в течение 5 минут температура достигает значений 1100 °С) и аэродинамическое воздействие на поверхность защищаемой конструкции. Следовательно, защита объектов нефтегазового комплекса предъявляет повышенные требования к применяемым средствам огнезащиты. В связи с этим, исследование теплофизических характеристик и понимание теплофизических процессов, происходящих в огнезащитных материалах, в настоящее время представляется важной и актуальной задачей.

### Анализ изученности проблемы

Многие ученые в своих трудах исследовали теплофизические параметры веществ и материалов. Некоторые авторы [1] считают температуропроводность и теплопроводность наиболее значимыми теплофизическими величинами, так как именно

данные параметры характеризуют процессы теплопереноса и изменения температуры веществ и материалов.

Однако большинство исследователей [2–6] сходятся во мнении, что теплофизические свойства в первую очередь представляются в виде трех основных величин: теплопроводность, молярная или удельная теплоемкость и температуропроводность. Взаимосвязь данных параметров можно выразить следующим образом:

$$\lambda = c_p \cdot a \cdot \rho, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность;  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $a$  – температуропроводность.

В общем понимании анализируемые свойства характеризуют реакцию веществ и материалов к воздействию на них тепла. Теплопроводность и температуропроводность обладают способностью проводить тепло, теплоемкость характеризуется способностью поглощать тепло.

Теплопроводность – способность материала проводить тепло от более нагретых участков материала к менее нагретым. Данный параметр находится в зависимости от химического состава материала, температуры, плотности, влажности, пористости исследуемого вещества.

Теплоемкость – величина, которая показывает, какое количество теплоты требуется для изменения температуры материала на 1 °С. Отношение теплоемкости к определенному количеству вещества называется удельной теплоемкостью [3].

Температуропроводность представляет собой параметр, характеризующий скорость изменения температуры вещества в нестационарных тепловых процессах и

выражается отношением теплопроводности к теплоёмкости единицы объема вещества:

$$a = \lambda / \rho \cdot c_p, \text{ м}^2/\text{с} \quad (2)$$

Уравнение (1) называется дифференциальным уравнением теплопроводности. Оно устанавливает связь между временным и пространственным изменением температуры в любой точке тела, в котором происходит процесс теплопроводности.

Коэффициент температуропроводности  $a$  является физическим параметром вещества, используется при описании нестационарных тепловых процессов и характеризует скорость изменения температуры. Если коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить тепло, то коэффициент температуропроводности является мерой теплоинерционных свойств тела. Из уравнения (2) следует, что изменение температуры во времени для любой точки пространства пропорционально величине  $a$ . Иначе говоря, скорость изменения температуры в любой точке тела будет тем больше, чем больше коэффициент температуропроводности  $a$ . Поэтому, при прочих равных условиях, выравнивание температур во всех точках пространства будет происходить быстрее в том теле, которое характеризуется большим коэффициентом температуропроводности. Величина коэффициента температуропроводности зависит от природы вещества. Например, жидкости и газы обладают большой тепловой инерционностью и, следовательно, малым коэффициентом температуропроводности. Металлы обладают малой тепловой инерционностью, так как они имеют большой коэффициент температуропроводности.

Так как дифференциальное уравнение теплопроводности (1) выведено на основе общих законов физики, то оно описывает явление переноса тепловой энергии в самом общем виде. Поэтому можно сказать, что полученное дифференциальное

уравнение описывает целый класс явлений теплопереноса. Чтобы из бесчисленного количества этих явлений выделить рассматриваемый процесс и дать его полное математическое описание, к дифференциальному уравнению необходимо присоединить математическое описание всех частных особенностей рассматриваемого процесса. Эти частные особенности, которые совместно с дифференциальным уравнением дают полное математическое описание конкретного процесса теплопереноса, называются условиями однозначности [4; 5].

Условия однозначности включают в себя: геометрические условия, характеризующие форму и размеры тела, в котором протекает процесс; физические условия, характеризующие физические свойства среды и тела; временные и начальные условия, характеризующие распределение температур в изучаемом теле в начальный момент времени; граничные условия, характеризующие взаимодействие рассматриваемого тела с окружающей средой.

Изучению теплоемкости, температуропроводности и теплопроводности веществ и материалов посвящено множество исследований, однако стоит отметить, что в основном анализируются строительные материалы [7–9], в то время как изучению огнезащитных материалов уделяется гораздо меньше внимания.

Так, в работе [10] приводится анализ процессов теплопереноса и теплофизических свойств терморасширяющихся огнезащитных материалов. В статье [11] описывается модель математического моделирования нагревания и термического разложения огнезащитных покрытий с дальнейшим проведением экспериментальных испытаний. В работе [12] при помощи компьютерного моделирования авторами предлагается математическая модель теплопереноса в интумесцентных огнезащитных материалах.

Как можно заметить, некоторые исследователи предпринимают попытки с

помощью математических методов построить прогнозы изменения теплофизических свойств огнезащитных покрытий при воздействии огня. Действительно, приведенные в научных работах [13–16] полученные с помощью математического моделирования расчетные значения имеют вполне убедительную схожесть с экспериментальными данными.

В то же время основное внимание исследователей обращено на изучение теплофизических характеристик самого вспучивающегося покрытия, в то время как представляет научный и практический интерес изучение теплопроводности пенококсового слоя на разных его стадиях: в начале процесса интумесценции, в стадии полного его образования и в стадии разрушения (выгорания).

Наиболее глубоко теплофизические свойства рассмотрены в статье [17], где автором предпринята попытка установить взаимосвязь между разными параметрами огнезащитного материала, например, такими как теплопроводность состава до вспучивания, толщина подложки, объемная кратность вспучивания и др.

Для исследования теплопроводности составов вспучивающегося типа важно учитывать природу связующего и набор компонентов, входящих в формулу огнезащитного материала. Можно сделать предположение, что покрытия разной химической природы (на водной основе, акриловой основе, на основе эпоксидных смол, на основе каучука), а также в своем составе имеющие разные модифицирующие добавки (углеродсодержащие, минеральные) будут иметь разные физико-химические свойства.

Как известно, наибольшей теплопроводностью обладают материалы, которым присущи высокая плотность. С увеличением пористости теплопроводность падает, т. е. материалы с большим количеством пор обладают низкой теплопроводностью. В обычных условиях поры заполнены воздухом, теплопроводность которого очень мала. Данный этап характерен

для периода формирования пенококсов в интервале температур 250–600 °С [18]. Однако при дальнейшем воздействии пламени термоизолирующий слой начинает разрушаться, и, следовательно, наблюдается снижение теплофизических свойств вспучивающихся покрытий. Перед исследователями стоит задача изучения теплофизических характеристик огнезащитных составов интумесцентного типа разной химической природы и различного компонентного состава для определения «работоспособности» анализируемых материалов.

#### **Выводы:**

1) изучение закономерностей протекания процессов теплопроводности в огнезащитных вспучивающихся составах является актуальной задачей, стоящей перед исследователями;

2) несмотря на наличие научных трудов, включающих изучение теплопроводности, температуропроводности и теплоемкости веществ и материалов, необходимо отметить относительно небольшое количество научных публикаций, содержащих исследование теплофизических характеристик огнезащитных терморасширяющихся составов;

3) при исследовании вспучивающихся огнезащитных материалов следует обратить внимание на изучение теплопроводности пенококсового слоя на разных его стадиях: в начале процесса интумесценции, в стадии полного его образования и в стадии разрушения (выгорания);

4) значительное влияние на теплофизические свойства анализируемых огнезащитных составов оказывают их связующее и отдельные компоненты (модифицирующие добавки);

5) теплофизические характеристики материала необходимы для оценки огнезащитной способности огнезащитного вспучивающегося покрытия. Таким образом, анализ теплофизических характеристик пенококсового слоя при воздействии высо-

ких температур дает исследователям ценную информацию для оценки «работоспособности» самого покрытия.

#### Литература

1. Цвиркун С. В., Круковский П. Г. Идентификация теплофизических характеристик огнезащитных материалов по экспериментальным данным огневых испытаний // Промышленная теплотехника. 2004. Т. 26, № 6. С. 89–93.
2. Асеева З. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. М., 1981. 241 с.
3. Волков Д. П., Кулиева Л. А., Успенская М. В., Токарев А. В. Исследование теплопроводности полимерных композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52, № 1. С. 75–77.
4. Михайлин Ю. А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб., 2011. 416 с.
5. Магарил Р. З. Механизм и кинетика гомогенных термических превращений углеводородов. М., 1970. 224 с.
6. Дробыш А. С., Кудряшов В. А. Результаты исследований горючести и теплостойкости композиционных материалов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. № 1. С. 193–195.
7. Элефтериади К. Ю. Теплопроводность строительных материалов // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. 2016. № 6–2 (87). С. 164–167.
8. Назиров Р. А., Новиков Н. С., Жжонных А. М. Исследование влияния низкого вакуума на теплопроводность различных строительных материалов // Science Time. 2016. № 1 (25). С. 349–356.
9. Карпов Д. Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2019. № 7. С. 57–62.
10. Зверев В. Г., Гольдин В. Д., Несмелов В. В., Цимбалюк А. Ф. Моделирование тепло- и массопереноса во вспучивающихся огнезащитных покрытиях // Физика горения и взрыва. 1998. Т. 34, № 2. С. 90–98.
11. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Математическое моделирование работы огнезащиты, содержащей в своем составе воду // Пожаровзрывобезопасность. 1997. Т. 6, № 3. С. 21–30.
12. Исаков Г. Н., Кузин А. Я., Перевалов А. В. Применение компьютерного моделирования при оценке огнезащитной эффективности покрытий // Докл. 2 Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». Санкт-Петербург, 20–22 мая 1997. – СПб., 1997. – 98 с.
13. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П. Математическое моделирование работы и определение комплекса характеристик вспучивающейся огнезащиты // Пожаровзрывобезопасность. 1997. № 3. С. 21–30.
14. Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю. Расчет прогрева стальных конструкций с огнезащитными вспучивающимися покрытиями путем использования эффективных значений коэффициента теплопроводности // Пожары и окружающая среда: мат. XVII междунар. науч.-практ. конф. М., 2002. С. 223–226.
15. Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Попов Е. Б. Апробация методики расчета нагрева стальных конструкций с огнезащитным вспучивающимся покрытием с использованием эффективного коэффициента теплопроводности // Пожары и окружающая среда: мат. XVII междунар. науч.-практ. конф. М., 2002. С. 226–228.
16. Гаращенко А. Н., Страхов В. Л., Устрехов А. И. Результаты исследований и расчетов толщин вспучивающегося огнезащитного покрытия «ПРОТЕРМ СТИЛ» // Пожары и окружающая среда: мат. XVII междунар. науч.-практ. конф. М., 2002. С. 253–255.
17. Еремина Т. Ю. Моделирование и оценка огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных составов // Пожаровзрывобезопасность. 2003. № 5. С. 22–29.
18. Головина Е. В., Беззапонная О. В., Акулов А. Ю. Методика оценки термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазовой отрасли. Екатеринбург, 2020. 173 с.

#### References

1. Cvirkun S. V., Krukovskij P. G. Identifikaciya teplofizicheskikh harakteristik ognezashchitnykh materialov po eksperimental'nym dannym ognevykh ispytaniy // Promyshlennaya teplotekhnika. 2004. T. 26, № 6. S. 89–93.
2. Aseeva Z. M., Zaikov G. E. Gorenie polimernykh materialov. M., 1981. 241 s.
3. Volkov D. P., Kulieva L. A., Uspenskaya M. V., Tokarev A. V. Issledovanie teploprovodnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Priborostroenie. 2009. T. 52, № 1. S. 75–77.
4. Mihajlin Yu. A. Teplo-, termo- i ognestojkost' polimernykh materialov. SPb., 2011. 416 s.
5. Magaril R. Z. Mekhanizm i kinetika gomogennykh termicheskikh prevrashchenij uglevodородov. M., 1970. 224 s.
6. Drobyshev A. S., Kudryashov V. A. Rezul'taty issledovanij goryuchesti i teplostojkosti kompozitnykh materialov // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij. 2014. № 1. S. 193–195.



7. Elefteriadi K. Yu. Teploprovodnost' stroitel'nyh materialov // Novaya nauka: Teoreticheskij i prakticheskij vzglyad. 2016. № 6–2 (87). S. 164–167.
8. Nazirov R. A., Novikov N. S., ZHzhonyh A. M. Issledovanie vliyaniya nizkogo vakuuma na teploprovodnost' razlichnyh stroitel'nyh materialov // Science Time. 2016. № 1 (25). S. 349–356.
9. Karpov D. F. Aktivnyj metod teplovogo kontrolya teploprovodnosti stroitel'nyh materialov i izdelij // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. SHuhova. 2019. № 7. S. 57–62.
10. Zverev V. G., Gol'din V. D., Nesselov V. V., Cimbalyuk A. F. Modelirovanie teplo- i massoperenosa vo vspuchivayushchihsya ogneshchitnyh pokrytyah // Fizika gorenija i vzryva. 1998. T. 34, № 2. S. 90–98.
11. Strahov V. L., Garashchenko A. N., Rudzinskij V. P. Matematicheskoe modelirovanie raboty ogneshchity, sodержashchej v svoem sostave vodu // Pozharovzryvobezopasnost'. 1997. T. 6, № 3. S. 21–30.
12. Isakov G. N., Kuzin A. Ya., Perevalov A.V. Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya pri ocenke ogneshchitnoj effektivnosti pokrytij // Dokl. 2 Vseross. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. «Novoe v ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti». Sankt-Peterburg, 20–22 maya 1997. – SPb., 1997. – 98 s.
13. Strahov V. L., Garashchenko A. N., Rudzinskij V. P. Matematicheskoe modelirovanie raboty i opredelenie kompleksa harakteristik vspuchivayushchejsya ogneshchity // Pozharovzryvobezopasnost'. 1997. № 3. S. 21–30.
14. Golikov A. D., CHerkasov E. Yu. Raschet progrena stal'nyh konstrukcij s ogneshchitnymi vspuchivayushchimsya pokrytyami putem ispol'zovaniya effektivnyh znachenij koefficienta teploprovodnosti // Pozhary i okruzhayushchaya sreda: mat. XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M., 2002. S. 223–226.
15. Golikov A. D., CHerkasov E. Yu., Popov E. B. Aprobaciya metodiki rascheta nagreva stal'nyh konstrukcij s ogneshchitnym vspuchivayushchimsya pokrytiem s ispol'zovaniem effektivnogo koefficienta teploprovodnosti // Pozhary i okruzhayushchaya sreda: mat. XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M., 2002. S. 226–228.
16. Garashchenko A. N., Strahov V. L., Ustrekhov A. I. Rezul'taty issledovanij i raschetov tolshchin vspuchivayushchegosya ogneshchitnogo pokrytiya «PROTERM STIL» // Pozhary i okruzhayushchaya sreda: materialy XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M., 2002. S. 253–255.
17. Eremina T. Yu. Modelirovanie i ocenka ogneshchitnoj effektivnosti vspuchivayushchihsya ogneshchitnyh sostavov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2003. № 5. S. 22–29.
18. Golovina E. V., Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu. Metodika ocenki termostojkosti ogneshchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovoj otrasli. Ekaterinburg, 2020. 173 s.



УДК 614.84

otdel\_1\_3@mail.ru

**ИЗУЧЕНИЕ РИСКОВ ПЕРЕРАСТАНИЯ ПОЖАРОВ В КРУПНЫЕ  
И ОПАСНОСТЕЙ ДЛЯ ЛЮДЕЙ В СТРУКТУРЕ ПРИЧИН  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ**

**STUDY OF THE RISKS OF FIRES DEVELOPING  
INTO LARGE ONES AND THE DANGERS TO PEOPLE  
IN THE STRUCTURE OF THE CAUSES OF LARGE FIRES**

*Маштаков В. А.,  
Шавырина Т. А., кандидат технических наук,  
Кондашов А. А., кандидат физико-математических наук,  
Бобринев Е. В., кандидат биологических наук,  
Удавцова Е. Ю., кандидат технических наук,  
Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны МЧС России, Балашиха*

*Mashtakov V., Shavyrina T., Kondashov A., Bobrinev E., Udavtsova E.,  
All-Russian Research Institute for Fire Protection  
of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Статья посвящена анализу рисков перерастания пожаров в крупные и опасностей для людей в структуре причин возникновения крупных пожаров. Для работы использована аналитическая статистика информации из электронных баз данных учета пожаров и их последствий. Изучено распределение крупных пожаров в Российской Федерации за 2019 – 2021 гг. по причинам возникновения. Проанализированы опасности для людей в структуре причин возникновения пожара. Наибольшую опасность перерастания пожаров в крупные представляют взрывы и неисправности производственного оборудования или нарушения технологического процесса производства. Наиболее опасными для людей являются крупные пожары, причинами которых были: нарушение правил устройства и эксплуатации (НПУиЭ) печей, НПУиЭ транспортных средств, взрывы, НПУиЭ газового оборудования. Необходимо разрабатывать новые формы организации и осуществления государственного и муниципального контроля, учитывающие высокие риски пожарной опасности объектов защиты выделенных категорий: печи, транспортные средства, газовое оборудование, а также активно использовать технические средства на производстве (пожарная сигнализация и автоматика).

*Ключевые слова:* крупные пожары, причины возникновения крупных пожаров, риск, гибель, спасенные.

The article is devoted to the analysis of the risks of fires developing into large ones and the dangers to people in the structure of the causes of large fires. Analytical statistics of information from electronic databases of accounting for fires and their consequences were used for the work. The hazards to people in the structure of the causes of fire are analyzed. The distribution of large fires in the Russian Federation for 2019-2021 by causes of occurrence has been studied. The greatest danger of fires developing into large ones is explosions and malfunctions of production equipment or violations of the technological process of production. The most dangerous for people are large fires, the causes of which were: violation of the rules of the device and operation of furnaces, violation of the rules

of the device and operation of vehicles, explosions, violation of the rules of the device and operation of gas equipment. It is necessary to develop new forms of organization and implementation of state and municipal control, taking into account the high risks of fire danger of objects of protection of the selected categories: furnaces, vehicles, gas equipment, as well as actively use technical means in production (fire alarm and automation).

*Keywords:* major fires, causes of major fires, risk, death, rescued.

Крупных пожаров в Российской Федерации происходит по данным [1] около 0,01 % от общего количества всех пожаров в 2019–2021 гг. Однако материальный ущерб от них составил в среднем за обсуждаемый период около 45 % от общего ущерба всех пожаров. При этом в работе [1] учитываются только два критерия отнесения пожаров к крупным – по размеру материального ущерба и групповой гибели людей более пяти человек на пожаре.

По мнению многих исследователей [2–6] этих показателей явно недостаточно, предлагается кроме вышеназванных использовать ряд дополнительных показателей: «травмирование 10 и более человек», «время занятости на пожаре», «количество привлекаемой пожарной техники», «количество стволов, подаваемых на тушение», «факт создания штаба пожаротушения» и ряд других показателей.

В настоящей работе изучены риски перерастания пожаров в крупные и опасно-

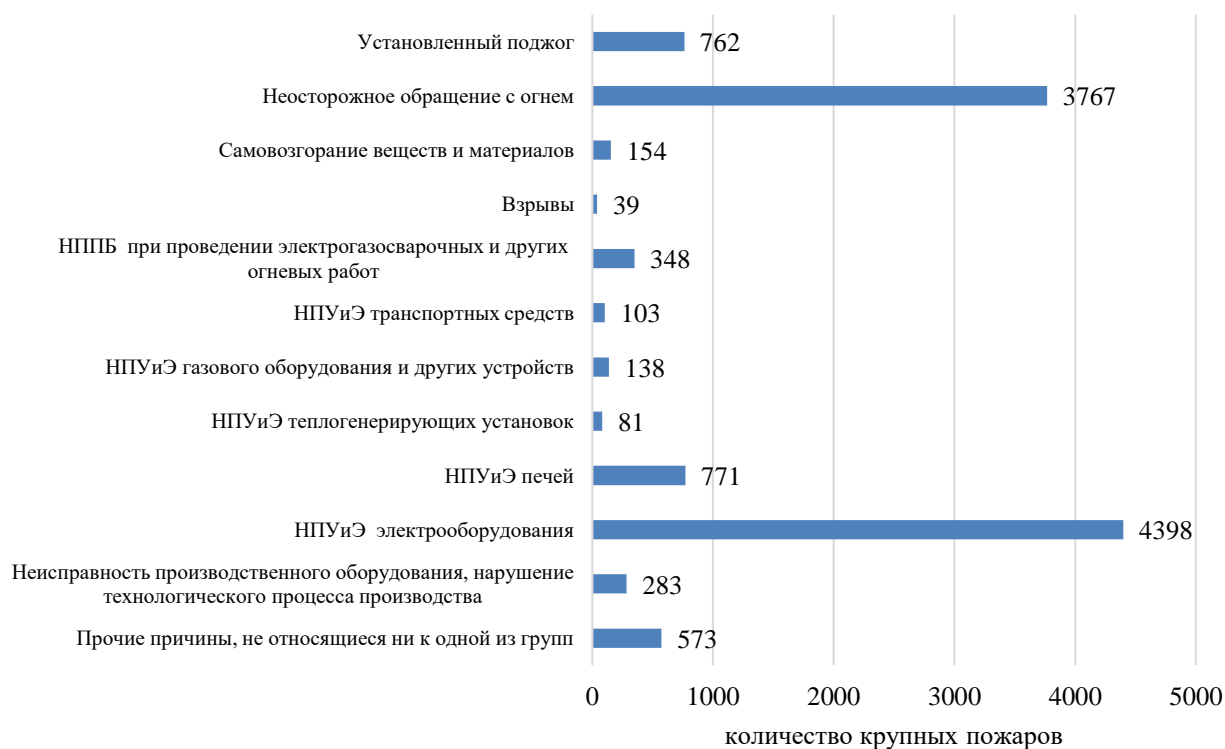
сти для людей в структуре причин возникновения крупных пожаров на основе статистической информации за 2019 – 2021 гг. [7].

К крупным пожарам отнесены следующие:

- 1) ущерб 3420 МРОТ (минимальный размер оплаты труда) и более;
- 2) групповая гибель пяти и более человек;
- 3) травмирование 10 и более человек;
- 4) количество привлекаемой пожарной техники более 10 единиц;
- 5) факт создания штаба пожаротушения.

По приведенным выше критериям отобрано 11453 пожара за 2019–2021 гг., что составило 0,88 % от общего количества пожаров.

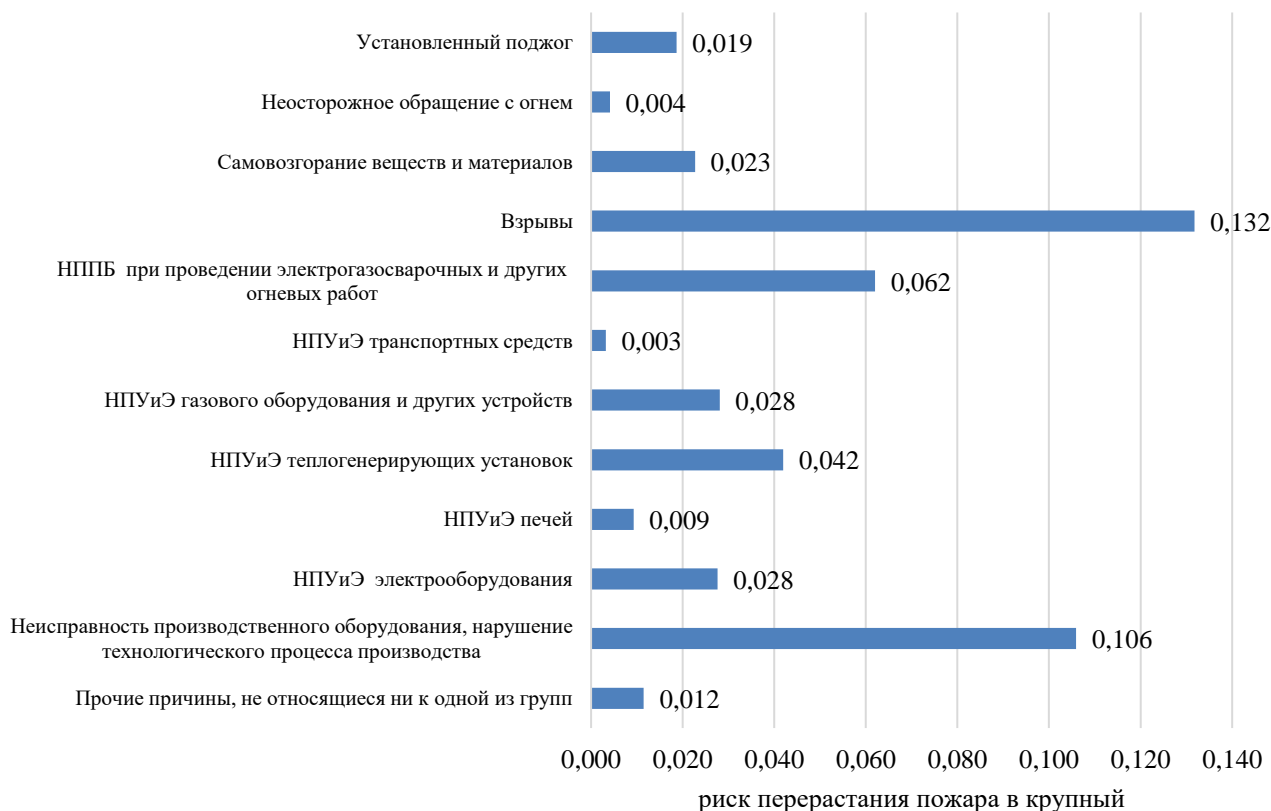
На рис. 1 приведено распределение крупных пожаров по причинам их возникновения.



*Рисунок 1. Распределение крупных пожаров в Российской Федерации за 2019–2021 гг. по причинам возникновения*

На всех рисунках использованы следующие сокращения: НПУиЭ – нарушение правил устройства и эксплуатации; НППБ – нарушение правил пожарной безопасности. Наибольшее количество крупных пожаров произошло по причинам: неосторожное обращение с огнем и НПУиЭ электрооборудования (71 % от общего количества крупных пожаров).

На рис. 2 приведены оценки рисков перерастания пожаров в крупные в структуре причин возникновения пожаров. Расчет рисков проводили по доле крупных пожаров от общего количества пожаров для каждой из выделенных причин возникновения пожаров.



*Рисунок 2. Распределение рисков перерастания пожаров в крупные по причинам возникновения*

Наибольшую опасность перерастания пожаров в крупные представляют взрывы. Возникающие по этой причине пожары в 13,2 % перерастают в крупные. В 10,6 % перерастают в крупные пожары, возникшие по причине неисправности производственного оборудования или нарушения технологического процесса производ-

ства. Реже остальных перерастают в крупные пожары, возникшие по причинам: НПУиЭ транспортных средств (0,3 %) и неосторожного обращения с огнем (0,4 %).

На рис. 3 приведено распределение среднего количества погибших людей в расчете на один пожар по причинам возникновения крупных пожаров.

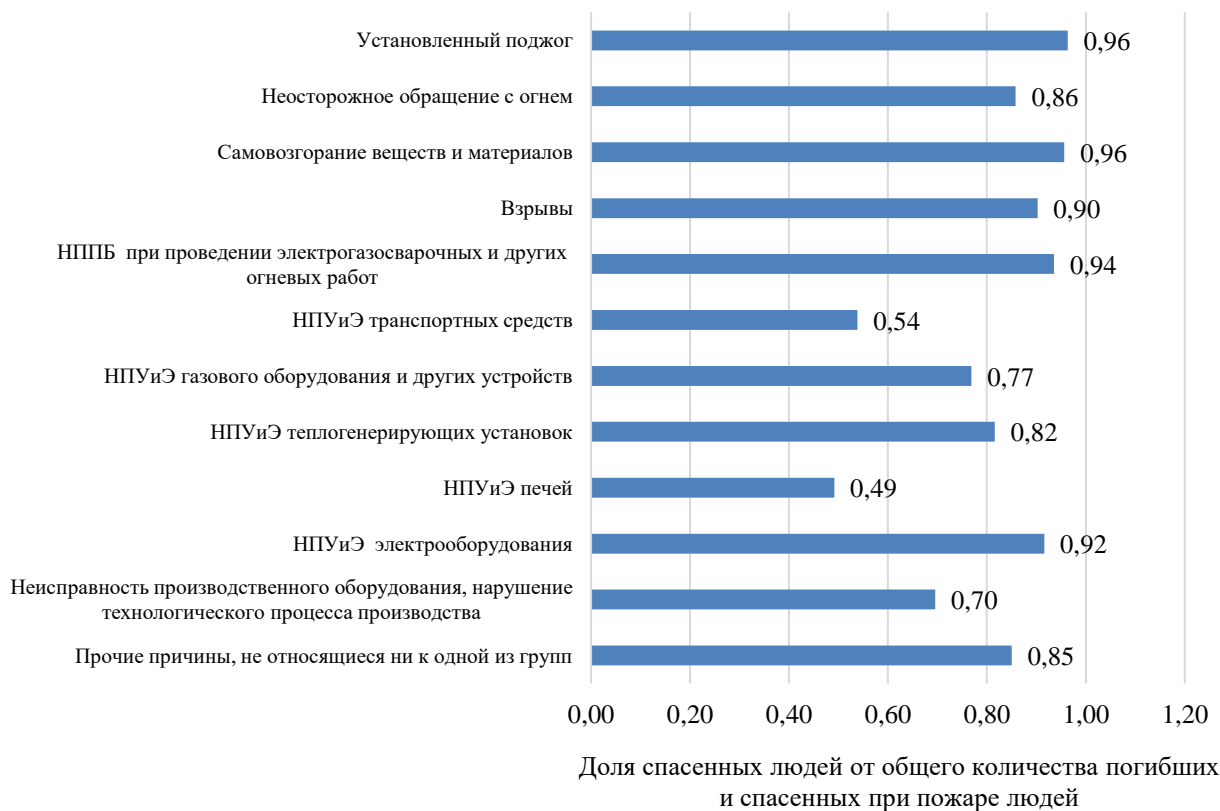


*Рисунок 3. Распределение среднего количества погибших людей в расчете на один пожар по причинам возникновения крупных пожаров*

Наибольшую опасность для людей представляют крупные пожары, возникающие по причине взрыва, в среднем на 100 пожаров в них погибает 67 человек. При возникновении пожара по причине НПУиЭ газового оборудования в среднем на 100 пожаров погибает 35 человек. Наименьшую опасность для людей представляет самовозгорание веществ и материалов. При перерастании таких пожаров в крупные погибает в среднем один человек на 100 пожаров. Для оценки сте-

пени опасности пожаров для людей используются такие синтетические показатели, как «доля спасенных при пожарах людей от общего количества погибших и спасенных людей» [8] и «доля травмированных при пожарах людей от общего количества травмированных и погибших людей при пожарах» [9–10].

На рис. 4 приведено распределение доли спасенных при пожарах людей от общего количества погибших и спасенных людей по причинам возникновения крупных пожаров.



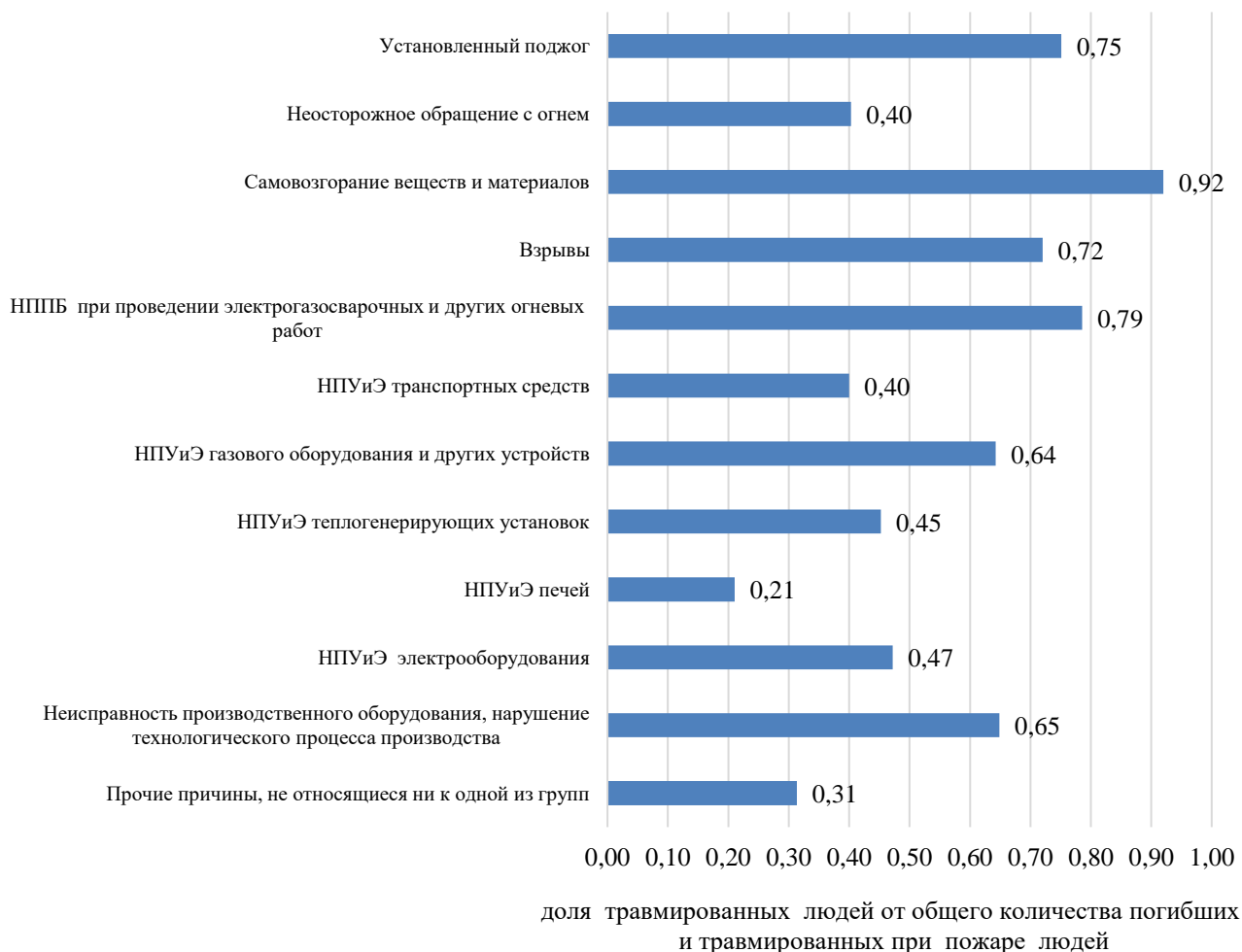
*Рисунок 4. Распределение доли спасенных при пожарах людей от общего количества погибших и спасенных людей по причинам возникновения крупных пожаров*

Данный показатель оценивает эффективность деятельности подразделений пожарной охраны по спасению людей и характеризует величину факторов пожарной опасности по каждой их проанализированных причин. Как видно из данных рисунка больше всего вероятность спастись из зоны воздействия опасных факторов пожара в случаях самовозгорания веществ и материалов и поджогах. Наиболее опасны пожары, возникающие по причине НПУиЭ

печей (только 49 % людей, попавших в зону воздействия опасных факторов пожара, удается спасти подразделениями пожарной охраны) и НПУиЭ транспортных средств (спасают 54 % людей).

На рис. 5 приведено распределение доли травмированных при пожарах людей от общего количества травмированных и погибших людей по причинам возникновения крупных пожаров.





*Рисунок 5. Распределение доли травмированных при пожарах людей от общего количества травмированных и погибших людей при пожарах по причинам возникновения крупных пожаров*

Обсуждаемый показатель оценивает вероятность выживания людей, попавших под воздействие опасных факторов пожара, приводящих к травме или гибели человека, и характеризует величину факторов пожарной опасности по каждой их проанализированных причин.

Подтверждается предыдущий вывод о наибольшей опасности пожаров, возникающих по причине НПУиЭ печей (только 21 % людей, попавших в зону воздействия пожара, выживают после получения повреждения здоровья от опасных факторов пожара). Наименее опасны пожары в случаях самовозгорания веществ и материалов (92 % людей, попавших в зону воздействия пожара, выживают после получения

повреждения здоровья от опасных факторов пожара).

Изучено распределение крупных пожаров в Российской Федерации за 2019–2021 гг. по причинам возникновения. Проанализированы риски перерастания пожаров в крупные, а также опасности для людей в структуре причин возникновения пожара. Наиболее опасными для людей являются крупные пожары, причинами которых были: НПУиЭ печей, НПУиЭ транспортных средств, взрывы, НПУиЭ газового оборудования. Наибольшую опасность перерастания пожаров в крупные представляют взрывы и неисправности производственного оборудования или нарушения технологического процесса производства.

Необходимо разрабатывать новые формы организации и осуществления государственного и муниципального контроля, учитывающие высокие риски пожарной опасности объектов защиты выделенных

категорий: печи, транспортные средства, газовое оборудование – а также активно использовать технические средства на производстве (пожарная сигнализация и автоматика).

#### Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 г.: стат. сб. Балашиха, 2022. 114 с.
2. Порошин А. А., Власов К. С. Понятие «крупный пожар» и критерии его определения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 3 (22). С. 37–44.
3. Власов К. С., Данилов М. М., Денисов А. Н. Крупные пожары – критерии отбора // Пожарная безопасность. 2020. № 3 (100). С. 65–72.
4. Брушлинский Н. Н., Клепко Е. А., Соколов С. В. Риски крупных пожаров: динамика и прогнозирование // Пожаровзрывобезопасность. 2005. Т. 14, № 4. С. 76–83.
5. Власов К. С., Порошин А. А. Метод определения параметров крупных пожаров на основе технологий bigdata // Пожарная безопасность. 2022. № 2 (107). С. 46–54.
6. Петухов А. Н., Колпакова И. М. Характерные признаки крупного пожара // Тезисы докладов XXX Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности». 2018. С. 405–407.
7. Приказ МЧС России от 24.12.2018 № 625 «О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий». URL: <http://docs.cntd.ru/document/552366056> (дата обращения: 15.06.2022).
8. Порошин А. А. и др. Научно-методические подходы к оценке эффективности спасения людей на пожарах пожарно-спасательными подразделениями // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (31). С. 18–24.
9. Харин В. В. и др. Оценка уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) с учетом класса функциональной пожарной опасности за 2017–2020 гг. // Безопасность техногенных и природных систем. 2022. № 2. С. 43–48.
10. Зимонин А. А., Фирсов А. В., Бутенко В. М. Травмирование людей на пожарах // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 5 (57).

#### References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 g.: stat. sb. Balashiha, 2022. 114 s.
2. Poroshin A. A., Vlasov K. S. Ponyatie "krupnyj pozhar" i kriterii ego opredeleniya // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 3 (22). S. 37–44.
3. Vlasov K. S., Danilov M. M., Denisov A. N. Krupnye pozhary kriterii otbora // Pozharnaya bezopasnost'. 2020. № 3 (100). S. 65–72.
4. Brushlinskij N. N., Klepko E. A., Sokolov S. V. Riski krupnyh pozharov: dinamika i prognozirovanie // Pozharovzryvobezopasnost'. 2005. T. 14, № 4. S. 76–83.
5. Vlasov K. S., Poroshin A. A. Metod opredeleniya parametrov krupnyh pozharov na osnove tekhnologij bigdata // Pozharnaya bezopasnost'. 2022. № 2 (107). S. 46–54.
6. Petuhov A. N., Kolpakova I. M. Harakternye priznaki krupnogo pozhara // Tezisy dokladov XXX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti». 2018. S. 405–407.
7. Prikaz MCHS Rossii ot 24.12.2018 № 625 «O formirovanii elektronnyh baz dannyh ucheta pozharov i ih posledstvij». URL: <http://docs.cntd.ru/document/552366056> (data obrashcheniya: 15.06.2022).
8. Poroshin A. A. i dr. Nauchno-metodicheskie podhody k ocenke effektivnosti spaseniya lyudej na pozharah pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. 2019. № 2 (31). S. 18–24.
9. Harin V. V. i dr. Ocenka urovnya pozharnoj opasnosti ekspluatiruemyh zdaniy (sooruzhenij) s uchedom klassa funkcional'noj pozharnoj opasnosti za 2017–2020 gg. // Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh sistem. 2022. № 2. S. 43–48.
10. Zimonin A. A., Firsov A. V., Butenko V. M. Travmirovaniye lyudej na pozharah // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2014. № 5 (57).

УДК 614.84:004.4

galina\_surina@mail.ru

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ИСПЫТАНИЯХ  
СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ****INFORMATION SYSTEMS IN TEST PROCESSES  
FIRE ALARMS**

*Сурина Г. П.,  
Порошин А. А., кандидат технических наук,  
Васильева Л. В., Сурков С. А.,  
Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский  
институт противопожарной обороны МЧС России, Балашиха*

*Surina G., Poroshin A., Vasilyeva L., Surkov A.  
All-Russian Research Institute for Fire Protection  
of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Статья посвящена вопросам разработки информационных систем, предназначенных для автоматизации процессов обработки массивов данных по протоколам испытаний средств пожарной сигнализации, а также тактико-техническим данным по средствам измерений и испытательным стендам, применяемым при проведении сертификационных испытаний. Информационные системы, представленные в виде реляционных баз данных, предназначены для ввода, хранения и анализа протоколов с результатами сертификационных испытаний пожарных извещателей и параметров средств измерений и испытательных стендов, применяемых при данных испытаниях. На примере информационной системы по пожарным извещателям приводится описание функционирования основных модулей, а также таблиц ввода и вывода информации. При разработке информационных систем применены методы теории построения алгоритмов и создания компьютерных программ высокого уровня. В качестве системы управления использована реляционная база данных Microsoft Access.

*Ключевые слова:* информационные системы, базы данных, пожарная сигнализация, сертификационные испытания, средства измерений, испытательные стенды, электронный журнал.

The article is devoted to the development of information systems designed to automate the processing of data arrays according to the test reports of fire alarms, as well as performance data on measuring instruments and test benches used in certification tests. Information systems presented in the form of relational databases are designed to enter, store and analyze protocols with the results of certification tests of fire detectors and the parameters of measuring instruments and test stands used in these tests. On the example of an information system for fire detectors, a description of the functioning of the main modules, as well as tables for input and output of information, is given. When developing information systems, methods of the theory of constructing algorithms and creating high-level computer programs were applied. The relational database Microsoft Access was used as a control system.

*Keywords:* information systems, databases, fire alarms, certification tests, measuring instruments, test benches, electronic journal.

Интенсивное развитие цифровых технологий и повсеместное внедрение информационных систем в различных сферах экономики и государственного управления определяет тренды развития современного общества. В целях реализации Указов Президента Российской Федерации [1; 2], для решения задач по внедрению цифровых технологий сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [3]. В рамках данной программы осуществляются мероприятия по федеральным проектам, в том числе: «Цифровые технологии»; «Искусственный интеллект»; «Цифровые услуги и сервисы онлайн» и др.

Для реализации федерального проекта «Цифровые технологии» выделяют ряд направлений, среди которых создание информационных систем автоматизированного сбора, хранения и обработки информации является одним из важных и ключевых направлений цифровой трансформации общества. Основным элементом, определяющим ядро управления информационной системы, являются базы данных, отражающие информационную среду в рассматриваемой предметной области. В настоящее время разработаны теоретические и методологические подходы к построению архитектур управления информационными системами на основе реляционных баз данных [4;5], на основе которых созданы прикладные программные продукты, применяемые в спортивной деятельности [6], медицине [7], биологии [8], организации транспортных перевозок [9] и др. Имеются определенные заделы по разработке информационных систем в области пожарной безопасности [10].

В развитие положений [10], на основе применения системы управления реляционной базой данных Microsoft Access [11], разработаны автоматизированные системы по ведению электронной базы данных протоколов испытаний пожарных извещателей на соответствие их параметров нормативным требованиям, а также электронной базы данных средств измерений и

испытательных стендов для проведения сертификационных испытаний изделий пожарной сигнализации.

Нормативные требования по сертификационным испытаниям средств пожарной автоматики, в том числе пожарной сигнализации, определены стандартом [12]. В рамках сертификационных испытаний по каждому изделию пожарной автоматики формируется протокол с результатами тестируемых параметров изделий на соответствие норм, изложенных в [12]. Значительные объемы обрабатываемой информации (более 30 измеряемых параметров на одно изделие) затрудняют осуществлять поиск и анализ протоколов по испытаниям средств пожарной автоматики, особенно за длительный промежуток времени. В этой связи создание электронной базы данных, предназначенной для ввода, хранения и обработки электронных протоколов с результатами испытаний, будет способствовать повышению эффективности организации системы сертификации. Такая база данных позволяет формировать и вести на средствах вычислительной техники электронные журналы с результатами испытаний, а также получение, в оперативном режиме, необходимой информации по выбранному виду изделия или атрибутам протокола испытаний.

В целях создания информационных систем хранения и обработки информации по изделиям пожарной сигнализации разработаны электронная база данных по проведению тестирования параметров извещателей пожарных (далее – БД «Эксперимент ИП 2021») и по учету испытаний средств пожарной сигнализации (далее – БД «УИСПС 2021»).

Для работы с БД «Эксперимент ИП 2021» формализованы требования к протоколам испытаний пожарных извещателей и разработаны соответствующие формы ввода и вывода обрабатываемых данных. Реализованы функции просмотра и печати протоколов. Создана библиотека таблиц со справочной информацией по типам пожарных извещателей. Обработка событий

на формах осуществляется процедурами языка Visual Basic for Applications [11]. Отчетные формы с результатами испытаний пожарных извещателей выводятся на выбранное печатающее устройство либо в файл формата PDF.

Основные положения по работе с БД «Эксперимент ИП 2021» следующие. Схема исходных данных в БД «Эксперимент ИП 2021» приведена на рис. 1. По данной схеме определяется код пожарного извещателя, код вида испытаний, наименование самого испытания, код и дата эксперимента, номер и дата приказа об испытаниях и др. Для каждого вида пожарного из-

вещателя разработаны справочники, в которых содержится информация об изделии и его тактико-технических характеристиках. Основные формы входной информации приведены на рис. 2–3. Форма, приведенная на рис. 2, определяет режимы работы по выбранному виду пожарного извещателя, по которому осуществляется обработка протоколов испытаний. На рис. 3 приведена форма, отражающая параметры протокола испытаний (номер, дата, начало и окончание и др.) и соответствующие цифровые данные, полученные в ходе испытаний, по выбранному виду пожарного извещателя.

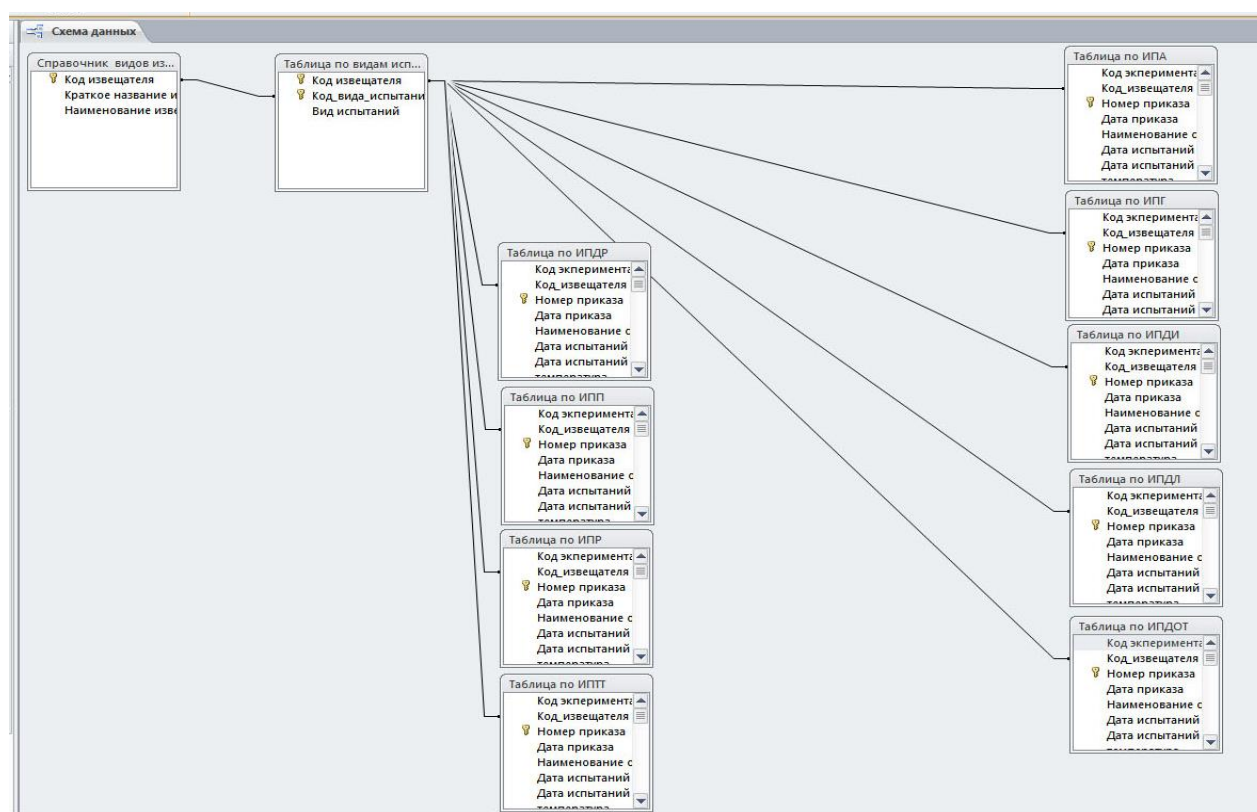


Рисунок 1. Схема исходных данных в БД «Эксперимент ИП 2021»



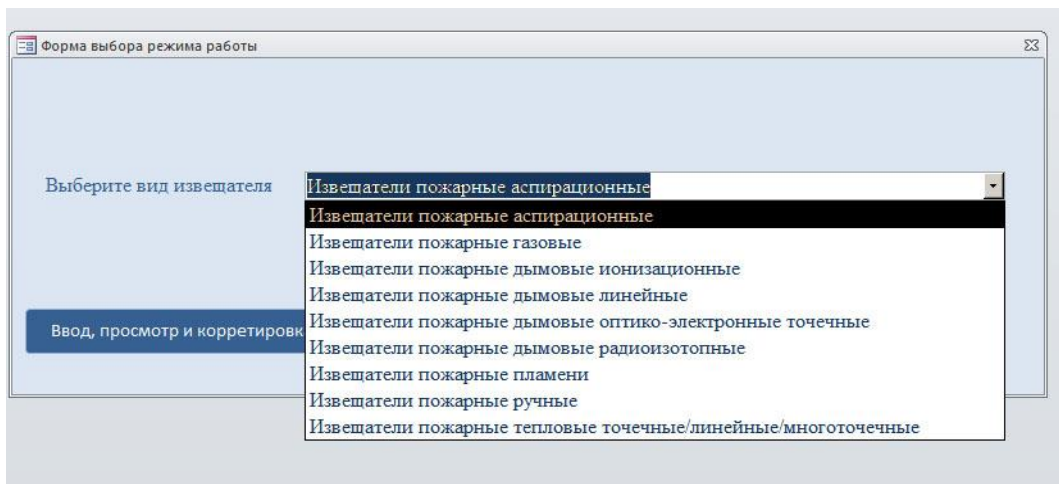


Рисунок 2. Форма выбора режима работы по виду пожарного извещателя

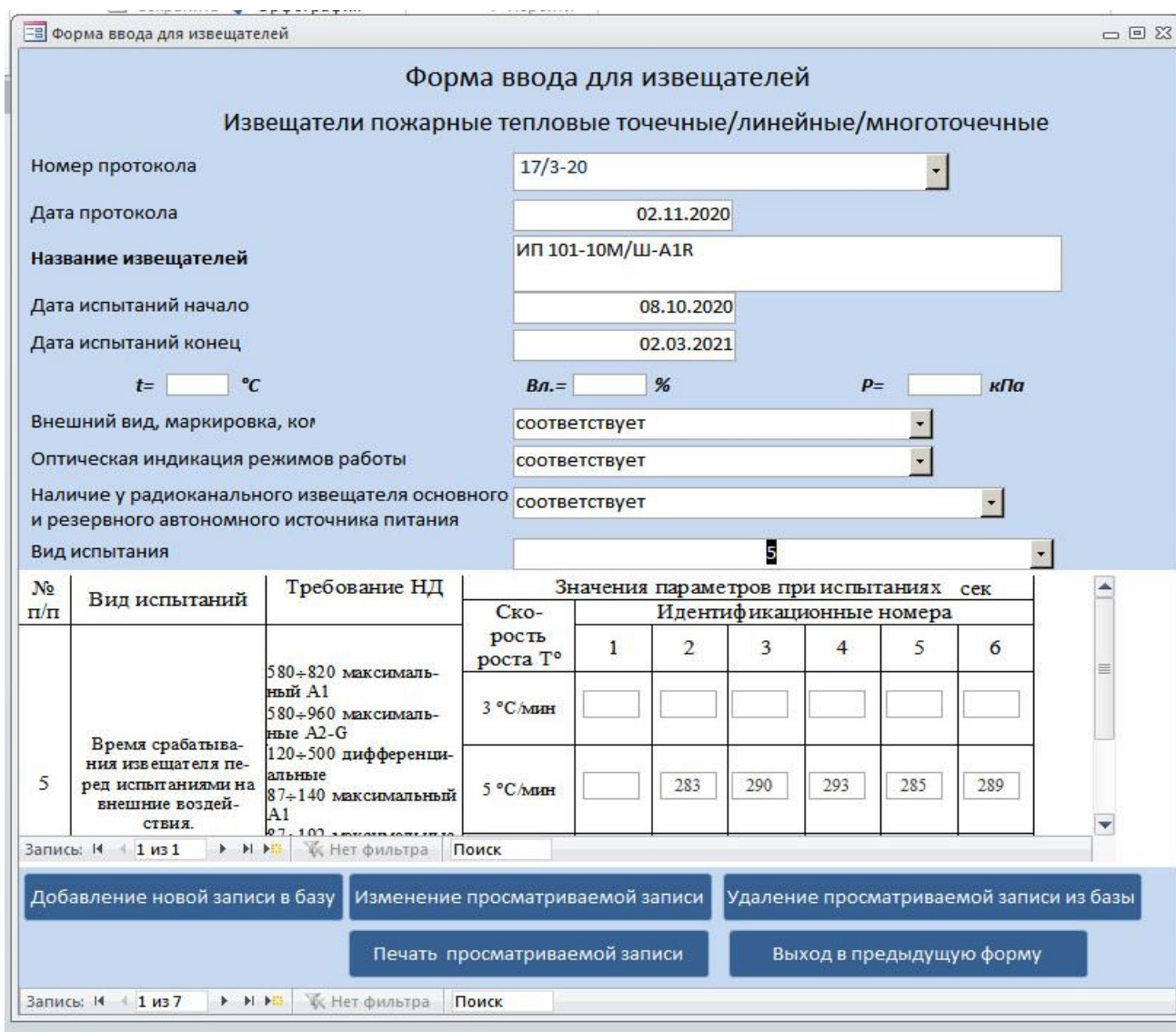


Рисунок 3. Форма по характеристикам протокола испытаний и цифровые данные по испытанию пожарного извещателя, полученные в ходе его испытаний



Для отражения числовых значений параметров пожарных извещателей по различным типам испытаний, предусмотренных [12], используются подчиненные формы, из которых информация преобразуется в итоговую отчетную форму протокола испытаний (см. рис. 3). В БД «Эксперимент ИП 2021» применяется 18 типов подчиненных форм. Для примера, на рисунке 4 приведены подчиненные формы по определению времени и температуры срабатывания пожарного извещателя, проверке на электрическую прочность,

уровню громкости звукового сигнала, устойчивости к воздействию электромагнитных помех. Аналогичные формы используются и по другим видам испытаний, предусмотренных стандартом [12]. Для сравнения полученных числовых значений параметров пожарных извещателей в ходе их испытаний с нормативными значениями, в подчиненных формах приведены числовые значения требований нормативных документов.

№ п/п	Вид испытаний	Требование НД	Значения параметров при испытаниях сек							
			Идентификационный номер 1							
2	Время срабатывания извещателя при различных его положениях относительно направления воздушного потока.	174÷260 максимальный А1 174÷329 максимальные А2-G 60÷242 дифференциальные	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
			поле9	поле9	поле9	поле9	поле9	поле9	поле9	поле9
№ п/п	Вид испытаний	Требование НД	Значения параметров при испытаниях °С							
			Идентификационные номера							
3	Температура срабатывания извещателя.	54÷65 класс А1 54÷70 класс А2 64÷76 класс А3 69÷85 класс В 84÷100 класс С 99÷115 класс D 114÷130 класс E 129÷145 класс F 144÷160 класс G T° срабатывания извещателей класса Н указывается в ТД.	1	2	3	4	5	6		
			поле93	поле93	поле93	поле93	поле93	поле93		
№ п/п	Вид испытаний	Требование НД	Значения параметров при испытаниях							
			Идентификационный номер 5							
12	Электрическая прочность.	U - «~ 24 В»: от 0 до 500 В U - «~ 220 В»: от 0 до 1500 В U - «~ 380 В»: от 0 до 2000 В	поле9121							
№ п/п	Вид испытаний	Требование НД	Значения параметров при испытаниях							
			Испытания после пункта	Идентификационные номера						
14	Проверка уровня громкости звукового сигнала.	85 ÷ 120 дБ		п. 5	поле91	поле91	поле91	поле91	поле91	поле91
			п. 16	поле91	поле91	поле91	поле91	поле91	поле91	

№ п/п	Вид испытаний	Требование НД	Значения параметров при испытаниях	
			Скорость роста T°	Идентификационный номер З
17	Устойчивость к воздействию электромагнитных помех.	580÷820 максимальный А1 580÷960 максимальные А2-G 120÷500 дифференциальные 174÷260 максимальный А1 174÷329 максимальные А2-G 30÷130 дифференциальные $\delta_{\text{макс.}} \% \leq 25$	3 °С/мин	поле9171
			5 °С/мин	поле9172
			20 °С/мин	поле9173

Рисунок 4. Примеры подчиненных форм, отражающих числовые значения параметров пожарных извещателей по направлениям испытаний согласно [12]

Для проведения сертификационных испытаний изделий пожарной автоматики необходимы соответствующие приборы контроля и измерения физических величин, а также испытательные стенды для осуществления комплексных замеров параметров изделий. При этом для каждого прибора измерений необходимо контролировать сроки их поверки, а также годность к эксплуатации. По испытательным стендам требуется проводить процедуру их аттестации в соответствии с установленными нормативными требованиями. Как показывает практика, существуют проблемные вопросы по корректности анализа сроков поверки приборов контроля и измерения физических величин, а также аттестации испытательных стендов, с учетом применения бумажных носителей информации. В целях создания информационной системы хранения и обработки информации по средствам измерений и испытательным стендам, предназначенным для проведения сертификационных испытаний изделий пожарной сигнализации, разработана соответствующая электронная база данных (далее – БД «ПАСИС СПС 2021»). Описание работы с БД «ПАСИС СПС 2021» приведено в статье [10].

На разработанные электронные базы данных БД «Эксперимент ИП 2021», БД «УИСПС 2021» и БД «ПАСИС СПС 2021» получены свидетельства Роспатента о государственной регистрации [13–15].

В целях реализации федерального проекта «Цифровые технологии» разработаны информационные системы автоматизированного сбора, хранения и обработки информации в области проведения сертификационных испытаний средств пожарной сигнализации. Разработаны электронные базы данных по пожарным извещателям, средствам измерений и испытательным стендам. Практика применения БД «Эксперимент ИП 2021», БД «УИСПС 2021» и БД «ПАСИС СПС 2021» показала эффективность их применения. Значительно сократилась обработка протоколов испытаний пожарных извещателей и ускорился их анализ как на предмет поиска конкретного проведенного испытания, так и на исследование массива испытаний за определенный промежуток времени. По экспертным оценкам снижение времени на анализ и исследование протоколов испытаний составило с 1–2 дней до 1 часа.

#### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858> (дата обращения: 28.07.2022).

2. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г.». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/867> (дата обращения: 28.07.2022).

3. Постановление Правительства РФ от 02.03.2019 № 234 (в ред. от 13.05.2022) «О системе управления реализацией национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_319701](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319701) (дата обращения: 29.07.2022).

4. Моисеев В. В., Ярушкина Н. Г. Начальная модель данных предметной области на основе реляционной базы данных // Автоматизация процессов управления. 2019. № 4 (58). С. 51–56.

5. Макунин А. А. Элементы объектно-ориентированной системы управления базами данных в надстройке над реляционной системой управления базой данных // Вестник Томского государственного университета. 2002. № 275. С. 161–163.

6. Головин П. А., Денисов Д. В., Нечаев В. В., Нечаев Д. А. Разработка распределенной базы данных на примере базы данных спортсменов олимпийского резерва // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2006. № 29. С. 85–86.

7. Еремеев А. П., Ивлиев С. А. Разработка базы данных и конвертера для извлечения и анализа специализированных данных, получаемых с медицинского аппарата // Программные продукты и системы. 2019. № 3. С. 512–517

8. Сорокина С. Ю., Купцов В. Н., Урбан Ю. Н. и др. Базы данных как инструмент анализа больших массивов данных о взаимодействиях молекулярно-биологических объектов // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2013. № 3. С. 261–263.

9. Фоменко Ю. С., Абу Хасан Р., Хомоненко А. Д. Логическая интеграция данных на примере организации запросов к базе данных авиаперевозок // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2019. № 4 (20). С. 39–47.

10. Сурина Г. П., Порошин А. А., Васильева Л. В., Попонин К. А. База данных по средствам измерений и испытательным стендам изделий пожарной сигнализации // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф., 22 апреля 2022 г., г. Железнодорожск. – Железнодорожск, 2022. – С. 331–333.

11. Виллариал Б. Программирование Access 2002 в примерах. М., 2003. 496 с.

12. ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний» / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обращения: 17.07.2022).

13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 8 апреля 2021 г. № 2021620668 / Порошин А. А., Сурина Г. П., Попонин К. А., Королева В. В. База данных по проведению экспериментов извещателей пожарных (БД «Эксперимент ИП 2021»).

14. Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 20 мая 2022 г. № 2022621158 / Сурина Г. П., Порошин А. А., Королева В. В. и др. База данных по учету испытаний средств пожарной сигнализации (БД «УИСПС 2021»).

15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 6 апреля 2022 г. № 2022620764 / Сурина Г. П., Волков И. В., Сизонова Н. А. и др. База данных по учету поверки и аттестации средств измерений и стендов по испытаниям средств пожарной сигнализации (БД «ПАСИС СПС 2021»).

### References

1. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 07.05.2018 № 204 «O natsionalnykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 g.». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858> (data obrashcheniya: 28.07.2022).

2. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 21.07.2020 № 474 «O natsionalnykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g.». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/867> (data obrashcheniya: 28.07.2022).

3. Postanovleniye Pravitelstva RF ot 02.03.2019 № 234 (v red. ot 13.05.2022) «O sisteme upravleniya realizatsiyey natsionalnoy programmy «Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_319701](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319701) (data obrashcheniya: 29.07.2022).

4. Moiseyev V. V., Yarushkina N. G. Nachalnaya model' dannykh predmetnoy oblasti na osnove relyatsionnoy bazy dannykh // Avtomatizatsiya protsessov upravleniya. 2019. № 4 (58). S. 51–56.

5. Makunin A. A. Elementy obyektno-oriyentirovannoy sistemy upravleniya bazami dannykh v nadstroyke nad relyatsionnoy sistemoy upravleniya bazoy dannykh // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2002. № 275. S. 161–163.

6. Golovin P. A., Denisov D. V., Nechayev V. V., Nechayev D. A. Razrabotka raspredelennoy bazy dannykh na primere bazy dannykh sport smenov olimpiyskogo rezerva // Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. 2006. № 29. S. 85–86.

7. Yeremeyev A. P., Ivliyev S. A. Razrabotka bazy dannykh i konvertera dlya izvlecheniya i analiza spetsializirovannykh dannykh, poluchayemykh s meditsinskogo apparata // Programmnyye produkty i sistemy. 2019. № 3. S. 512–517.

8. Sorokina S. Yu., Kuptsov V. N., Urban Yu. N. i dr. Bazy dannykh kak instrument analiza bolshikh massivov dannykh o vzaimodeystviyakh molekulyarno-biologicheskikh obyektov // Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Seriya biologicheskaya. 2013. № 3. S. 261–263.

9. Fomenko Yu. S., Abu Khasan R., Khomonenko A. D. Logicheskaya integratsiya dannykh na primere organizatsii zaprosov k baze dannykh aviaperevozok // Intellektual'nyye tekhnologii na transporte. 2019. № 4 (20). S. 39–47.

10. Surina G. P., Poroshin A. A., Vasilyeva L. V., Poponin K. A. Baza dannykh po sredstvam izmereniy i ispytatelnym standam izdeliy pozharnoy signalizatsii // Aktualnyye problemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti i zashchity ot chrezvychaynykh situatsiy: sb. mat. Vseros. nauch.-prakt. konf., 22 aprelya 2022 g., Zheleznogorsk. – Zheleznogorsk, 2022. – S. 331–333.

11. Villarial B. Programmirovaniye Access 2002 v primerakh. M., 2003. 496 s.

12. GOST R 53325–2012 «Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskiye sredstva pozharnoy avtomatiki. Obshchetekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy» / Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (data obrashcheniya: 17.07.2022).

13. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh ot 8 aprelya 2021 g. № 2021620668 / Poroshin A. A., Surina G. P., Poponin K. A., Koroleva V. V. Baza dannykh po provedeniyu eksperimentov izeshchately pozharnykh (BD «Eksperiment IP 2021»).

14. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh ot 20 maya 2022 g. № 2022621158 / Surina G. P., Poroshin A. A., Koroleva V. V. i dr. Baza dannykh po uchetu ispytaniy sredstv pozharnoy signalizatsii (BD «UISPS 2021»).

15. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh ot 6 aprelya 2022 g. № 2022620764 / Surina G. P., Volkov I. V., Sizonova N. A. i dr. Baza dannykh po uchetu poverki i attestatsii sredstv izmereniy i standov po ispytaniyam sredstv pozharnoy signalizatsii (BD «PASIS SPS 2021»).



УДК 541.13+11

prytkov.l.n@mail.ru

**ПОВЕДЕНИЕ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПРИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ РЕАКТОРА  
НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ****BEHAVIOR OF THE GAS PHASE IN A DESIGN ACCIDENT  
OF A FAST NEUTRON REACTOR**

*Прытков Л. Н.,  
Терентьев Д. И., кандидат химических наук, доцент  
Барбин Н. М., доктор технических наук, доцент  
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Prytkov L., Terent'ev D., Barbin N.,  
Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
Yekaterinburg*

Представлены и обсуждаются результаты термодинамического моделирования при разгерметизации трубопровода 1 контура с натриевым теплоносителем в активной зоне реактора на быстрых нейтронах, полученные авторами в программе TERRA. Моделирование проводилось в диапазоне температур от 473 до 3273 К для определения вероятного состава газовой фазы, образовавшейся в результате запроектной аварии в атмосфере аргона. В статье представлены компоненты газовой фазы, содержание которых не превышает  $1 \cdot 10^{-6}$  мольной доли, другие соединения с меньшей концентрацией в данной работе не рассматриваются. Установлено, что до 873 К мольная доля аргона Ar не изменяется и составляет порядка 99 %, при этом происходит увеличение концентраций молекулярного водорода H<sub>2</sub>, паров натрия Na, кластеров натрия Na<sub>2</sub>, Na<sub>3</sub> по причине плавления и испарения металлического натрия. Резкое снижение содержания молекулярного азота наблюдается с 1073 К до 1173 К, после чего практически не изменяется. При температуре от 1173 К и выше происходит термическая деструкция кластеров натрия Na<sub>2</sub>, Na<sub>3</sub> и основным компонентом газовой фазы становятся пары натрия Na. При температуре 1873 К происходит повышение содержания ионизированного пара натрия Na<sup>+</sup> и уменьшение концентрации гидрида натрия.

*Ключевые слова:* запроектная авария, жидкометаллический натрий, атомная электростанция, термодинамическое моделирование, газовая фаза, атмосфера аргона.

The results of thermodynamic modeling in case of depressurization of the pipeline of the 1st loop with sodium coolant in the active zone of a fast neutron reactor obtained by the authors using the TERRA program are presented and discussed. Modeling was carried out in the temperature range from 473 to 3273 K to determine the probable composition of the gas phase formed as a result of a beyond design basis accident in an argon atmosphere. The article presents the components of the gas phase, the content of which does not exceed  $1 \cdot 10^{-6}$  mole fraction, other compounds with a lower concentration are not considered in this work. It has been established that up to 873 K the mole fraction of argon Ar does not practically change and is about 99 %, while the concentrations of molecular hydrogen H<sub>2</sub>, sodium vapor Na, sodium clusters Na<sub>2</sub>, Na<sub>3</sub> increase due to melting and evaporation of metallic sodium. A sharp decrease in the content of molecular nitrogen is observed from 1073 K to 1173 K, after which it practically does not change. At a temperature of 1173 K and above, thermal destruction of sodium Na<sub>2</sub> and Na<sub>3</sub> clusters occurs,

and sodium Na vapor becomes the main component of the gas phase. At a temperature of 1873 K, there is an increase in the content of ionized sodium vapor  $\text{Na}^+$  and a decrease in the concentration of sodium hydride.

*Keywords:* beyond design basis accident, liquid metal sodium, nuclear power plant, thermodynamic modeling, gas phase, argon atmosphere.

Вопросы повышения энергоэффективности страны за счет модернизации АЭС являются крайне актуальными и рассматривались во многих исследованиях [1–3].

Технологический цикл тепловых АЭС, теплоносителем которых является вода, характеризуется температурой на выходе из реактора порядка 320 °С, давление пара во 2 контуре составляет 6,3–7,2 МПа, а температура – в диапазоне 279–285 °С. Мощность турбоустановки достигается за счет повышения давления пара, что способствует увеличению потерь тепловой энергии в конденсаторе турбины [1].

В реакторах на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800 в качестве теплоносителя применяется натрий – это жидкий металл, способный отводить удельные тепловыделения. Температура натриевого теплоносителя в 1 контуре, на выходе из зоны реактора, составляет примерно 550 °С, что способствует выработке перегретого пара в парогенераторах под давлением 13 МПа при температуре 505 °С. Данные параметры позволяют повысить эффективность АЭС [4]. Реакторы с натриевым теплоносителем и замкнутым ядерным топливным циклом позволяют существенно увеличить эффективность применения природного урана и помогут в решении проблемы с накопленными ядерными отходами [5]. Вопросы обеспечения безопасности как АЭС в целом, так и данных типов реакторов являются актуальными и рассматривались во многих работах [6–8].

Ключевой особенностью быстрых реакторов является применение в качестве теплоносителя в 1 и 2 контуре металлического натрия. По причине большой химической активности при взаимодействии

натрия с кислородом воздуха, паром и водой, контуры, заполненные натрием, оборудованы герметичными страховочными кожухами, которые заполнены очищенным от кислорода аргоном. Данное решение позволяет избежать взаимодействия жидкометаллического натрия с воздухом в случае разгерметизации и протечки теплоносителя. Ключевой особенностью натриевого теплоносителя, применяемого в 1 контуре, является воздействие на него нейтронного излучения [9]. Радиоактивный натрий представляет серьезную угрозу для персонала АЭС, пожарная опасность и перспективность применения натрия в качестве теплоносителя рассмотрена в работе [10].

При запроектной аварии возможно попадание расплавленного натрия в защитный кожух, заполненный аргоном. Для изучения состава и поведения газов и паров при нагревании натриевого теплоносителя в атмосфере аргона применялся метод термодинамического моделирования в программе TERRA [11–13]. Исходная система при давлении 0,1 МПа состоит из:

- 1) натрия (Na) – 990 г;
- 2) цезия (Cs) – 0,00007 г;
- 3) кадмия (Cd) – 0,00001 г;
- 4) аргона (Ar) – 9,9999 г;
- 5) плутония (Pu) – 0,00001 г;
- 6) серебра (Ag) – 0,00001 г;
- 7) сурьмы (Sb) – 0,00001 г;
- 8) олова (Sn) – 0,00001 г;
- 9) марганца (Mn) – 0,00001 г;
- 10) азота ( $\text{N}_2$ ) – 0,03 г;
- 11) водорода ( $\text{H}_2$ ) – 0,002 г;
- 12) метана ( $\text{CH}_4$ ) – 0,0001 г.

На рис. приведена температурная зависимость состава газовой фазы в системе при давлении 0,1 МПа.



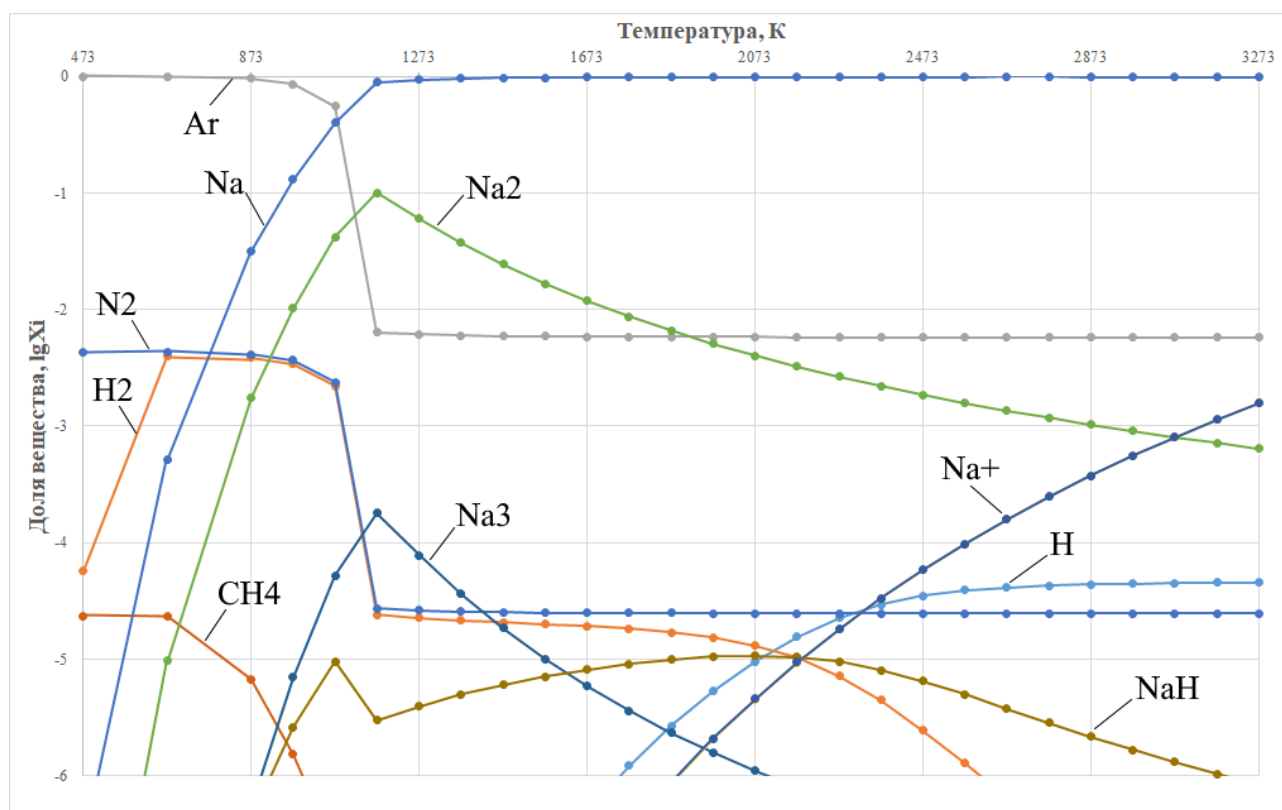


Рисунок. График изменения состава газовой фазы

Из данных рисунка видно, что в температурном интервале от 473 К до 873 К газовая фаза состоит в основном из аргона, также присутствуют пары натрия, молекулярного азота, молекулярного водорода и метана. В данном интервале температур значительного изменения концентрации Ar не наблюдается. Следует отметить резкое повышение содержания паров Na и Na<sub>2</sub>, повышение содержания H<sub>2</sub> наблюдается до 673 К, после чего происходит незначительное снижение. Содержание CH<sub>4</sub> сохраняется до 673 К, после чего при температуре 973 К происходит уменьшение концентрации в системе ниже  $1 \cdot 10^{-6}$ .

Температурный диапазон от 873 К до 1173 К характеризуется значительными изменениями состава газовой фазы. Концентрация Ar начинает снижаться от 873 К до 1173 К, после чего остается неизменной. В рассматриваемом температурном интервале основным компонентом газовой фазы являются пары Na и при температуре 1173 К составляют более 99 % от общей

доли объема всех газовых компонентов системы. Концентрация Na<sub>2</sub> продолжает повышаться до 1173 К, после чего происходит его разложение. Содержание в системе N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> резко снижается до 1173 К, при дальнейшем повышении температуры наблюдается постепенное снижение концентрации H<sub>2</sub> и неизменное содержание N<sub>2</sub> менее  $1 \cdot 10^{-4}$ . Пары Na<sub>3</sub> начинают увеличиваться с 873 К до 1173 К, после чего происходит снижение их содержания. Количество паров гидрида натрия NaH в рассматриваемой системе начинает увеличиваться от 873 К до 1073 К, в температурном интервале от 1073 К до 1173 К наблюдается незначительное снижение количества рассматриваемого вещества, при достижении в системе 1173 К наблюдается постепенное повышение содержания паров гидрида натрия NaH.

В температурном интервале от 1173 К до 2073 К наблюдается уменьшение содержания Na<sub>2</sub>. Количество паров Na<sub>3</sub> резко уменьшается и при температуре

2073 К составляет порядка  $1 \cdot 10^{-6}$ , что вероятнее всего связано с термической диссоциацией кластера. Концентрация молекулярного водорода  $H_2$  в данном температурном диапазоне постепенно уменьшается. Пары гидрида натрия  $NaN$  увеличиваются и при температуре 2073 К составляют  $1 \cdot 10^{-5}$ .

В диапазоне температур от 2073 К до 3273 К концентрации натрия  $Na$ ,  $Ag$ , молекулярного азота  $N_2$  не подвержены существенным изменениям. Снижение количества  $Na_2$  происходит на всем температурном интервале. Концентрация  $H_2$  при температуре 2673 К составляет менее  $1 \cdot 10^{-6}$ . Содержание  $NaN$  в составе газовой фазы

системы при температуре 3173 К составляет  $1 \cdot 10^{-6}$ . При рассматриваемой температуре концентрация ионизированного натрия  $Na^+$  продолжает увеличиваться и при 3273 К достигает  $1 \cdot 10^{-2.8}$ .

В работе проведено моделирование термических процессов, проходящих в системе с натриевым теплоносителем в атмосфере аргона. По полученным результатам построены графические зависимости изменения мольной доли веществ в газовой фазе в зависимости от температуры. Результаты компьютерного моделирования позволили обнаружить интервалы температур, при которых происходят процессы термической деструкции различных веществ.

#### Литература

1. Щепетина Т. Д. О повышении КПД энергоблоков с водо-водяными реакторами (ВВР) // Энергия: экономика, техника, экология. 2010. № 12. С. 21–29.
2. Хоменок Л. А., Кругликов П. А., Смолкин Ю. В., Соколов К. В. Определение энергетического эффекта модернизации энергооборудования и технологических систем АЭС // Теплоэнергетика. 2012. № 5. С. 10.
3. Асмолов В. Г., Семченков Ю. М., Сидоренко В. А. Облик АЭС с легководными энергетическими реакторами следующего поколения // VII Междунар. науч.-техн. конф. «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики». М., 2010, С. 3–14.
4. Щеклеин С. Е., Ташлыков О. Л., Дубинин А. М. Повышение энергоэффективности АЭС // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2015. № 4. С. 15–25.
5. Адамов Е. О., Алексахин Р. М., Большов Л. А. и др. Проект «ПРОРЫВ» – технологический фундамент для крупномасштабной ядерной энергетики // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2015. № 1. С. 5–13.
6. Прытков Л. Н., Барбин Н. М., Кобелев А. М. и др. Моделирование пожара в типовом машинном зале атомной электростанции для оценки эффективности внедрения роботизированных установок пожаротушения // Техносферная безопасность. 2021. № 4 (33). С. 78–88.
7. Горбань Ю. И. Пожарные роботы в современных технологиях автоматического пожаротушения // Алгоритм безопасности. 2010. № 3. С. 66–71.
8. Кобелев А. М., Барбин Н. М., Терентьев Д. И. и др. Экологические последствия при возможной запроектной аварии на уран-графитовых реакторах // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: мат. V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемир. дню гражданской обороны, Москва, 1 марта 2021 г. – М., 2021. – С. 237–240.
9. Козлов Ф. А., Алексеев В. В., Загоруйко Ю. И. и др. Технология использования натрия как теплоносителя реакторов на быстрых нейтронах // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: сб. тезисов докладов VI Междунар. науч.-техн. конф. 21–23 мая 2008 г. – М., 2008. – С. 270–276.
10. Прытков Л. Н., Барбин Н. М., Кобелев А. М., Титов С. А. Анализ пожарной опасности натриевого теплоносителя // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: мат. Всерос. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26 апреля 2022 г. – СПб., 2022. – С. 22–24.
11. Ватолин Н. А., Моисеев Г. К., Трусов Б. Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных системах. М., 1994.
12. Моисеев Г. К., Вяткин Г. П., Барбин Н. М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействия с участием ионных расплавов. Челябинск, 2002. 166 с.
13. Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г., Борисенко А. В. Термодинамическое моделирование испарения расплавов  $Pb+Bi$  при низких давлениях // Теплофизические основы энергетических технологий: сб. науч. тр., Томск, 4–6 октября 2012 г. – Томск, 2012. – С. 60–63.

## References

1. SHCHepetina T. D. O povyshenii KPD energoblokov s vodo-vodyanymi reaktorami (VVR) // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2010. № 12. S. 21–29
2. Homenok L. A., Kruglikov P. A., Smolkin Yu. V., Sokolov K. V. Opredelenie energeticheskogo effekta modernizacii energooborudovaniya i tekhnologicheskikh sistem AES // Teploenergetika. 2012. № 5. S. 10.
3. Asmolov V. G., Semchenkov Yu. M., Sidorenko V. A. Oblik AES s legkovodnymi energeticheskimi reaktorami sleduyushchego pokoleniya // VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Bezopasnost', effektivnost' i ekonomika atomnoj energetiki». M., 2010. S. 3–14.
4. SHCHeklein S. E., Tashlykov O. L., Dubinin A. M. Povyszenie energoeffektivnosti AES // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. YAdernaya energetika. 2015. № 4. S. 15–25.
5. Adamov E. O., Aleksahin R. M., Bol'shov L. A. i dr. Proekt "PRORYV" – tekhnologicheskij fundament dlya krupnomasshtabnoj yadernoj energetiki // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Energetika. 2015. № 1. S. 5–13.
6. Prytkov L. N., Barbin N. M., Kobelev A. M. i dr. Modelirovanie pozhara v tipovom mashinnom zale atomnoj elektrostancii dlya ocenki effektivnosti vnedreniya robotizirovannyh ustanovok pozharotusheniya // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 4 (33). S. 78–88.
7. Gorban' Yu. I. Pozharnye roboty v sovremennyh tekhnologiyah avtomaticheskogo pozharotusheniya // Algoritm bezopasnosti. 2010. № 3. S. 66–71.
8. Kobelev A. M., Barbin N. M., Terent'ev D. I. i dr. Ekologicheskie posledstviya pri vozmozhnoj zaproektnoj avarii na uran-grafitovyh reaktorah // Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: mat. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Vsemirnomu dnyu grazhdanskoj oborony, Moskva, 1 marta 2021 g. – M., 2021. – S. 237–240.
9. Kozlov F. A., Alekseev V. V., Zagorul'ko Yu. I. i dr. Tekhnologiya ispol'zovaniya natriya kak teplonositelya reaktorov na bystryh nejtronah // Bezopasnost', effektivnost' i ekonomika atomnoj energetiki: sb. tezisov dokladov VI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. 21–23 maya 2008 g. – Moskva, 2008. – S. 270–276.
10. Prytkov L. N., Barbin N. M., Kobelev A. M., Titov S. A. Analiz pozharnoj opasnosti natrievogo teplonositelya // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: mat. Vseros. nauch.-prakt. konf., Sankt-Peterburg, 26 aprelya 2022 g. – SPb., 2022. – S. 22–24.
11. Vatolin N. A., Moiseev G. K., Trusov B. G. Termodinamicheskoe modelirovanie v vysokotemperaturnyh sistemah. M., 1994.
12. Moiseev G. K., Vyatkin G. P., Barbin N. M. Primenenie termodinamicheskogo modelirovaniya dlya izucheniya vzaimodejstviya s uchastiem ionnyh rasplavov. CHelyabinsk, 2002. 166 s.
13. Barbin N. M., Alekseev S. G., Alekseev K. S. // Izv. YUzhnogo federal'nogo un-ta. Tekhn. nauki. 2013. N 8. S. 245–247.

УДК 614.849

S\_sharhun@mail.ru

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА ИМУЩЕСТВЕННОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО  
СТРАХОВАНИЯ КАК МЕТОД СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ**

**IMPLEMENTATION OF THE MECHANISM OF PROPERTY FIRE  
INSURANCE AS A METHOD OF IMPROVING THE CONTROL  
AND SUPERVISORY ACTIVITIES OF THE MINISTRY OF EMERGENCY  
SITUATIONS OF RUSSIA**

*Шархун С.В.<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент,  
Горб В.Г.<sup>2</sup>, доктор педагогических наук, профессор  
Мокроусова О.А.<sup>1</sup>, доктор педагогических наук, доцент,  
Пономарев А.В.<sup>1</sup>, кандидат психологических наук,*

*Смольников М.И.<sup>1</sup>, Леменков М.Д.<sup>1</sup>,*

*<sup>1</sup>Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург*

*<sup>2</sup>Уральский институт управления – Филиал РАНХиГС  
при Президенте Российской Федерации*

*Sharhun S.<sup>1</sup>, Gorb V.<sup>2</sup>, Mokrousova O.<sup>1</sup>,*

*Ponomarev A.<sup>1</sup>, Smolnikov M.<sup>1</sup>, Lemenkov M.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg*

*<sup>2</sup>Ural Institute of Management - Branch of Russian Presidential Academy of National  
Economy and Public Administration*

В статье проанализированы основополагающие нормативные документы, определяющие основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года, рассмотрены проблемы в сфере организации федерального государственного пожарного надзора и предложен проект совершенствования деятельности по внедрению механизма противопожарного страхования в рамках реализации риск-ориентированного подхода в надзорной деятельности. Определены периоды реализации предлагаемого проекта деятельности, для каждого периода определено основное содержание и субъекты деятельности. Предложены модели взаимодействия субъектов деятельности между собой для соответствующего периода. Сформулированы условия, при которых участники экономической деятельности будут заинтересованы в выполнении требований нормативных документов по пожарной безопасности, при этом в качестве основного стимулирующего метода будут выступать экономические механизмы регулирования, а не возможная административная ответственность.

Предложен механизм регулирования отношений в контрольно-надзорной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности, который позволит снизить административную и финансовую нагрузку на хозяйствующие субъекты при безусловном выполнении требований пожарной безопасности, а в ряде случаев исключить взаимодействие субъектов экономической деятельности с органами государственного пожарного надзора, тем самым будут созданы условия для использования механизма саморегулирования отношений между субъектами в данной области.

*Ключевые слова:* противопожарное страхование, пожарная безопасность, модель взаимодействия субъектов, страховая компания, надзорная деятельность, риск-ориентированный подход, государственная политика, государственный пожарный надзор.

In article basic normative documents defining bases of the state policy of the Russian Federation in the field of fire safety for the period till 2030 are analyzed, problems in sphere of the organization of the federal state fire supervision are considered and the project of improvement of activity on introduction of the mechanism of fire protection insurance within the limits of realization of the risk-oriented approach in supervision activity is offered. Periods of realization of the offered project of activity are determined, for each period the basic contents and subjects of activity are determined. Models of interaction of subjects of activity among themselves for the corresponding period are offered. Conditions are formulated, under which participants of economic activity will be interested in fulfillment of requirements of normative documents on fire safety, herewith economic mechanisms of regulation, instead of possible administrative responsibility will act as the basic stimulating method.

The mechanism of regulation of relations in the control and supervisory activities in the field of fire safety is proposed, which will reduce the administrative and financial burden on business entities with unconditional compliance with fire safety requirements, and in some cases exclude the interaction of economic entities with the state fire supervision, thereby creating conditions for the use of self-regulation mechanism of relations between subjects in this area.

*Keywords:* fire insurance, fire safety, model of interaction of subjects, insurance company, supervisory activities, risk-based approach, public policy, state fire supervision.

Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года утверждены Указом Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2 [1] и определяют цель, задачи и приоритетные направления государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года, а также механизмы ее реализации. Среди одной из целей обеспечения пожарной безопасности значится «формирование новых подходов к организации и осуществлению надзорной деятельности». Среди тенденций развития системы обеспечения пожарной безопасности выделяется «применение риск-ориентированного подхода при осуществлении надзорной деятельности».

Основной задачей для реализации вышеуказанных целей значится «совершенствование федерального государственного пожарного надзора путем внедрения принципа приоритетности профилактических мероприятий и риск-ориентированного подхода с учетом индикаторов риска

нарушения обязательных требований пожарной безопасности».

В риск-ориентированной модели в качестве основных установлены следующие формы подтверждения соответствия объекта требованиям нормативных документов: декларирование, пожарный аудит и независимая экспертиза, – которые являются инструментом саморегулирования в области пожарной безопасности.

Несмотря на то, что риск-ориентированная модель технического регулирования была установлена Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [2], она до сих пор совершенствуется исходя из конкретных внутренних и внешних факторов.

Одной из проблем в существующей модели регулирования отношений контрольно-надзорной деятельности в области пожарной безопасности является несовершенство механизма саморегулирования этих отношений.



Так, в своем выступлении на XXV Петербургском международном экономическом форуме в июле 2022 года Президент РФ В. В. Путин отметил необходимость в том, чтобы на постоянной основе отказаться от проведения большинства проверок российского бизнеса, деятельность которого не связана с высокими рисками причинения вреда. Бесспорно, надзор за выполнением требований в области пожарной безопасности на современном этапе развития культуры безопасности нашего общества необходим, однако одновременно также возможно использовать механизм саморегулирования.

Как отмечено в работе И. В. Смирновой «в системе эффективного управления в сфере защиты населения от пожаров важную роль играют экономические механизмы, которые представляют собой набор правовых, организационно-технологических методов, правил и приемов регулирования уровня безопасности, экономических инструментов воздействия на предупреждение и ликвидацию пожаров. При этом, согласно официальной статистике, количество пожаров в целом находится на одном уровне, при этом наблюдается тенденция роста материального ущерба от пожаров, что говорит о возможной значимости экономических механизмов регулирования уровня пожарной безопасности в обществе» [3].

Страхование представляет собой отношения по защите имущественных интересов физических и юридических лиц при наступлении определенных событий (страховых случаев)

Авторами в работе [4] указывается, что «противопожарное страхование обеспечивает защиту от наиболее катастрофических по своему характеру событий и явлений, воздействие которых может поставить вопрос о самом существовании предприятия, несмотря на отлаженный механизм управления компанией, блестящие перспективы развития и благоприятную рыночную конъюнктуру».

Усилия внедрить противопожарное страхование, в том числе и обязательное, в Российской Федерации предпринимались неоднократно. В работах ряда российских исследователей [5–9] подробно описывались как сами попытки внедрения данного инструмента, так и причины, препятствующие его широкому применению.

Для реализации нововведений требуется всесторонняя проработка механизма противопожарного имущественного страхования, а также его широкое обсуждение как на уровне институционально профессиональных объединений страховых компаний, так и на уровне общероссийских общественных организаций, деятельность которых направлена на защиту прав и интересов предпринимателей (РСПП, «Опора России» и др.).

В своем исследовании А. Н. Смертин и В. М. Дашко отмечают, что одна из ключевых проблем существующего механизма противопожарного страхования – это то, что «в условиях развивающегося рынка страховые компании в Российской Федерации в первую очередь ориентированы на привлечение клиентов и извлечение прибыли. Вопросы состояния противопожарной защищенности застрахованных объектов уходят на второй план, когда возникает вероятность ухода потенциального клиента в конкурирующую страховую компанию. Объекты страхуются со значительными нарушениями требований пожарной безопасности. Отсутствуют механизмы, побуждающие страховщиков и страхователей ответственно относиться к противопожарной защищенности страховаемого объекта» [9].

Основной целью механизма противопожарного страхования должно быть создание условий для заинтересованных субъектов, направленных на исключение взаимодействия органа государственного пожарного надзора непосредственно с субъектом экономической деятельности, имущество и ответственность которого застраховано в рамках реализации механизма противопожарного страхования.



При этом должны быть созданы условия, в том числе и экономического характера, побуждающие всех участников процесса более ответственно относиться к вопросам поддержания высокого уровня пожарной безопасности на объектах.

Предлагаемый проект деятельности по внедрению механизма противопожарного страхования в рамках реализации

риск-ориентированного подхода в надзорной деятельности состоит из трех периодов: подготовительный, организационно-реализующий и контрольно-аналитический, который в свою очередь включает в себя ряд распорядительно-корректирующих функций.

Модель взаимодействия субъектов деятельности в подготовительном периоде представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Модель взаимодействия субъектов деятельности в подготовительном периоде

При реализации предлагаемой модели взаимодействия ведущая роль по координации и организации деятельности в подготовительном периоде возлагается на МЧС России.

Основным критерием эффективности реализации подготовительного этапа будут являться подготовка, утверждение и введение в действие ряда нормативных актов, регулирующих реализацию полномочий субъектов, выполняющих функции организации и исполнения в рамках реализации механизма противопожарного страхования.

Вторым периодом проекта является организационно-реализующий период, основным содержанием которого является

реализация полномочий субъектов, выполняющих функции организации и исполнения в рамках конкретных задач при реализации механизма противопожарного страхования.

Основными субъектами деятельности в данном периоде в порядке приоритетности являются:

1. страховые компании.
2. скредитованные эксперты, осуществляющие деятельность в области оценки объектов защиты в рамках противопожарного страхования.
3. субъекты экономической деятельности (поднадзорные объекты).
4. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,

чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Модель взаимодействия субъектов деятельности в организационно-реализующем периоде представлена на рис. 2.

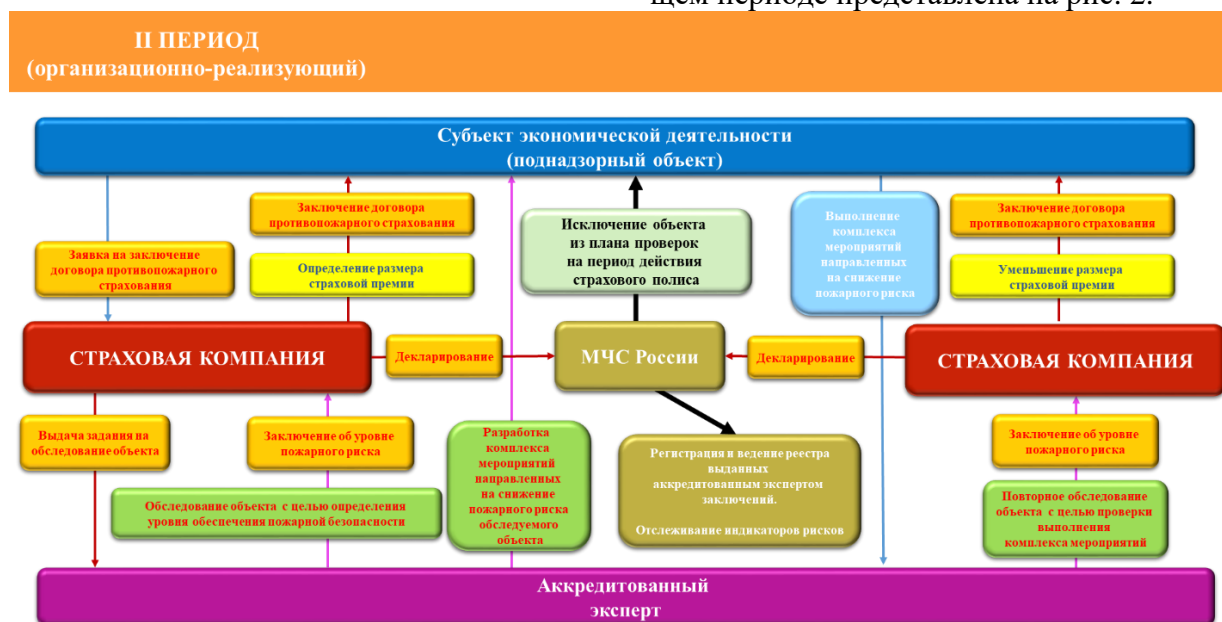


Рисунок 2. Модель взаимодействия субъектов деятельности на организационно-реализующем периоде

При реализации предлагаемой модели взаимодействия ведущая роль по координации и организации деятельности в организационно-реализующем периоде возлагается на страховые компании.

Главной задачей деятельности является исключение взаимодействия субъекта экономической деятельности с органами государственного пожарного надзора.

Субъект экономической деятельности обращается в страховую компанию, участвующую в реализации механизма противопожарного страхования, с запросом на заключение договора страхования используемого им объекта и ответственности перед третьими лицами.

Страховая компания, в свою очередь, для определения размера страховой премии (стоимости страхового полиса) с учетом особенностей объекта, пожарной опасности технологического процесса, уровня обеспечения пожарной безопасности на данном объекте и иных критериев привлекает к оценке пожарного риска объекта аккредитованного в МЧС России эксперта, осуществляющего деятельность в области оценки объектов защиты в рамках

реализации механизма противопожарного страхования.

По результатам обследования объекта аккредитованным экспертом выдается заключение об уровне страхового пожарного риска, а также разрабатывается комплекс мероприятий, направленных на снижение пожарного риска.

Основываясь на заключении эксперта об уровне страхового пожарного риска, страховой компанией определяется размер базовой страховой премии, а также страховой премии с учетом выполнения субъектом экономической деятельности комплекса мероприятий, направленных на снижение пожарного риска.

После заключения субъектом экономической деятельности договора противопожарного страхования, страховой компанией осуществляется информирование территориальных надзорных органов МЧС России путем декларирования наличия и размера страховой защиты конкретного объекта.

Должностные лица надзорного органа МЧС России на основании получен-

ных от страховой компании данных осуществляют исключение данного субъекта экономической деятельности из календарного плана проверок на период действия страхового полиса, как следствие, надзорное мероприятие в отношении застрахованного субъекта органами ГПН МЧС России не осуществляется. При этом на МЧС России возлагается обязанность по регистрации страховых полюсов и ведению реестра выданных аккредитованным экспертом заключений, а также отслеживание соответствующих индикаторов рисков.

Третий период реализации проекта представляет собой сочетание контрольно-аналитического и распорядительно-корректирующего периодов; основная задача – определение результативности, эффективности и качества реализации задач во время организационно-реализующего периода.

Основными субъектами в заключительном периоде в порядке приоритетности являются:

1) Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

2) Министерство финансов Российской Федерации;

3) Федеральная служба страхового надзора;

4) Центральный банк Российской Федерации;

5) общероссийские общественные организации, деятельность которых направлена на защиту прав и интересов предпринимателей («Опора России», РСПП и др.);

6) органы законодательной власти Российской Федерации;

7) страховые компании, осуществляющие деятельность в области противопожарного страхования.

8) аккредитованные МЧС России эксперты, осуществляющие деятельность в области оценки объектов защиты в рамках реализации механизма противопожарного страхования.

Модель взаимодействия субъектов деятельности в заключительном периоде представлена на рис. 3.

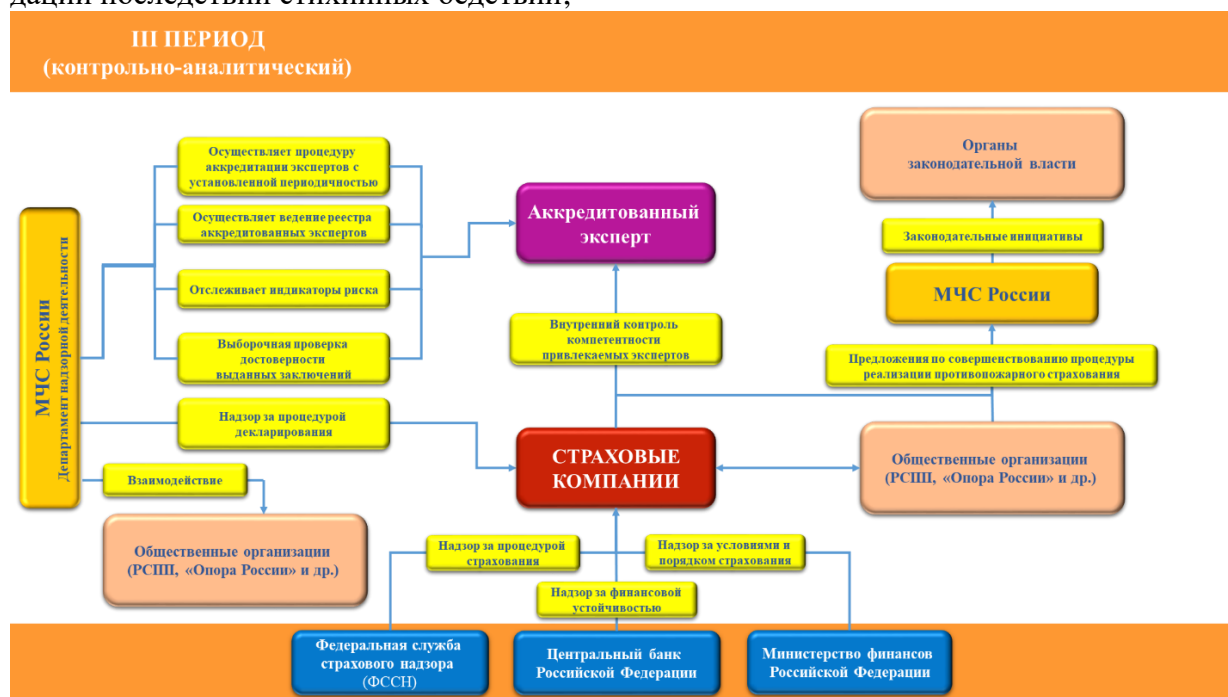


Рисунок 3. Модель взаимодействия субъектов деятельности в контрольно-аналитическом периоде

В контрольно-аналитические функции на данном периоде осуществляются с учетом выполняемой государственным органом функции и распределяются примерно в равных пропорциях.

Так, по линии МЧС России осуществляются следующие функции:

- аккредитация экспертов, осуществляющих деятельность в области оценки объектов защиты в рамках реализации механизма противопожарного страхования в сроки, установленные Правительством РФ;

- ведение реестра аккредитованных экспертов, осуществляющих деятельность в области оценки объектов защиты;

- отслеживание индикаторов риска. Одним из таких индикаторов риска может быть привлечение к административной ответственности аттестованного эксперта за нарушение порядка оценки объектов или выдачу заведомо ложного заключения о соответствии объекта требованиям пожарной безопасности;

- выборочная проверка достоверности выданных экспертами заключений;

- надзор за ведением страховыми компаниями процедуры декларирования факта осуществления противопожарного страхования и своевременностью информирования надзорных органов МЧС России.

Федеральная служба страхового надзора, в свою очередь, осуществляет надзор за страховыми компаниями в части соблюдения процедуры страхования объектов. Министерство финансов Российской Федерации осуществляет надзор за условиями и порядком страхования.

Центральный банк Российской Федерации осуществляет надзор за финансовой устойчивостью страховых компаний, ведущих деятельность в рамках реализации механизма противопожарного страхования.

Общероссийские общественные организации, деятельность которых направ-

лена на защиту прав и интересов предпринимателей («Опора России», РСПП и др.), в свою очередь, осуществляют общественный контроль за соблюдением прав и свобод субъектов экономической деятельности в рамках реализации механизма противопожарного страхования.

Страховые компании как субъекты, которые, в первую очередь, заинтересованы в качестве проведенного экспертом обследования объекта с целью определения уровня обеспечения пожарной безопасности, осуществляют внутренний контроль за уровнем профессиональных знаний и компетентности привлекаемых экспертов, осуществляющих деятельность в области оценки объектов защиты в рамках реализации механизма противопожарного страхования.

Страховые компании совместно с общественными организациями, деятельность которых направлена на защиту прав и интересов предпринимателей, при необходимости готовят предложения по совершенствованию процедуры реализации противопожарного страхования и направляют их в МЧС России для дальнейшего совершенствования данной процедуры.

Внедрение этого механизма устранит сплошные проверки подконтрольных субъектов и создаст систему эффективного расходования ресурсов. Произойдет полное распределение объектов контроля по категориям риска при осуществлении плановых мероприятий по контролю, а часть объектов будет полностью выведена из под надзора со стороны федерального государственного надзора. Совершенствование методики оценки риска в целях снижения общей административной нагрузки на субъекты хозяйственной деятельности с одновременным повышением уровня эффективности контрольно-надзорной деятельности, в том числе при внеплановых мероприятиях по контролю предварительно позволит снизить их число не менее чем на 30 – 50 %, а отдельные категории

объектов и вовсе освободятся от надзорных мероприятий.

Внедрение в систему управления в сфере защиты населения от пожаров экономических механизмов позволит создать условия, когда субъекты экономической деятельности будут сами заинтересованы в выполнении требований норм, а будут делать это под угрозой административной ответственности. Система противопожарного страхования позволяет значительно снизить финансовую и административную нагрузку на субъекты экономической деятельности.

Повышенные страховые тарифы, применяемые страховыми компаниями к объектам с низким уровнем обеспечения пожарной безопасности, будут стимулировать собственников объектов к соблюдению требований нормативных документов по пожарной безопасности и повышению качества противопожарной защиты своих объектов, тем самым становится возможным использование механизма саморегулирования отношений между субъектами в данной области.

#### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 01 января 2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации от 8 января 2018 г. № 2 Ст. 411. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
2. Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» // Собрание законодательства Российской Федерации от 30 декабря 2002 г. № 52. Ч. I. Ст. 5140. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
3. Смирнова И. В., Бардулин Е. Н. Развитие экономических механизмов управления в системе МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-ekonomicheskikh-mehanizmov-upravleniya-v-sisteme-mchs-rossii>.
4. Шмырева М. Б., Калач А. В., Зенин А. Ю. Проблемы противопожарного страхования в России // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-protivopozharnogo-strahovaniya-v-rossii>.
5. Арсланбекова А. З., Алдеров И. С. Основные направления совершенствования деятельности государственного пожарного надзора // Юридический вестник Дагестанского государственного университета. 2016. № 2. С. 64–68
6. Калач Е. В. Из истории противопожарного страхования в Российской империи 1867–1915 гг.: на материалах Воронежской губернии // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. № 3 (12). С. 27–77.
7. Ковзель М. В., Сметанкина Г. И. Основные направления совершенствования деятельности надзорных органов МЧС России // Экономика и социум. 2018. № 6 (49). С. 1438–1441.
8. Макаревич А., Козлов В. О противопожарном страховании. URL: <http://ria.ru/oNeli№e/20100205/208238596.html>
9. Смертин А. Н., Дашко В. М. Историко-правовые аспекты противопожарного страхования // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2013. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriko-pravovye-aspekty-protivopozharnogo-strahovaniya>

#### References

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 01 janvarja 2018 № 2 «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti pozharnoj bezopasnosti na period do 2030 goda» // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii ot 8 janvarja 2018 g. № 2 st. 411. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».
2. O tehničeskom regulirovanii: Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 27 dekabrja 2002 g. № 184-FZ // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii ot 30 dekabrja 2002 g. № 52 (chast' I) st. 5140. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».
3. Smirnova I. V., Bardulin E. N. Razvitie jekonomicheskikh mehanizmov upravlenija v sisteme MChS Rossii // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii». 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-ekonomicheskikh-mehanizmov-upravleniya-v-sisteme-mchs-rossii>
4. Shmyreva M. B., Kalach A. V., Zenin A. Ju. Problemy protivopozharnogo strahovaniya v Rossii // Problemy obespechenija bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2015. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-protivopozharnogo-strahovaniya-v-rossii>



5. Arslanbekova A. Z., Alderov I. S. Osnovnye napravlenija sovershenstvovaniya dejatel'nosti gosudarstvennogo pozhnogo nadzora // Juridicheskij vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2016. № 2. S. 64–68
6. Kalach E. V. Iz istorii protivopozhnogo strahovaniya v Rossijskoj imperii 1867–1915 gg.: na materialah Voronezhskoj gubernii // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2014. № 3 (12). S. 27–77.
7. Kovzel' M. V., Smetankina G. I. Osnovnye napravlenija sovershenstvovaniya dejatel'nosti nadzornyh organov MChS Rossii // Jekonomika i socium. 2018. № 6 (49). S. 1438–1441.
8. Makarevich A., Kozlov V. O protivopozhnom strahovanii. URL: <http://ria.ru/o№li№e/20100205/208238596.html>
9. Smertin A. N., Dashko V. M. Istoriko-pravovye aspekty protivopozhnogo strahovaniya // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. 2013. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriko-pravovye-aspekty-protivopozhnogo-strahovaniya>



УДК 614.841.2

vniipo@mail.ru

**ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РАССТОЯНИЙ ОТ ГОРЯЩЕГО  
АВТОМОБИЛЯ В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ****ASSESSMENT OF FIRE-FIGHTING DISTANCES FROM A BURNING CAR  
IN A RESIDENTIAL BUILDING**

*Хасанов И.Р., главный научный сотрудник, доктор технических наук  
Зуев С.А., ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук  
ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха*

*Khasanov I., Zuev S.,  
FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, Balashikha*

Расчеты противопожарных разрывов основаны на определении величины теплового потока и проводились при различных расстояниях до горящего автомобиля с учетом воздействия ветра. Максимальное значение теплового потока при пожаре легкового автомобиля наблюдается при повреждении топливного бака и последующем возгорании пролива бензина. В результате проведенных расчетов получены значения интенсивности теплового излучения пожара автомобиля. Установлено, что при ветре более 5 м/с в направлении фасада жилого здания предельное значение падающего теплового потока ( $12,5 \text{ кВт/м}^2$ ) от горящего пролива бензина может быть превышено на расстоянии 10 м от парковки.

*Ключевые слова:* горение автомобиля, тепловой поток, противопожарные разрывы, предотвращение распространения пожара.

Calculations of fire breaks are based on determining the magnitude of the heat flow and were carried out at different distances to the burning car, taking into account the effects of wind. The maximum value of the heat flow in a car fire is observed when the fuel tank is damaged and the subsequent ignition of a gasoline spill. As a result of the calculations, the values of the intensity of thermal radiation are obtained depending on the distance at different values of wind load. It was found that with a wind of more than 5 m/s in the direction of the facade of a residential building, the maximum value of the incident heat flow ( $12.5 \text{ kW/ m}^2$ ) from a burning gasoline spill can be exceeded at distances of 10 m from the parking lot.

*Keywords:* car fire, heat flow, fire breaks, prevention of fire spread.

**Введение**

При оценке риска распространения пожара автомобиля значительную роль играет соблюдение противопожарных расстояний (разрывов), обеспечивающих нераспространение огня на здания и сооружения. В Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] и в СП 4.13130.2013 [2] изложены основные требования к противопожарным разрывам.

Общие требования безопасности автостоянок содержатся в СП 113.13330.2016 [3]. Требования пожарной безопасности к стоянкам автомобилей регламентируются СП 506.1311500.2021 «Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности» [4], в котором противопожарные расстояния от открытых парковок до зданий, в том числе жилых, не нормируются.

Основные принципы определения значений противопожарных расстояний между объектами защиты за рубежом

(например, [5–7]) аналогичны российским и также связаны с видами возникших пожаров и пожарной опасностью застройки, ее этажностью, пределами огнестойкости и характеристиками несущих и ограждающих конструкций. Противопожарные расстояния от автомобилей до зданий, как правило, не нормируются.

Однако при возникновении пожара проливов горючего, а также при умышленных поджогах может возникнуть горение нескольких автомобилей с повышенной интенсивностью огневого воздействия на здание. В связи с этим представляет интерес оценка оптимального и пожаробезопасного размещения автомобилей на открытых площадках в условиях плотной жилой застройки.

При расчетах противопожарных разрывов от открытых автостоянок до зданий и сооружений необходимо учитывать особенности горения автомобилей. В экспериментальных работах [8;9] установлено, что мощность пожаров легковых автомобилей составляет от 2 до 4,5 МВт. При утечке бензина мощность тепловыделения горения легкового автомобиля может достигать 6,8 МВт [10]. При этом температура пожара автомобиля может превышать 1200 °С, что определяет лучистый поток основной причиной распространения огня на соседние автомобили примерно через 8 мин [11;12]. При пожарах на открытых автостоянках параметры горения и распространения зависят также от скорости и направления ветра [13].

Целью исследования является расчетная оценка противопожарных разрывов при различной ветровой нагрузке с учетом особенностей размещения автомобилей в жилой застройке.

#### Методика исследования

Большинство расчетных методов противопожарных разрывов между объектами защиты основаны на определении величины теплового потока, передаваемого

от пламени пожара на соседний объект. Определение теплового потока основывается на законе Стефана – Больцмана [14]. Значения потока определяются с учетом фактического расположения излучающих поверхностей и угловых коэффициентов облученности [15–19].

Максимальная скорость тепловыделения при пожаре автомобиля достигается в случае образования пролива бензина. В связи с этим в настоящем исследовании для определения максимального значения теплового потока применяется математическая модель [20], в которой используется условие безопасности нераспространения пожара:

$$\beta q_{\text{пад}} < q_{\text{кр}} \quad (1)$$

где:  $\beta$  – коэффициент запаса (принимается равным 1,2);  $q_{\text{пад}}$  – плотность падающего теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{кр}}$  – критическая плотность теплового потока для объекта, Вт/м<sup>2</sup>.

Интенсивность теплового излучения  $q$  (кВт/м<sup>2</sup>) от пламени определяется как

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $E_f$  – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_q$  – угловой коэффициент облученности;  $\tau$  – коэффициент пропускания атмосферы.

Среднеповерхностная плотность потока излучения на фронте пламени пожара принимается по [20] как при горении пролива бензина 60 кВт/м<sup>2</sup>.

Согласно [20] угловой коэффициент облученности  $F_q$  определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2},$$

где  $F_V$ ,  $F_H$  – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90°С секторе в направлении наклона пламени:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[ \arctg \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\},$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left( \frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[ \arctg \left( \frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left( \frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) - \right] \right\} \\ - \left[ \frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1 + a \cdot b \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left( \frac{A \cdot D}{B} \right) \right\},$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d}, \quad b = \frac{2 \cdot X}{d},$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta)},$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta)},$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)},$$

$$D = \sqrt{\left( \frac{b-1}{b+1} \right)},$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta},$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)},$$

Здесь  $\theta$  – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра;  $L$  – длина пламени, м;  $d$  – эффективный диаметр пролива, м;  $X$  – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Диаметр пролива  $d$  (м) рассчитывается по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}.$$

Площадь пролива жидкости  $F$  (м<sup>2</sup>) на поверхность рассчитывается по формуле:

$$F = f_p V_{ж};$$

где  $V_{ж}$  – объем жидкости, м<sup>3</sup>;  $f_p$  – коэффициент разлития, значение которого зависит от характеристик поверхности, м<sup>-1</sup>.

Длина пламени  $L$  (м) определяется по формулам:

при  $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left( \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21},$$

при  $u_* < 1$

$$L = 42 \cdot d \cdot \left[ \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0,61}$$

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра  $\theta$  рассчитывается по формуле:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases}$$

где  $m'$  - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\rho_a$  - плотность окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>);  $d$  - диаметр пролива, м.

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{п}}}}}$$

где:  $w_0$  - скорость ветра, м/с;  $m'$  - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $g$  - ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>);  $\rho_{\text{п}}$  - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м<sup>3</sup>.

### Результаты и обсуждение

В качестве наихудшего сценария пожара для случая максимальной скорости тепловыделения принимается полная разгерметизация автомобильного топливного бака легкового автомобиля и последующее воспламенение пролива бензина с тепловым воздействием на фасад соседнего жилого дома (рис. 1). В качестве значения критической плотности потока на фасаде здания примем нормативное значение  $q_{\text{кр}} = 12,5 \text{ кВт/м}^2$  [6].

Для топливного бака легкового автомобиля емкостью 60 л (45,6 кг) эффективный диаметр пролива на бетонное или асфальтовое покрытие при полной разгерметизации составит 3,38 м. Массовая скорость выгорания бензина составляет

0,06 кг/(м<sup>2</sup>·с) [20], среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени пролива бензина – 60 кВт/м<sup>2</sup>. При скорости ветра 0 м/с расчетная длина факела составит 7,75 м, при скоростях 5 м/с и 10 м/с – соответственно 12,3 м и 12,9 м.

Полученный по формуле (2) график интенсивности теплового излучения  $q$  (кВт/м<sup>2</sup>) в зависимости от расстояния при различных значениях ветра в направлении фасада здания приведен на рис. 2.

Как видно из полученных результатов, величина теплового потока существенно зависит от скорости ветра в направлении облучаемой поверхности. При скоростях ветра в направлении фасада здания более 5 м/с критическое значение потока 12,5 кВт/м<sup>2</sup> может быть превышено на расстояниях более 10 м от горящего автомобиля.

Вместе с тем следует учитывать, что рассмотренный случай пролива полного топливного бака является предельным, а указанное превышение критического потока относительно непродолжительно по времени.

С учетом скорости выгорания продолжительность горения такого пролива составит всего около 2 минут, что может быть недостаточно для вскрытия остекления в здании или воспламенения горючих материалов, заполняющих оконный проем.

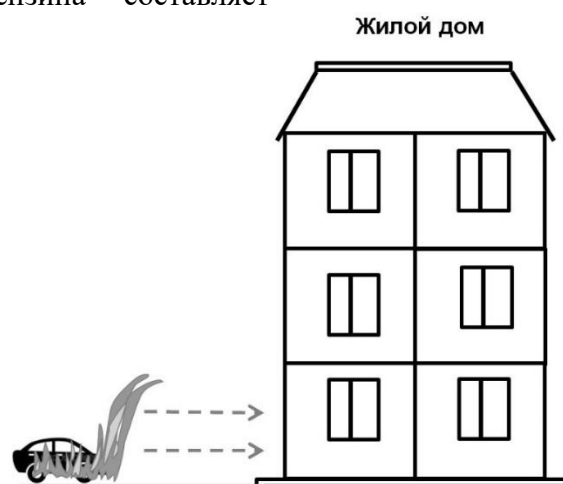


Рисунок. 1. Расчетная схема определения падающего теплового потока от горящего автомобиля на жилое здание

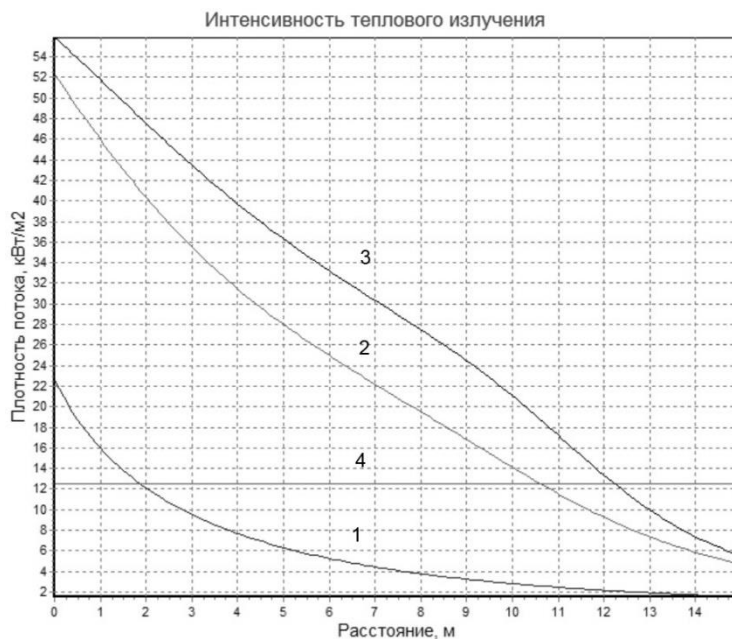


Рисунок. 2. Интенсивность теплового излучения от горящего пролива бензина: 1 – скорость ветра 0 м/с; 2 – скорость ветра 5 м/с; 3 – скорость ветра 10 м/с; 4 – критический поток 12,5 кВт/м<sup>2</sup>

### Выводы

В настоящей работе изучены особенности теплового воздействия пожара автомобиля на жилые здания. Максимальное значение теплового потока при пожаре легкового автомобиля будет наблюдаться в случае полной разгерметизации топливного бака и последующего возгорания пролива бензина. Эффективный диаметр пролива бензина на бетонное или асфальтовое покрытие при полной разгерметизации топливного бака емкостью 60 л составит 3,38 м, площадь пролива – около 9 м<sup>2</sup>.

В результате проведенных расчетов получены интенсивности теплового излучения в зависимости от расстояния при различных значениях ветра. Установлено, что при ветре более 5 м/с в направлении

фасада жилого здания предельное значение падающего теплового потока от горящего пролива бензина может быть превышено на расстоянии 10 м от парковки.

Рассмотренный сценарий пролива полного топливного бака легкового автомобиля является предельным, а указанное превышение критического потока относительно непродолжительно по времени (2 мин).

Таким образом, при расстоянии от жилого здания до автостоянки менее 10 м может потребоваться необходимость устройства огнестойких наружных стен здания с противопожарной защитой оконных проемов и применением негорючей облицовки фасада.

### Литература

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». М., 2012. 148 с.
2. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (с Изм. № 1). М., 2020. 114 с.
3. СП 113.13330.2016 Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99\*. М., 2017. 24 с.
4. СП 506.1311500.2021 Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности (Приказ МЧС России от 17.12.2021 № 880). 2021. 30 с.



5. Approved Document B: Fire safety. Vol. 1. Dwellings. London, United Kingdom: Department for Communities and Local Government. 2019. 174 p.
6. NFPA 80A: Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures. National Fire Protection Association. 2017. 23 p.
7. IBC 2018 – International Building Code 2018 Edition. International Code Council (ICC). 2018. 726 p.
8. Shintani Y., Kakae N., Harada K. Experimental Investigation of Burning Behavior of Automobiles // 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 2004. Pp. 43–51.
9. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles // Fire and Materials. 1995. Vol. 19. No. 3. Pp. 143–151.
10. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. 2009. Vol. 44. No. 3. Pp. 301–310.
11. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car // China Safety Science Journal. 2013. Vol. 23. No. 7. Pp. 26–31.
12. Xiao-hui JIANG, Guo-qing ZHU, Hui ZHU, Da-yan LI. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars // Procedia Engineering. 2018. No. 211. Pp. 297–305.
13. Younggi Park, JaiyoungRyu, Hong Sun Ryou. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter // Energies. 2019. Vol. 12. No. 1465. 16 p.
14. Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М., 1987. 440 с.
15. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительстве. М., 1985. 590 с.
16. EN 1991-1-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN. 2002. 59 p.
17. Пастухов С. М., Жамойдик С. М., Тетерюков А. В. Анализ подходов по оценке минимально допустимых расстояний между зданиями при воздействии пожара // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2. С. 23–31.
18. Гоман П. Н., Соболевская Е. С. Разработка программы расчета интенсивности теплового излучения при пожаре // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1. С. 250–257.
19. Хасанов И. Р., Зуев С. А., Абашкин А. А., Зуева А. С. Оценка безопасных противопожарных расстояний от лесных насаждений до зданий и сооружений // Пожарная безопасность. 2021. № 2. С. 36–43.
20. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. М., 2009. 77 с.

#### References

1. Federal Law «Technical Regulations on Fire Safety Requirements». М., 2012. 148 p.
2. Code of rules of SP 4.13130.2013 Fire protection systems. Limiting the spread of fire on the protection elements. Requirements for space-planning and structural solutions (with Change No. 1). М., 2020. 114 p.
3. SP 113.13330.2016 Car parking. Updated edition of SNiP 21-02-99\*. М., 2017. 24 p.
4. SP 506.1311500.2021 «Parking lots. Fire safety requirements» (Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 17.12.2021 No. 880). М., 2021. 30 p.
5. Approved Document B: Fire safety. Vol. 1. Dwellings. London, United Kingdom: Department for Communities and Local Government. 2019. 174 p.
6. NFPA 80A: Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures. National Fire Protection Association. 2017. 23 p.
7. IBC 2018 – International Building Code 2018 Edition. International Code Council (ICC). 2018. 726 p.
8. Shintani Y., Kakae N., Harada K. Experimental Investigation of Burning Behavior of Automobiles // 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology. 2004. Pp. 43–51.
9. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles // Fire and Materials. 1995. Vol. 19. No. 3. Pp. 143–151.
10. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. 2009. Vol. 44. No. 3. Pp. 301–310.
11. Song Bo, Zhao Li-zeng, Bai Dian-tao. Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car // China Safety Science Journal. 2013. Vol. 23. No. 7. Pp. 26–31.
12. Xiao-hui JIANG, Guo-qing ZHU, Hui ZHU, Da-yan LI. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars // Procedia Engineering. 2018. No. 211. Pp. 297–305.
13. Younggi Park, JaiyoungRyu, Hong Sun Ryou. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter // Energies. 2019. Vol. 12. No. 1465. 16 p.
14. Koshmarov Yu. A., Bashkirtsev M. P. Thermodynamics and heat transfer in the fire business. М., 1987. 440 p.



15. Roytman M. Ya. Fire prevention in construction. M., 1985. 590 p.
16. EN 1991-1-2. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. CEN, 2002. 59 p
17. Pastukhov S. M., Zhamoydik S. M., Teteryukov A. V. Analysis of approaches for assessing the minimum allowable distances between buildings when exposed to fire // Bulletin of the Command and engineering Institute of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus. 2014. No. 2 (20). Pp. 23–31.
18. Goman P. N., Sobolevskaya E. S. Development of a program for calculating the intensity of thermal radiation in a fire // Technosphere Safety Technologies. 2016. No. 1 (65). Pp. 250–257.
19. Khasanov I. R., Zuev S. A., Abashkin A. A., Zueva A. S. Assessment of safe fire-fighting distances from forest plantations to buildings and structures // Fire safety. 2021. No. 2. Pp. 36–43.
20. Method for determining the calculated values of fire risk at production facilities. M., 2009. 77 p.

**БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

УДК 351.862

freidenberg@inbox.ru

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ВАРИАНТА КОМПЛЕКТОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ  
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ РЕЗЕРВИСТАМИ****METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING THE RATIONAL  
OPTION OF RECRUITING SPECIAL FORMATIONS OF CIVIL DEFENSE  
RESERVISTS**

*Мазаник А.И., доктор военных наук, профессор  
Фрайденберг А.Г., Каирбеков К.К.  
ФГБВОУ «Академия гражданской защиты МЧС России», г.Химки*

*Mazanik A., Freidenberg A., Kairbekov K.  
«Academy of Civil Defence of EMERCOM of Russia», Khimki*

В статье рассмотрен один из возможных методических подходов для определения должностей специальных формирований гражданской обороны, которые целесообразно укомплектовать гражданами, пребывающими в запасе, на контрактной основе. Произведена формализованная постановка задачи определения рационального варианта комплектования должностей специальных формирований по контракту. Новизна исследования заключается в обосновании новой постановки научной задачи, отличающейся от известных видом целевой функции и тем, что в ней учитывается ряд новых факторов, основными из которых являются: вклад должностей специальных формирований гражданской обороны с дефицитными военно-учетными специальностями в уровень подготовки с учётом важности возложенных задач и начальный уровень подготовки граждан, прибывающих из запаса для комплектования в специальные формирования гражданской обороны и имеющих дефицитные и технически сложные военно-учетные специальности. Рассмотрена возможность его использования в деятельности органов управления МЧС России и территориальных подразделений МЧС Республики Казахстан.

*Ключевые слова:* рациональный вариант, резервист, специальные формирования, подготовка, гражданин, пребывающий в запасе.

The article considers one of the possible approaches for determining the positions of special civil defense formations, which it is advisable to staff with citizens who are in reserve, under a contract. A formalized statement of the task of recruiting positions of special formations under the contract was made. The novelty of the research lies in the substantiation of a new formulation of a scientific task, which differs from the known ones by the type of the target function and the fact that it takes into account a number of new factors, the main of which are: the contribution of positions of special civil defense formations with scarce military accounting specialties to the level of training, taking into account the importance of the assigned tasks and the initial level of training of citizens arriving from reserves for recruitment into special civil defense formations and those with scarce and technically complex military accounting specialties. The possibility of its use in the activities of the management bodies of Emercom of Russia and the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan is considered.

*Keywords:* rational option, reservist, special formations, training, a citizen staying in reserve.

Современная военно-политическая обстановка в мире характеризуется сложностью и противоречивостью. Она развивается под воздействием активизации процесса геостратегического переустройства мира, а также обострения ситуации на Евразийском континенте и санкционного давления США и стран запада на Россию и её союзников.

В соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации [1] особое внимание уделяется решению задач по совершенствованию мероприятий мобилизационной подготовки и мобилизации в Российской Федерации. В соответствии с Основами государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны (далее – ГО) [2], одной из основных задач МЧС России является эффективное применение сил и средств для защиты населения от последствий чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время [3].

Целью совершенствования облика ГО, как МЧС России, так и МЧС Казахстана в части мобилизационной подготовки, является выведение ее на качественно новый уровень для успешного выполнения задач по предназначению.

Проведенный анализ мероприятий, связанных с мобилизационным развертыванием, мобилизационными учениями и тренировками, а также результатов экспертного опроса позволил сформулировать проблемную ситуацию, которая заключается в низком уровне подготовки граждан, прибывающих из запаса, для комплектования специальных формирований гражданской обороны резервистами (далее – СФГО). Сложившееся положение может привести к негативным последствиям из-за несвоевременного и некачественного выполнения задач в связи с длительной подготовкой специалистов по отдельным военно-учетным специальностям (далее – ВУС).

Наличие проблемной ситуации, связанной с низким уровнем подготовки личного состава СФГО к выполнению задач по предназначению, обуславливает необходимость определения возможных направлений ее разрешения и выбора рационального из них с целью повышения эффективности приведения в боевую готовность СФГО в военное время.

Одним из перспективных направлений совершенствования облика ГО в Республике Казахстан в 2023 . является введение военной службы в резерве на контрактной основе. Об этом 26 августа 2021 г. на брифинге сообщил начальник департамента организационно-мобилизационной работы Генштаба Вооруженных сил Минобороны Республики Казахстан Сакен Жусипов [4].

С учетом изложенного, может быть предложена научная гипотеза разрешения сформулированной выше проблемной ситуации в рассматриваемой предметной области – уровень подготовки личного состава СФГО можно повысить за счет определения перечня должностей специальных формирований гражданской обороны, определяющих боевую готовность, и решения оптимизационной задачи, которая заключается в обосновании рационального варианта их комплектования резервистами. В работах [5; 6] выявлены и проанализированы факторы, которые необходимо учитывать при анализе вариантов комплектования СФГО.

Обзор проведенных ранее исследований [7] показал, что своевременное и качественное выполнение задач гражданской обороны в военное время в существенной мере определяется уровнем подготовки личного состава СФГО. Подготовка личного состава СФГО к выполнению задач по предназначению зависит от уровня начальной подготовки граждан, пребывающих в запасе, и организации процесса подготовки в ходе боевого слаживания. Начальный

уровень подготовки – это совокупность знаний, умений и навыков, характеризующих способность личного состава выполнять задачи по предназначению, которые были сформированы перед началом боевого слаживания [8]. Следует отметить, что даже при высоком уровне организации подготовки личного состава в ходе боевого слаживания факт недостаточной начальной подготовки не позволяет обеспечить требуемый общий уровень готовности СФГО к выполнению задач по предназначению по его завершению. Начальный уровень подготовки можно повысить за счет определения должностей, определяющих ответственных за боевую готовность СФГО, технически сложных и дефицитных ВУС и перевода некоторых из них на контрактный способ комплектования.

Проведенный краткий анализ известного научно-методического аппарата для определения должностей, которые целесообразно перевести на контрактный способ комплектования, позволяет сделать вывод о том, что он может составить некоторую основу для решения задачи обоснования рационального варианта комплектования СФГО резервистами. В то же время следует отметить, что в ранее проведенных исследованиях не учитывались факторы [7], влияющие на уровень подготовки граждан, пребывающих в запасе.

Выбор рационального варианта комплектования СФГО резервистами может быть осуществлен с помощью решения прямой и обратной задач военно-экономического анализа [9].

Прямая задача формулируется следующим образом: необходимо выбрать такой вариант комплектования СФГО резервистами, который позволит достичь максимального общего уровня подготовки личного состава СФГО, с учетом ограничения на количество должностей, которые разрешено перевести на контракт.

Обратная постановка задачи имеет целью подобрать рациональный вариант комплектования СФГО резервистами, при

котором будет обеспечен требуемый уровень подготовки при минимальном количестве должностей, переводимых на контрактную основу.

В условиях финансовых ограничений, которые определяют численность резервистов, переводимых на контрактный способ комплектования, задачу определения рационального варианта комплектования СФГО целесообразно решать в прямой постановке.

На основе анализа факторов, влияющих на выбор варианта комплектования СФГО резервистами, а также с учетом полученных ранее научных результатов с использованием известного научно-методического аппарата, общую постановку научной задачи целесообразно сформулировать следующим образом: для заданных исходных данных необходимо из множества альтернативных вариантов комплектования СФГО резервистами выбрать такой, при котором общий уровень подготовки личного состава СФГО будет максимальным с учетом ограничений на время боевого слаживания и на количество должностей, переводимых на контрактную основу.

В формализованном виде данная постановка задачи может быть представлена следующим образом.

**Для заданных:**

$A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$  – перечень наименований подразделений, входящих в состав СФГО, где  $a_i$  – наименование  $i$ -го подразделения  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – количество подразделений;

$D_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}, \dots, d_{iK})$  – перечень групп должностей в  $i$ -м подразделении СФГО, где  $d_{ik}$  – наименование  $k$ -й группы должностей, входящих в  $i$ -ое подразделение  $k = \overline{1, K}$ ;  $K$  – количество групп должностей;

$C_{ik} = (c_{ik1}, c_{ik2}, \dots, c_{ikj}, \dots, c_{ikm})$  – перечень должностей с соответствующими ВУС, входящих в состав  $k$ -й группы должностей  $i$ -го подразделения СФГО, где  $c_{ikj}$  – наименование  $j$ -й должности, входящей в

состав  $k$ -й группы должностей  $i$ -го подразделения,  $j = \overline{1, m}$ ;  $m$  – количество должностей;

$t_{jki}^n$  – время, требуемое на подготовку специалиста, занимающего  $j$ -ю должность, входящую в  $k$ -ю группу должностей  $i$ -го подразделения;

$R$  – количество должностей, которые разрешено перевести на контракт;

$T_{\text{зад}}$  – время, отводимое на проведение боевого слаживания СФГО,

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m \vartheta_{jki} (\alpha_i, \beta_{ki}, \gamma_{jki}, t_{jki}^n) X_{jki} \Rightarrow \max, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m X_{jki} \leq R; \quad \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m t_{jki}^n (X_{jki}) \leq T_{\text{зад}}; \quad X_{jki} = \{0, 1\},$$

где  $X_{jki}$  – управляемая переменная, которая может принимать значения: 1 – если  $j$ -я должность, входящая в состав  $k$ -ой группы должностей  $i$ -го подразделения, переводится на контрактный способ комплектования; 0 – в противном случае;

$\vartheta_{jki}$  – вклад  $j$ -й должности, комплектуемой по контракту, входящей в состав  $k$ -й группы должностей  $i$ -го подразделения, в повышение уровня подготовки личного состава СФГО;

$\alpha_i$  – коэффициент значимости  $i$ -го подразделения СФГО;

$\beta_{ki}$  – коэффициент значимости  $k$ -й группы должностей в  $i$ -м подразделении;

$\gamma_{jki}$  – коэффициент значимости  $j$ -й должности, входящей в состав  $k$ -й группы должностей  $i$ -го подразделения.

**необходимо** в каждом подразделении СФГО определить такой перечень комплектуемых по контракту должностей ( $X_{ijk} = 1$ ), при котором будет обеспечен максимальный уровень подготовки к выполнению задач по предназначению

В рамках комплексной методики обоснования рационального варианта комплектования специальных формирований гражданской обороны резервистами необходимо разработать:

методику оценки значимости подразделений, входящих в состав СФГО, с учётом решаемых ими задач;

методику оценки вклада должностей, комплектуемых по контракту, в повышение уровня подготовки личного состава СФГО;

методику выбора рационального варианта комплектования СФГО резервистами с учётом количества должностей, которые разрешено перевести на контракт.

Общая схема проведения исследования по решению сформулированной научной задачи представлена на рисунке 1.





Рисунок 1. Общая схема проведения исследования

На основе предложенного методического подхода может быть определен рациональный вариант комплектования СФГО резервистами, а его реализация позволит повысить уровень готовности сил ГО к выполнению задач по предназначению в военное время.



### Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».
2. Указ Президента Российской Федерации от 20 декабря 2016 г. № 696 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны на период до 2030 года».
3. Федеральный закон № 28-ФЗ от 12 февраля 1998 г. «О гражданской обороне».
4. Досье от 6 сентября 2021 г. на проект Закона Республики Казахстан «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам введения службы в резерве». URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=38485441#pos= 3;-106](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=38485441#pos=3;-106).
5. Фрайденберг А. Г., Зиядинов Ш. О. Анализ комплектования территориальных войск гражданами, пребывающими в запасе, для борьбы с пандемией в период введения чрезвычайного положения в Республике Казахстан // Сб. тезисов и докладов XII Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Кокшетау, 2021. С. 231–235.
6. Кондратьев Е. Б., Мазаник А. И., Фрайденберг А. Г., Веселов А. В. Анализ факторов, влияющих на выбор и обоснование рационального способа комплектования формирований гражданской защиты гражданами, пребывающими в запасе (на примере Республики Казахстан) // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 4. С. 121–127.
7. Кондратьев Е. Б., Мазаник А. И., Фрайденберг А. Г., Каирбеков К. К. Возможности использования известного научно-методического аппарата для обоснования рационального варианта комплектования специальных формирований гражданской обороны // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 20–27.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 июня 2000 г. № 466-37 «Об утверждении положения о создании и подготовке специальных формирований, предназначенных при объявлении мобилизации для передачи в Вооруженные Силы Российской Федерации или использования в их интересах, а также в интересах экономики Российской Федерации».
9. Жуков Г. П., Викулов С. Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций. М., 1987. 440 с.

### References

1. Decree of the President of the Russian Federation No. 400 dated July 2, 2021 «On the National Security Strategy of the Russian Federation».
2. Decree of the President of the Russian Federation No. 696 of December 20, 2016 «On Approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation in the field of civil defense for the period up to 2030».
3. Federal Law No. 28-FZ of February 12, 1998 «On Civil Defense».
4. Dossier dated September 6, 2021 on the draft Law of the Republic of Kazakhstan «On amendments and Additions to Some legislative Acts of the Republic of Kazakhstan on the introduction of service in the reserve». URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=38485441#pos= 3;-106](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=38485441#pos=3;-106).
5. Freidenberg A. G., Ziyadinov Sh. O. Analysis of the recruitment of territorial troops by citizens in reserve to combat the pandemic during the introduction of the state of emergency in the Republic of Kazakhstan // Collection of abstracts and reports of the XII International Scientific and Practical Conference «Actual problems of fire safety, prevention and liquidation of emergency situations». Kokshetau, 2021. Pp. 231–235.
6. Kondratiev E. B., Mazanik A. I., Freidenberg A. G., Veselov A. V. Analysis of factors influencing the choice and justification of a rational method of recruiting civil protection units by citizens staying in reserve (on the example of the Republic of Kazakhstan) // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2021. No. 4. Pp. 121–127.
7. Kondratiev E. B., Mazanik A. I., Freidenberg A. G., Kairbekov K. K. The possibilities of using the well-known scientific and methodological apparatus to substantiate the rational option of recruiting special civil defense formations // Modern problems of civil protection. 2022. No. 2 (43). Pp. 20-27.
8. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 466-37 of June 20, 2000 «On Approval of the Regulations on the Creation and Training of Special Formations Intended for Transfer to the Armed Forces of the Russian Federation or Use in Their Interests, as Well as in the Interests of the Economy of the Russian Federation, when Mobilization is Announced».
9. Zhukov G. P., Vikulov S. F. Military-economic analysis and operations research. M., 1987. 440 p