

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ <i>Королёв Д. С.</i>	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ <i>Кокшаров А. В., Осипенко С. И., Гайнуллина Е. В., Крехтунов А. А.</i>	11
К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ <i>Карпузииков А. А., Дьяков В. Ф., Кокшаров А. В., Дьяков М. В., Ставринуиди С. Ю., Белкин Д. С.</i>	16
ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД УЧЕТА НАЛИЧИЯ ВЕТРА ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПОЖАРА ПРОЛИВА ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ <i>Зыков П. И., Субачев С. В., Субачева А. А.</i>	28
ОБ АКТИВНОМ СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТОПЛИВОМ ДИЗЕЛЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ <i>Савин М. А., Федотов В. В., Борисов А. Л.</i>	34
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕННОГО ПОРЯДКА УЧЕТА ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ НА ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА <i>Крехтунов А. А., Шавалеев М. Р., Кокшаров А. В., Ефимов И. А., Перевалов А. С., Черепанов Е. А.</i>	45
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ОЧАГА ПОЖАРА <i>Шархун С. В., Ожегов Э. А., Мокроусова О. А., Ширинкин П. В.</i>	50
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ <i>Киселев В. В., Топоров А. В., Зарубин В. П., Яковенко Т. А., Сайкин М. С.</i>	57
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ <i>Опарин И. Д., Яшин А. А., Терентьев В. В.</i>	64

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО: АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И СООТВЕТСТВИЯ СОВРЕМЕННЫМ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ В ОБЛАСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ <i>Тужиков Е. Н., Стахеев М. В., Дульцев С. Н.</i>	80
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕВАТОРНОЙ СИСТЕМЫ <i>Бараковских С. А., Карама Е. А., Коньков В. Ф., Попова С. В.</i>	87
АППРОКСИМАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОТ ВОЗРАСТА ВИНОВНИКА <i>Кайбичев И. А., Барбин Н. М.</i>	93
ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ СТРУЙНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ В РЕЖИМЕ ДЫМОУДАЛЕНИЯ <i>Шархун С. В., Ожегов Э. А., Франкевич А. Е., Седов Д. В., Шубкин Р. Г., Колбин Т. С.</i>	100
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕН- ТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ С ВЫСО- КОСКОРОСТНОЙ ПОДАЧЕЙ ЖИДКОСТИ <i>Пахомов Г. Б., Дульцев С. Н., Тужиков Е. Н.</i>	107

УДК 614.849

otrid@rambler.ru

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ****CONCEPTUAL METHODOLOGY FOR ENSURING FIRE SAFETY
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

*Королёв Д. С., кандидат технических наук,
Воронежский государственный
технический университет, Воронеж*

*Korolev D. S.,
Voronezh state technical university, Voronezh*

В статье проводится анализ основных налоговых резидентов Российской Федерации. Отмечено, что основной вклад в бюджет страны вносит нефтегазовый сектор (около 50 %). Однако на сырьевую экономику России влияют различные факторы, в том числе санкционные. Поэтому нефтегазодобытчикам необходимо развивать нефтегазовую отрасль путем внедрения инновационных технологий.

Стоит отметить, рассматриваемая отрасль является одной из наиболее взрывопожароопасной, следовательно требует пристального внимания с точки зрения обеспечения пожарной безопасности. Таким образом, автором статьи показана иерархия управления нефтегазовым комплексом, предложена концептуальная методология обеспечения пожарной безопасности путем применения интеллектуального способа прогнозирования пожароопасных свойств веществ продуктов нефтепереработки при помощи молекулярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: молекулярные дескрипторы, искусственные нейронные сети, пожарная безопасность, нефтегазовый комплекс, иерархия.

The scientific article analyzes the main tax residents of the Russian Federation. It was noted that the main contribution to the country's budget is made by the oil and gas sector (about 50 %). However, various factors, including sanctions, affect the Russian raw materials economy. Therefore, oil and gas producers need to develop the oil and gas industry through the introduction of innovative technologies.

It is worth noting that the industry in question is one of the most explosive and fire hazardous, and, therefore, requires close attention from the point of view of ensuring fire safety. Thus, the author of the article shows the hierarchy of controlling the oil and gas complex, proposes a conceptual methodology for ensuring fire safety by using an intelligent method for predicting the fire hazard properties of substances in oil products using molecular descriptors and artificial neural networks.

Keywords: molecular descriptors, artificial neural networks, fire safety, oil and gas complex, hierarchy.

Основным драйвером экономического развития Российской Федерации является нефтегазовая отрасль. Поэтому неудивительно, что запущенные Западом санкции были направлены на этот сектор экономики. Основная цель – это создание проблем с применением технологий, которые в России в тот момент еще не получили должного развития и без которых российский топливно-энергетический комплекс (далее – ТЭК) должен был потерять лидерство на мировом рынке углеводородов и продуктов их переработки. В частности, санкционные ограничения коснулись освоения труднодоступных ресурсов, залежей сланцевой нефти, а также разра-

ботки глубоководных месторождений в Арктике, то есть тех проектов, с которыми во многом связывается будущее нефтегазовой отрасли страны.

Исследования экономистов подтверждают сохранение высокой степени доминирования нефтегазового сектора в налоговых сборах. Во многом это связано с концентрацией капитала – она такова, что в России почти нет нефтегазового бизнеса, который можно назвать средним или крупным, остались только «супергиганты» («Газпром», «Роснефть», «Лукойл» и др.). На рис. 1 представлено распределение налоговых отчислений компаний из ТОП-50 по секторам экономики.

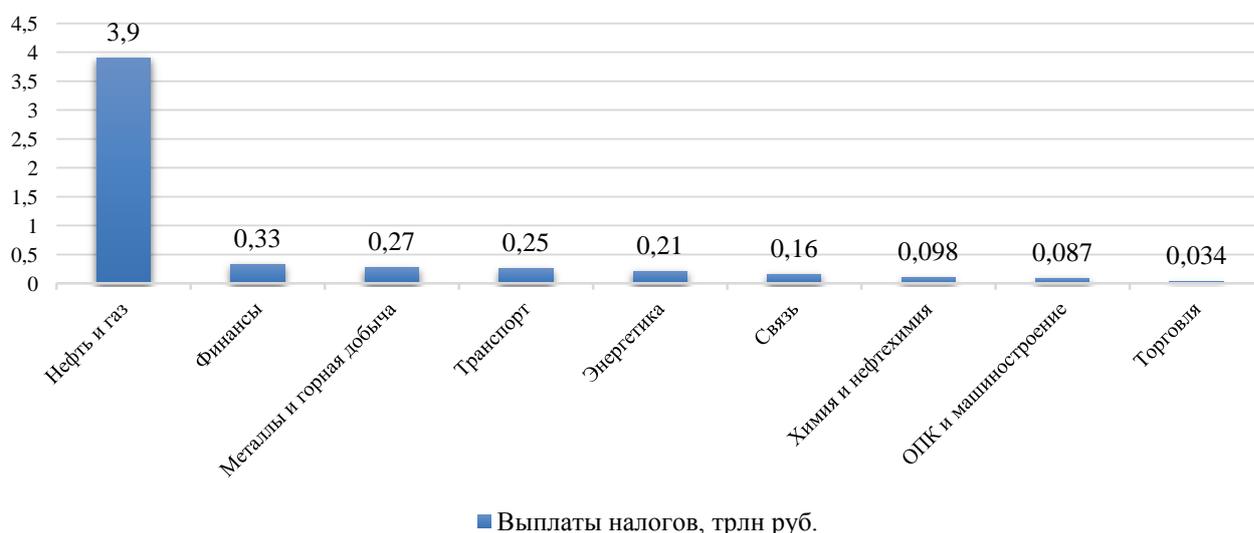


Рисунок 1. Распределение налоговой базы по секторам экономики

Анализируя диаграмму, представленную на рис. 1, можно отметить, что вторым, после нефтегазового сектора, по объему собираемых налогов стал финансовый сектор. Здесь учитывались результаты не только банков, но и не банковских организаций, в частности страховые компании. На третьем месте расположился сектор металлов и горной добычи, крупнейшим налогоплательщиком является «Норникель».

Таким образом, сырьевая экономика России играет большую роль в развитии страны, но сама по себе является за-

висимой от многих факторов: санкций, курса валют и др.

С каждым годом в решении этой проблемы все большую поддержку оказывают отечественные машиностроители, государство, а в соответствии с Указом президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» определены основные цели развития страны, среди которых можно выделить некоторые: ускорение технологического развития Российской Федерации, увели-

чение количества организаций, осуществляющих технологические инновации, внедрение цифровых технологий [1]. Вследствие чего, уже в 2019 году был создан научно-технический базис, позволивший модернизировать нефтегазовую отрасль экономики, технологический прогресс во всей производственной цепочке добычи нефти и газа. Это позволило нефтегазовому ТЭК выдержать удар, а нефтегазодобытчикам удалось сохранить высокие объемы добычи нефти и газа и свое место на мировых рынках этих продуктов.

Стоит отметить, что создание умного нефтегазового комплекса требует нового мышления и технологий. Это связано в первую очередь с тем, чтобы сделать добычу нефтегазовых ресурсов эффектив-

ной, интегрированной и экологически чистой. Причем интеллектуальный нефтегазовый комплекс должен быть ориентирован на существенный рост производительности труда, сокращение трудовых и материальных ресурсов, снижение капитальных и эксплуатационных затрат. Не стоит забывать и о том, что нефтегазовая отрасль является взрывопожароопасной, следовательно, наряду с внедрением инновационных технологий в технологический процесс, необходимо применять интеллектуальные способы обеспечения пожарной безопасности.

На рис. 2 представлена концепция построения иерархической системы управления нефтегазовым комплексом.

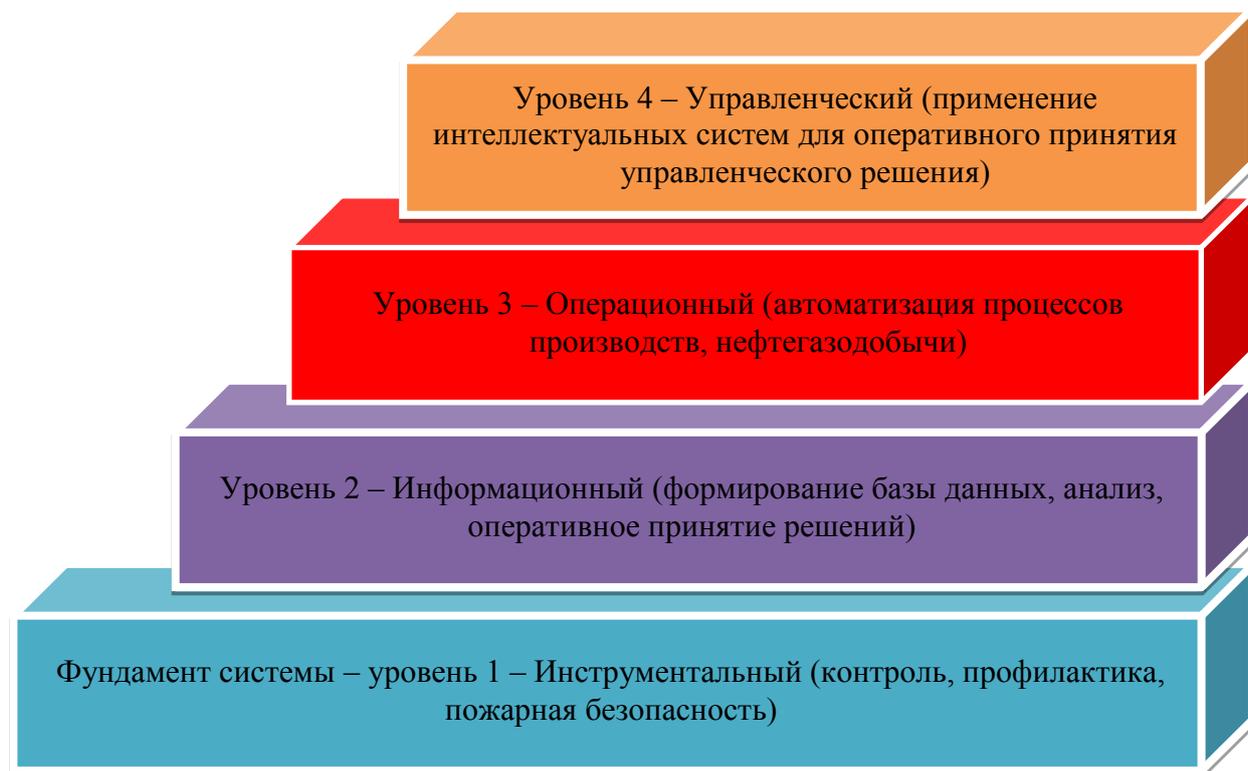


Рисунок 2. Иерархия управления нефтегазовым комплексом

Таким образом, анализируя концепцию управления интеллектуальным нефтегазовым комплексом, заметим, что базой является своевременный контроль и обеспечение пожарной безопасности. Это позволит исключить материальный ущерб

и человеческие жертвы при внедрении и апробации инновационных технологий.

Согласно сведениям государственного реестра Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), на террито-

рии Российской Федерации в период 2015–2019 гг. произошло 329 аварий на объектах нефтегазового комплекса. Результатом чего стало появление целого комплекса экономических, экологических и социальных проблем. Для их деактуализации необходимо принятие оперативных управленческих решений.

В качестве технического решения проблемы выступает разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования, конструкций, зданий и сооружений, чему соответствует современный способ прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки на основе молеку-

лярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей [2].

В основу концепции предлагаемого способа прогнозирования заложен принцип компьютерного моделирования пожароопасных свойств веществ при помощи оригинальной компьютерной программы «Нейропакет КДС 2.0» [2, 3].

В основу работы программы заложен модифицированный алгоритм, в котором используется полносвязная нейронная сеть, т. е. сеть, состоящая из нескольких слоев нейронов, причем каждый нейрон слоя i связан с каждым нейроном слоя $i+1$. Такой подход позволяет создать многослойный персептрон, а для обучения искусственной нейронной сети применяется алгоритм обратного обучения ошибки. На рис. 3 представлена схема алгоритма.

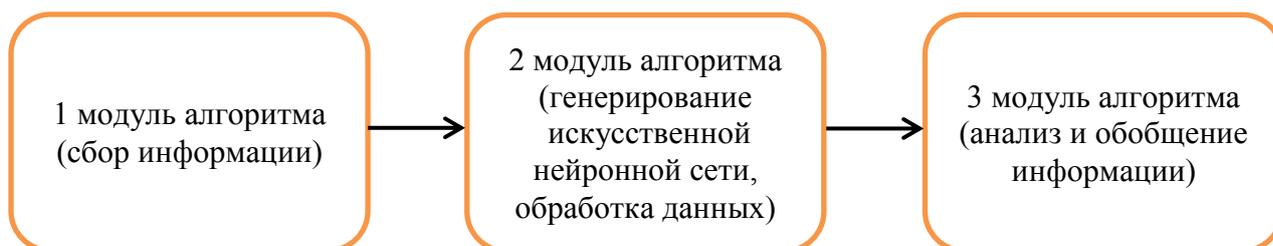


Рисунок 3. Схема трехуровневого алгоритма

1. Модуль сбора информации. Для обучения формировали выборку из веществ, содержащихся в базе данных. Совокупность входных данных загружается из файла, создаваемого пользователем по результатам работы. В процессе обучения возможно изменение управляющих параметров алгоритма обучения: выбор способа нормализации, скорости обучения (величина шага при обучении весов), коэффициента инерции и ряда других. После окончания этапа обучения это вещество добавляется в классификационную базу данных программы, и устройство готово к основному режиму работы.

2. Обработка данных. Этот модуль предназначен для тестирования эффективности работы искусственной нейронной сети. По результатам оценки эффек-

тивности работы сети программа выдает сообщение, информирующее пользователя об успешном или неудачном обучении нейронной сети. При успешном обучении НС, программа предлагает пользователю поместить результаты обучения в общую базу данных.

3. Анализ и обобщение информации. Для проведения анализа органических соединений необходимо установить соответствующие настройки сети, сохраненные после обучения. Результат выполнения программы формируется в виде отчета, содержащего сведения об исследуемом веществе, и на выходе получаем тот пожароопасный показатель, необходимый для разработки систем обеспечения пожарной безопасности.

Это позволяет определить различные пожароопасные показатели органических соединений в режиме реального времени, без проведения сложного технологического процесса (эксперимента), а также возможно определение свойств не синтезированных веществ. Полученные сведения позволят разработать комплекс технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности в нефтегазовой отрасли [3].

В качестве примера, осуществим прогнозирование температуры вспышки. Выбор такого пожароопасного показателя обусловлен несколькими факторами. Это наличие широкой базы экспериментальных данных, а также использование его при категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, определении класса зоны помещений.

Объектом исследования выбраны органические кислородсодержащие вещества, содержащие аминогруппу (амины и амиды карбоновых кислот).

Так, амины и амиды применяются в нефтегазовой отрасли в качестве растворителя для очистки бензина от меркапта-

нов, а также при выделении толуола как реагент в борьбе с гидратообразованием и, частично, как реагент для осушки природного газа, а также в качестве ингибитора гидратов, образующихся в газопроводах, высокооктановой добавки к топливу, которая повышает мощность двигателя, резко снижая при этом количество выхлопных газов.

В то же время рассматриваемые вещества являются очень токсичными, а некоторые из них канцерогенными, что создает некоторые трудности при работе с такими соединениями при определении пожароопасных показателей, следовательно невозможна разработка системы обеспечения пожарной безопасности.

Для каждого из исследуемых соединений рассчитан набор дескрипторов, включающий конституциональные и электростатические дескрипторы, топологические и геометрические индексы, дескрипторы частично заряженной площади поверхности, содержащиеся в базе данных [4]. В ходе исследований установлено, что достаточной информативностью обладают следующие дескрипторы (таблица 1).

Таблица 1
Характеристика молекулярных дескрипторов

Название дескриптора	Обозначение	Характеристика
<i>Индекс Винера</i>	W	Описывает только скелет молекулы без учета вида атомов, присутствующих в ней. Учитывает количество и положение ответвлений от основной углеродной цепи
<i>Индекс Рандича</i>	χ	Учитывает количество разветвлений в молекулах и повышается с увеличением их числа и длины углеродной цепи
<i>Гравитационный индекс (все пары)</i>	G_p	Определяется только составом вещества и имеет одинаковые значения для всех изомеров
<i>Гравитационный индекс (все связи)</i>	G_b	Учитывает виды атомов, входящих в состав соединения, характеризует как строение скелета молекулы, так и положение функциональной группы
<i>Площадь поверхности</i>	S_M	Характеризует скелет молекулы, уменьшается при ее разветвлении
<i>Молекулярный объем</i>	V_M	Зависит от наличия и количества разветвлений в структуре молекулы
<i>Частично положительно заряженная площадь</i>	$PPSAI$	Объединяет информацию о площади поверхности молекулы и частичных зарядах на атомах

В ходе анализа выявлено, что все приведенные в таблице 1 дескрипторы характеризуются достаточно высокой корреляцией с температурой вспышки, причем только для индекса Винера эта взаимосвязь удовлетворительно описывается степенной функцией, а для остальных дескрипторов носит линейный характер.

Для прогнозирования температуры вспышки необходимо использовать специальный набор описывающих нейросетевые модели статистических характеристик, значения которых, в отличие от значений весовых коэффициентов нейросетей, почти не меняются при перестроении моделей, слабо зависят от числа скрытых нейронов и вполне могут быть использованы для интерпретации нейросетевых моделей. Более того, с их помощью можно анализировать соотношения «структура-свойство» и «структура-активность», которые обычно невозможно извлечь при помощи стандартных статистических подходов и которые могут быть важны для понимания соответствующих физико-химических свойств веществ [5].

Пусть функция f линейна по переменным x и y :

$$f(x, y) = a \cdot x + b \cdot y + c.$$

Значения коэффициентов a , b и c такой функции могут быть найдены по методу множественной линейной регрессии исходя из известных значений x , y и f для набора описываемых ими объектов (точек). Влияние x на f описывается при помощи коэффициента a , представляющего собой значение частной производной функции f по отношению к переменной x , причем оно одинаково для всех объектов.

По аналогии, влияние y на f выражается посредством коэффициента b , равного одинаковым значениям частной производной функции f по отношению к переменной y на всех N объектах выборки.

Таким образом, уравнение линейной регрессии может быть интерпретировано при помощи регрессионных коэффициентов a и b , выражающих влияние соответствующих переменных на значение функции. Заметим, что основная идея подхода состоит в использовании статистических характеристик, основанных на коэффициентах в разложении функции по Тэйлору – Маклорену. В таблице 2 представлены аппроксимационные зависимости, которые будут реализованы объектно-ориентированным продуктом, моделирующим работу искусственных нейронных сетей [6].

Таблица 2
Аппроксимационные уравнения для прогнозирования $T_{всп}$

Класс соединений	Уравнение для прогнозирования $T_{всп}$, К	R^2
Первичные алифатические амины	$T_{всп} = 189,835 + 0,074G_b + 0,28S_M - 0,118V_M + 0,123PPSA1$	0,9976
Вторичные алифатические амины	$T_{всп} = 172,8 + 0,582S_M$	0,991
Третичные алифатические амины	$T_{всп} = 191,467 + 14,122\chi + 0,753G_b - 0,153G_p + 0,191S_M - 2,471V_M$	0,9943
Первичные бензоламины	$T_{всп} = 291,8 + 0,52V_M$	0,9950
Вторичные бензоламины	$T_{всп} = 303,1 + 0,322S_M$	0,9871
Третичные бензоламины	$T_{всп} = 254,8W^{0,07}$	0,9690

Первичные фенилалкиламины	$T_{всп} = 256,518 - 9,737W^{0,4357} + 0,036G_b + 0,435S_M + 0,251PPSAI$	0,9466
Третичные алифатические амиды	$T_{всп} = 296,255 + 0,716S_M - 0,634V_M + 0,061PPSAI$	0,9993

Проведена корреляция между экспериментальными и спрогнозированными значениями температуры вспышки для алифатических аминов. Прогнозирование температур вспышки соединений осуществлялось при помощи молекулярных де-

скрипторов и искусственных нейронных сетей, реализуемых компьютерной программой. В таблице 3 приведены результаты апробации для гомологического ряда третичных алифатических амидов.

Таблица 3
Результаты апробации способа прогнозирования $T_{всп}$

Название соединения	$T_{всп}$, К		ΔT , К
	Справочная	Расчетная	
N,N-диэтилметанамид	338,15	339,97	1,8
N,N-диметилэтанамид	336,15	330,18	5,9
N,N-диэтилпропанамид	346,15	350,39	4,2
N,N-диизопропилэтанамид	348,15	351,02	3,9
N,N-дипропилэтанамид	351,15	352,01	0,8
N,N-дипропилметанамид	357,15	353,46	3,6
N,N-дибутилпропанамид	365,65	376,57	10,9
N,N-дибутилэтанамид	380,15	376,39	3,7
N,N-диэтилодеканамид	–	430,12	–
N,N-диэтилоктадеканамид	–	490,77	–
Среднее абсолютное отклонение, К			5,5
Средняя квадратическая погрешность, К			6,4

Из данных таблицы 3 следует, что способ прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки на основе молекулярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей позволяет с удовлетворительной точностью оценить температуру вспышки исследуемых соединений, но и другие показатели вещества.

Наибольшее значение средней квадратичной погрешности составляет ~10 К (°С), что ниже погрешности стандартного метода расчета температу-

ры вспышки (ГОСТ 12.1.044–89*). Среднее абсолютное отклонение не превышает 8 К (°С). Преимуществами предлагаемого метода прогнозирования температуры вспышки являются его простота и удовлетворительная точность, а также отсутствие необходимости использования дополнительных экспериментальных данных [7].

Кроме того, полученные значения позволяют провести категорирование помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, определить классы зон поме-

щений и тем самым разработать комплекс мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (01.02.2020).
2. Королев Д. С., Калач А. В., Сорокина Ю. Н. Сравнительный анализ способов прогнозирования физико-химических свойств веществ // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2016. № 1. С. 78–84.
3. ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. База данных химических соединений PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search> (01.02.2020).
5. Королев Д. С., Калач А. В., Каргашиллов Д. В. Прогнозирование температуры вспышки с помощью нейропакета КДС 1.0 на примере сложных эфиров масляной кислоты // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 3. С. 21–26. DOI:10.18322/PVB.2016.25.03.21-26.
6. Королев Д. С. Выбор температурного класса взрывозащищенного электрооборудования при проектировании производственных помещений с использованием дескрипторов и нейронных сетей // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 1 (14). С. 27–31.
7. Королев Д. С., Калач А. В. Прогнозирование пожароопасных свойств веществ: монография. Воронеж, 2018. 100 с. ISBN 978-620-2-07440-7.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 No. 204 «On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024». URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/11246/84473> (01.02.2020).
2. Korolev D. S., Kalach A. V., Sorokina YU. N. Sravnitel'nyj analiz sposobov prognozirovaniya fiziko-himicheskikh svoystv veshchestv // Vestnik universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2016. № 1. P. 78–84.
3. State standard 12.1.044–89*. System of occupational safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their definition (in Russ.).
4. Baza dannyh himicheskikh soedinenij PubChem. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search/> (data obrashcheniya (01.02.2020).
5. Korolev D. S., Kalach A. V., Kargashilov D. V. Prognozirovaniye temperatury vspyshki s pomoshch'yu neyropaketa KDS 1.0 na primere slozhnykh efirov maslyanoy kisloty // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 3. P. 21–26. DOI:10.18322/PVB.2016.25.03.21-26.
6. Korolev D. S. Vybor temperaturnogo klassa vzryvozashchishchennogo elektrooborudovaniya pri proyektirovaniy proizvodstvennykh pomeshcheniy s ispol'zovaniyem deskriptorov i neyronnykh setey // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2015. № 1 (14). P. 27–31.
7. Korolev D. S., Kalach A. V. Prognozirovaniye pozharoопасnykh svoystv veshchestv: monografiya. Voronezh, 2018. 100 p. ISBN 978-620-2-07440-7.

УДК 614.844.5:66.069.855

koksharovab@e1.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ**INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE THERMAL STABILITY OF FOAM ON THE CONCENTRATION OF THE FOAMING AGENT**

*Кокшаров А. В., кандидат химических наук, Осипенко С. И.,
Гайнуллина Е. В., кандидат технических наук, доцент,
Кректунов А. А., кандидат сельскохозяйственных наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Koksharov A. V., Osipenko S. I., Gaynullina E. V., Krektunov A. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В работе изучена зависимость термической устойчивости пены от концентрации пенообразователя. Установлено, что наибольшая устойчивость к температурному воздействию у пены, полученной из синтетических пенообразователей, наблюдается при концентрации близкой к пределу пенообразующей способности. Термическая устойчивость пены, полученной из фторсинтетических (плёнкообразующих) пенообразователей, возрастает с увеличением концентрации пенообразователя.

Ключевые слова: термическая устойчивость пены, устойчивость пены, стабильность пены, синерезис, пенообразователь, воздушно-механическая пена, фторсинтетический пенообразователь, кратность пены.

The dependence of the thermal stability of the foam on the concentration of the foaming agent is studied. It was found that the foam obtained from synthetic foaming agents has the highest resistance to temperature effects, observed at a concentration close to the limit of foaming capacity. The thermal stability of the foam obtained from fluorosynthetic (film-forming) foaming agents increases with increasing concentration of the foaming agent.

Keywords: thermal stability of foam, foam stability, syneresis, foaming agent, air-mechanical foam, fluorosynthetic foaming agent, foam multiplicity, the density of the foam.

В нашей стране производится широкий ассортимент пенообразователей для тушения пожара. Разнообразие марок, с одной стороны, продиктовано эксплуатационными качествами (температура замерзания, концентрация рабочего раствора, способ применения), с другой – составом (химический класс поверхностно-активных веществ, наличие добавок) [1].

Концентрация одного и того же пенообразователя в рабочем растворе для получения пены может отличаться в зависимости от вида пеногенерирующего обо-

родования. В сетчатых пеногенераторах (ГПС-600, «Пурга») используют растворы с концентрацией 6 %, а в стволах, работающих на принципе эжекции воздуха (СВП, ОПТ), растворы того же пенообразователя применяются с концентрацией 4 %. Это обусловлено способностью вспенивания в высокодинамичном режиме работы пеногенерирующих устройств. Сетчатые пеногенераторы характеризуются большей производительностью по объёму пены, следовательно, скорость производства пенных плёнок, из которых форми-

руются пузырьки пены, будет очень высокой. Снижение концентрации пенообразователя не позволяет быстро сформировать адсорбционный слой из молекул ПАВ на пенной плёнке. В результате этого на пленке образуются области, обеднённые молекулами ПАВ, что приводит к появлению разрывов и разрушению пены. Проведенными ранее исследованиями [2] показано, что вследствие этого явления из растворов с низкой концентрацией ПАВ удаётся получить пену только при снижении скорости движения газо-жидкостного потока.

В стволах СВП и в системах получения компрессионной пены перемешивание воздуха с раствором осуществляется за счёт мощных турбулентных потоков, что позволяет получать пену из растворов с меньшей концентрацией пенообразователя.

При подаче пены в зону горения она подвергается мощному тепловому воздействию от факела пламени, которое приводит к её разрушению и снижению интенсивности накопления на горючих веществах. Поэтому термическая устой-

чивость пены играет важную роль при тушении пожара, и возможность оценить её у пены, полученной из различных марок пенообразователей, а также исследовать влияние концентрации пенообразователя на термическую устойчивость пены представляет практический интерес.

Исследования термической устойчивости пены проводили с использованием синтетических (ПО-6, ПО-6РЗ, ПО-6ТС-М) и пленкообразующих (фторсинтетических: Меркуловский, Нижегородский АFFF, ПО-63АF и Мультипена) пенообразователей на установке, описанной ранее [3, 4]. В испытаниях использовали пену кратностью 20, полученную из растворов с концентрацией пенообразователя 6 %. Термическую устойчивость пены оценивали по времени полного разрушения объёма пены.

В результате испытаний, сведенных в таблицу, было установлено, что термическая устойчивость фторсинтетических пленкообразующих пенообразователей почти в два раза превосходит синтетические.

*Таблица
Время полного разрушения пены, с*

Пенообразователь синтетический		Пенообразователь плёнкообразующий	
ПО-6ТС-М	63	ПО-63АF	108
ПО-6	66	Мультипена	111
ПО-6РЗ	85	Меркуловский	113
		Нижегородский АFFF	130

Предположительно это связано с тем, что перфторированные поверхностно-активные вещества с повышением температуры не так быстро теряют свои адсорбционные свойства, как синтетические. Поэтому высокая огнетушащая эффективность пены, полученной из фторсинтетических пенообразователей [5], связана не только со способностью образовывать водяную плёнку на поверхности горючего вещества, но и дольше сохранять объем в

условиях пожара, обеспечивая изолирующее действие.

Чтобы оценить влияние содержания пенообразователя на скорость разрушения пены, были проведены эксперименты в аналогичных описанным выше условиях, в которых определяли время полного разрушения пены. Кратность пены в испытаниях также составляла 20.

В результате испытаний установили, что характер зависимости термической устойчивости пены, полученной из синте-

тических и фторсинтетических пенообразователей, от концентрации пенообразователя отличается друг от друга (рис. 1). С повышением концентрации фторированных ПАВ устойчивость пены стремительно возрастает в диапазоне концентраций от 3 до 6 %, а после наблюдается лишь незначительное её увеличение. При концентрации пенообразователя менее 2 % пену кратностью 20 получить не удалось, поскольку после механического взбивания она быстро разрушалась.

С понижением концентрации синтетических пенообразователей устойчивость пены к температурному воздействию увеличивается, и максимальная термическая устойчивость пены наблюдается на пределе пенообразующей способности (рис. 2). Наибольшая термическая устойчивость пены для ПО-6 наблюдается при 3 %, для ПО-6ТС-М – при 1 %, что значительно ниже концентрации рабочих растворов.

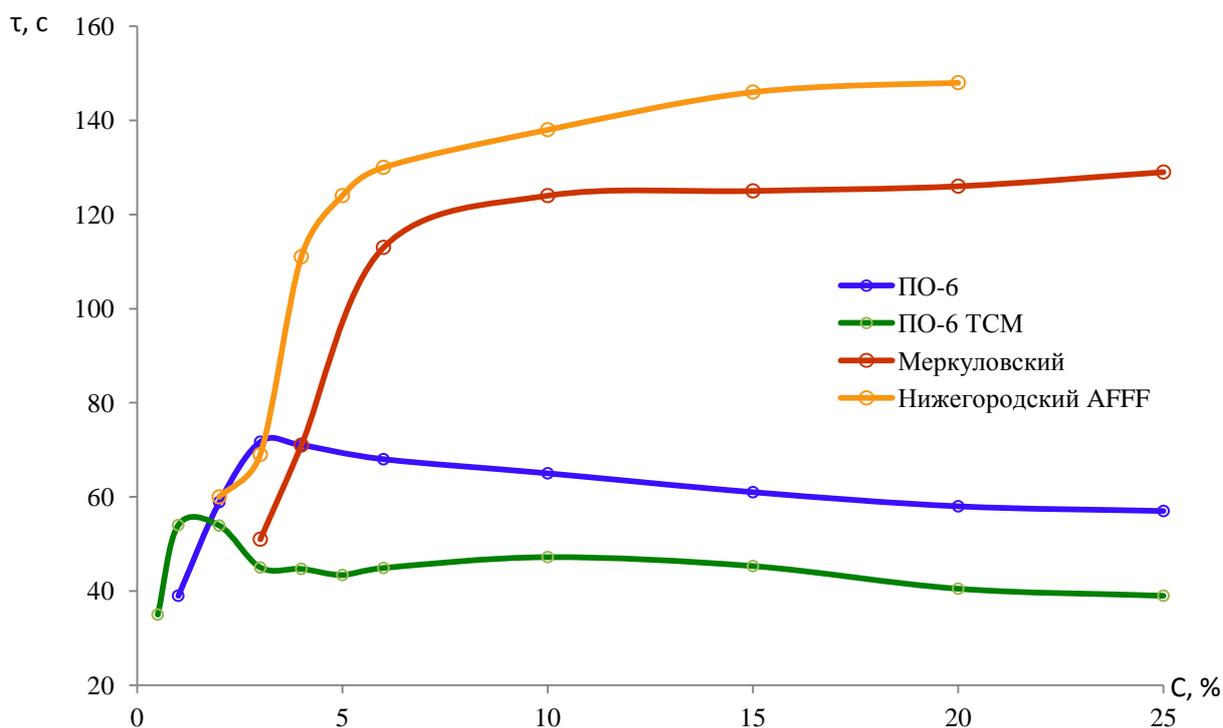


Рисунок 1. Зависимость времени разрушения пены (τ) от концентрации пенообразователя (C)

Следующим этапом исследования явилось изучение влияния кратности пены на зависимость термической устойчивости от концентрации пенообразователя.

По результатам проведенных испытаний было установлено, что кратность пены не оказывает никакого влияния на характер выявленной зависимости (рис. 1)

у фторсинтетических пенообразователей (рис. 2).

Близкие результаты у пены кратностью 10 и 20 можно объяснить влиянием синерезиса, который приводит к обеднению содержания жидкости в пене, в результате термическому воздействию подвергается пена с большей кратностью, чем была получена изначально (рис. 2).

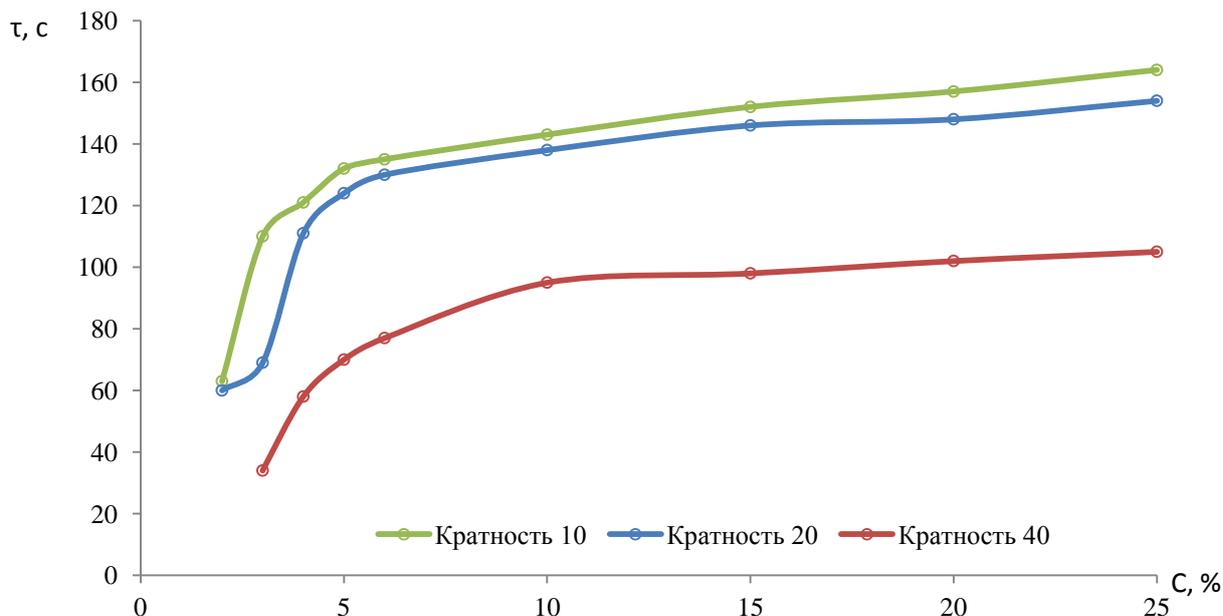


Рисунок 2. Зависимость времени разрушения пены (τ) от концентрации пенообразователя (C) для пены различной кратности, полученной из фторсинтетического пенообразователя «Нижегородский AFFF»

У синтетического пенообразователя предельная концентрация, при которой наблюдается наибольшая термическая устойчивость, незначительно смещается в область более высоких значений при сни-

жении начальной кратности пены (рис. 3). Кратность пены не влияет на характер зависимости времени разрушения пены от концентрации пенообразователя.

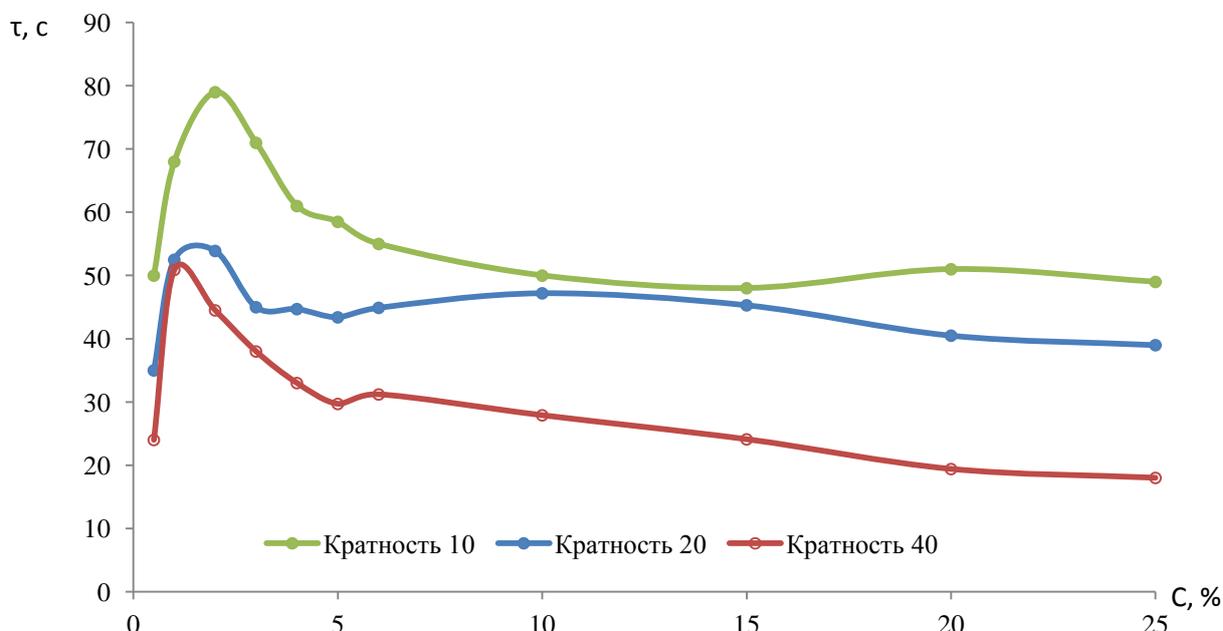


Рисунок 3. Зависимость времени разрушения пены (τ) от концентрации пенообразователя (C) для пены различной кратности, полученной из фторсинтетического пенообразователя «Нижегородский AFFF»

Таким образом, исследования показали, что для синтетических пенообразователей наибольшая термическая устойчивость наблюдается при концентрациях, близких к пределу пенообразующей способности, что значительно ниже рабочих концентраций, используемых для получения пены в подразделениях пожарной охраны. Поэтому необходимо искать пути

получения и применения для тушения пожаров пены с минимальным количеством синтетического пенообразователя.

Напротив, при использовании фторсинтетических пенообразователей снижение их концентрации приводит к снижению огнетушащей способности пены в результате уменьшения её термической устойчивости.

Литература

1. ГОСТ 50588–2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Введ. 2012-05-14. М., 2012. 24 с.
2. Кокшаров А. В., Осипенко С. И. Определение критических параметров образования пены на сетках пеногенератора средней кратности // Техносферная безопасность. 2017. № 1 (14). С. 35–38. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
3. Кокшаров А. В. и др. Стабилизация пены низкой кратности натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 10. С. 79–83.
4. Кокшаров А. В., Филиппов А. В. Способ получения пены в первичных средствах пожаротушения // Техносферная безопасность. 2013. № 1. С. 26–29. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Порядок применения пенообразователей для тушения пожаров: рекомендации. М., 2007. 59 с.

References

1. GOST 50588–2012. Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Vved. 2012-05-14. M., 2012. 24 s.
2. Koksharov A. V., Osipenko S. I. Opredelenie kriticheskikh parametrov obrazovaniya peny na setkah penogeneratora srednej kratnosti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2017. № 1 (14). S. 35–38. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
3. Koksharov A. V. et al. Stabilizaciya peny nizkoj kratnosti natrievoj sol'yu karboksimetilcellulyozy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2014. T. 23. № 10. S. 79–83.
4. Koksharov A. V., Filippov A. V. Sposob polucheniya peny v pervichnyh sredstvakh pozharotusheniya // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2013. № 1. S. 26–29. URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Poryadok primeneniya penoobrazovatelej dlya tusheniya pozharov: rekomendacii. M., 2007. 59 s.

УДК 614.842.8

Alexx-7777@mail.ru

**К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ
ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ****ON THE ISSUE OF MANAGING FORCES AND MEANS
FOR EXTINGUISHING FOREST FIRES**

*Карпузииков А. А.,
Дьяков В. Ф., кандидат химических наук,
Кокшаров А. В., кандидат химических наук,
Дьяков М. В., Ставриниди С. Ю., Белкин Д. С.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Karapuzikov A. A., Dyakov V. F., Koksharov A. V.,
Dyakov M. V., Stavrinidi S. Y., Belkin D. S.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье представлен обзор лесных пожаров по их количеству, а также по величине уничтоженных лесных угодий, происшедших на территории Российской Федерации за последние пять лет. Представлены основные организационные и правовые документы, регламентирующие вопросы по защите лесов от пожаров. Приведена структурно-логическая схема управления силами и средствами по тушению лесных пожаров, основанная на принципе единоначалия, которая определяет порядок управленческого взаимодействия в ходе тушения пожара непосредственно между участниками этого процесса. Дана характеристика видов лесных пожаров, а также подробное описание способов и приемов ликвидации горения лесных горючих материалов с использованием различных средств пожаротушения с демонстрацией описанных способов. Определены основные задачи, необходимые для решения в ходе проведения руководителем тушения пожара разведки лесного пожара. Для успешной реализации вопросов организации управления силами и средствами при лесном пожаре показаны основные обязанности руководителя тушения пожара, а также определены основные функции штаба по тушению лесных пожаров.

Ключевые слова: пожар, штаб по тушению лесного пожара, руководитель тушения пожара, способ тушения.

This article provides an overview of forest fires by their number, as well as by the amount of destroyed forest lands that occurred on the territory of the Russian Federation over the past five years. The main organizational and legal documents regulating the protection of forests from fires are presented. The article presents a structural and logical scheme for managing forces and means to extinguish forest fires, based on the principle of unity of command, which determines the order of management interaction in the course of extinguishing a fire between direct participants in this process. Characteristics of forest fires are given, as well as a detailed description of the methods and techniques for eliminating the burning of forest combustible materials using various fire extinguishing media with a demonstration of these methods. The main tasks necessary for solving the forest fire investigation during the fire extinguishing process are defined. For successful implementation of issues in the organization of management of forces

and means in a forest fire, the main responsibilities of the fire extinguishing Manager are shown, as well as the main functions of the headquarters for extinguishing forest fires are defined.

Keywords: fire, headquarters to extinguish of forest fire, fire extinguishing Manager, method of extinguishing.

Сегодня защита лесов от пожаров в нашей стране имеет приоритетное направление в связи с тем, что лесные пожары не только приносят вред насаждениям, но и несут непосредственную угрозу населенным пунктам, находящимся вблизи лесных угодий.

За последнее десятилетие произошло большое количество лесных пожаров, что послужило стимулом для разработки различных организационных и нормативных правовых документов, которые направлены как на предупреждение лесных пожаров, так и на их тушение. Мероприятия по защите лесов от пожаров обеспечиваются Правительством РФ, органами государственной власти субъектов РФ, а также федеральным органом управления лесным хозяйством и его территориальными органами. Решение проблем-

ных вопросов в области защиты лесов от пожаров возлагается на лесное хозяйство и государственную лесную охрану.

В соответствии с лесным кодексом Российской Федерации [1] все леса нашей страны в обязательном порядке подлежат защите от пожаров. Главными задачами этого направления являются: предупреждение лесных пожаров; при возникновении пожаров – ограничение их дальнейшего распространения; непосредственное тушение лесных пожаров.

Анализ данных по лесным пожарам в Российской Федерации за последние годы показывает уменьшение общего числа, однако 2019 год стал рекордно высоким по их общему числу, по сравнению с другими годами рассматриваемого периода (рис. 1).

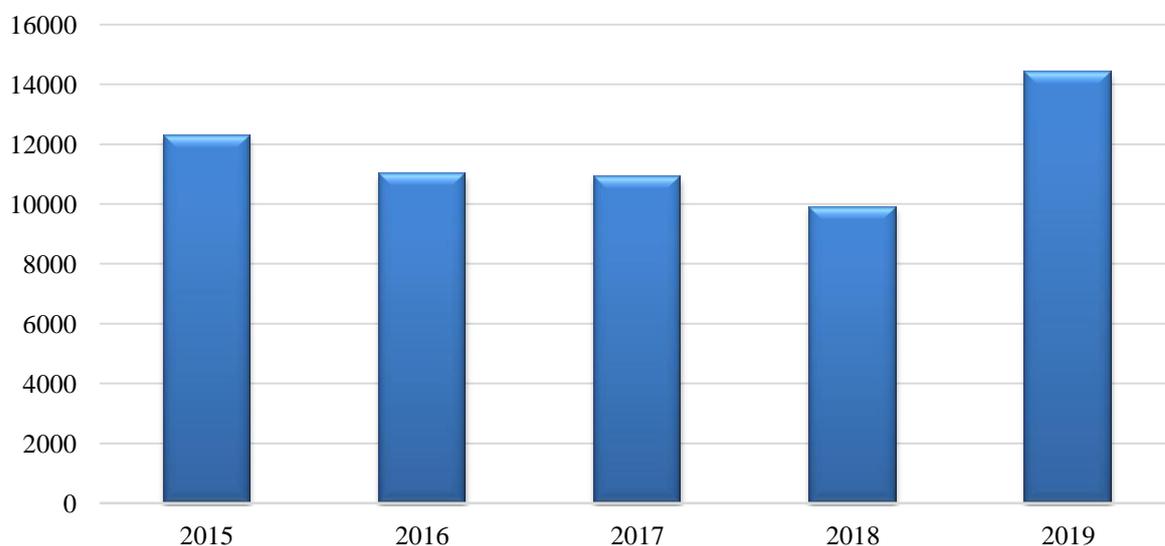


Рисунок 1. Количество лесных пожаров на территории РФ за период с 2015 по 2019 гг.

По количеству уничтоженных лесных угодий мы также наблюдаем, что 2019 год является наиболее выделяющим-

ся по количеству уничтоженных лесных насаждений (рис. 2).

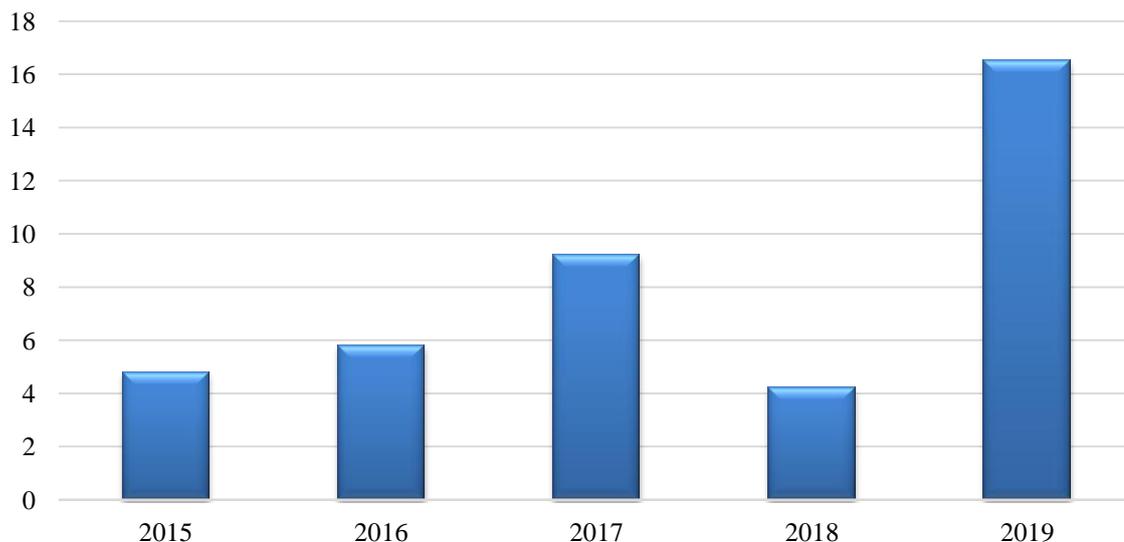


Рисунок 2. Площадь лесного фонда РФ уничтоженного огнем, млн га за период с 2015 по 2019 гг

Для предупреждения лесных пожаров в пожароопасный период разрабатываются дополнительные документы: о введении особого противопожарного режима; об ограничении доступа людей в леса; о запрете сжигания сухой травы.

Согласно постановлению Правительства РФ [2] ежегодно не позднее 1 февраля в каждом регионе Российской Федерации разрабатываются планы тушения лесных пожаров, которые состоят из текстовой и графической части. Этот документ также регламентирует порядок привлечения сил и средств на тушение возникших лесных пожаров на территории региона. Порядок привлечения сил и средств МЧС России для тушения лесных пожаров осуществляется в соответствии с приказом МЧС России № 228 от 4.04.2013 [3].

Руководство по тушению лесных пожаров осуществляется специально подготовленными работниками лесной охраны, у которых имеется опыт по организации и управления тушением лесных пожаров и которые владеют способами тушения, имеют способность ориентирования в лесу [4].

Для успешного тушения лесного пожара руководитель тушения пожара

должен провести разведку, в ходе которой необходимо:

- определить безопасные места в случае опасности для личного состава, пути отхода к ним;
- определить место отдыха участникам тушения лесного пожара;
- установить характер проводимых работ на месте тушения лесного пожара;
- определить наиболее эффективные способы и средства тушения;
- определить порядок смены участников тушения пожара.

В ходе проведения разведки руководитель тушения осуществляет сбор информации с целью:

- наблюдения за развитием лесного пожара;
- принятия необходимых решений, направленных на эффективный способ проведения работ по тушению лесного пожара;
- контроля полученных результатов по выполнению работ, связанных с тушением пожара;
- определения опасных факторов для участников тушения пожара, с последующим принятием мер, направленных на недопущение получения травм.

Систему управления силами и средствами по тушению лесного пожара можно показать в виде модели и пространственной схемы, структура которой должна иметь вертикальную подчиненность, при этом руководство осуществляется на принципе единоначалия. Для рационального использования этой модели

участников тушения пожара необходимо делить на группы, численность которых не должна превышать 10 человек, которые входят в состав команд. Команды в свою очередь формируются в отряды. Такое распределение позволит эффективно осуществлять задачи, связанные с деятельностью по тушению пожаров (рис. 3).

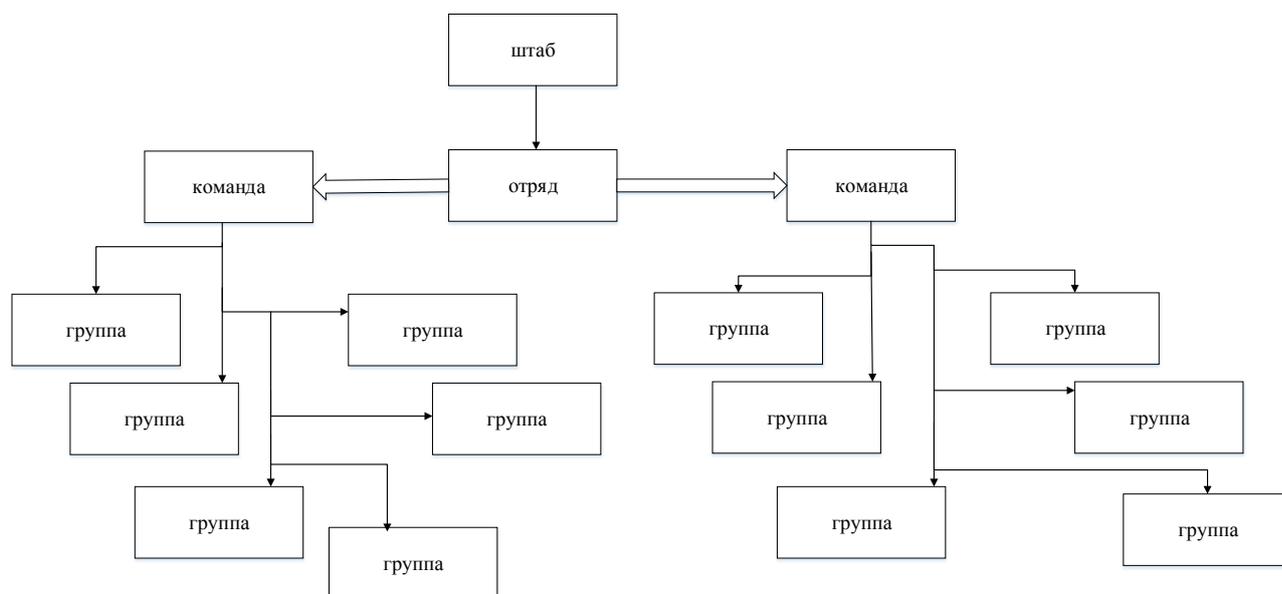


Рисунок 3. Структурно-логическая схема организации руководства тушением лесных пожаров

В ходе реализации представленной модели управления силами и средствами происходит существенное повышение результатов в скорости тушения пожара, а также в снижение материального и экологического ущерба от происшедшего пожара.

Для качественной реализации представленной модели по управлению силами и средствами при тушении пожаров необходимо создавать штаб по тушению лесного пожара на период тушения пожара, а в некоторых случаях до конца пожароопасного периода, в состав которого входят представители формирований, организаций, непосредственно участвующие и обеспечивающие процесс тушения. Возглавляет данный штаб руководитель организации, которая осуществляет деятельность в области лесных отношений на

данной территории. Основными функциями штаба являются:

- планирование действий;
- оперативное руководство участниками тушения;
- взаимодействие с другими ведомствами;
- обеспечение проводимых работ.

Управление силами и средствами при тушении лесных пожаров зависит от правильного выбора способов тушения пожара, исходя от видов пожара, которые делятся: на верховые, низовые, подземные (торфяные).

Наиболее опасным из этих пожаров считаются верховые, которые характеризуются горением крон деревьев. В свою очередь такой вид пожара делится на беглый и устойчивый.

Низовые пожары характеризуются горением надпочвенного покрова (лесная подстилка, опавшие ветки, растительность, мох и др.). Скорость таких пожаров может достигать 150–300 м/ч.

Подземные (торфяные) пожары в основном происходят от перехода низово-

го пожара в лесную подстилку, а потом в торфяной слой. Эти пожары характеризуются полным выгоранием лесной подстилки и торфа на всю глубину его заложения.

Основные параметры развития лесных пожаров приведены на рис. 4.

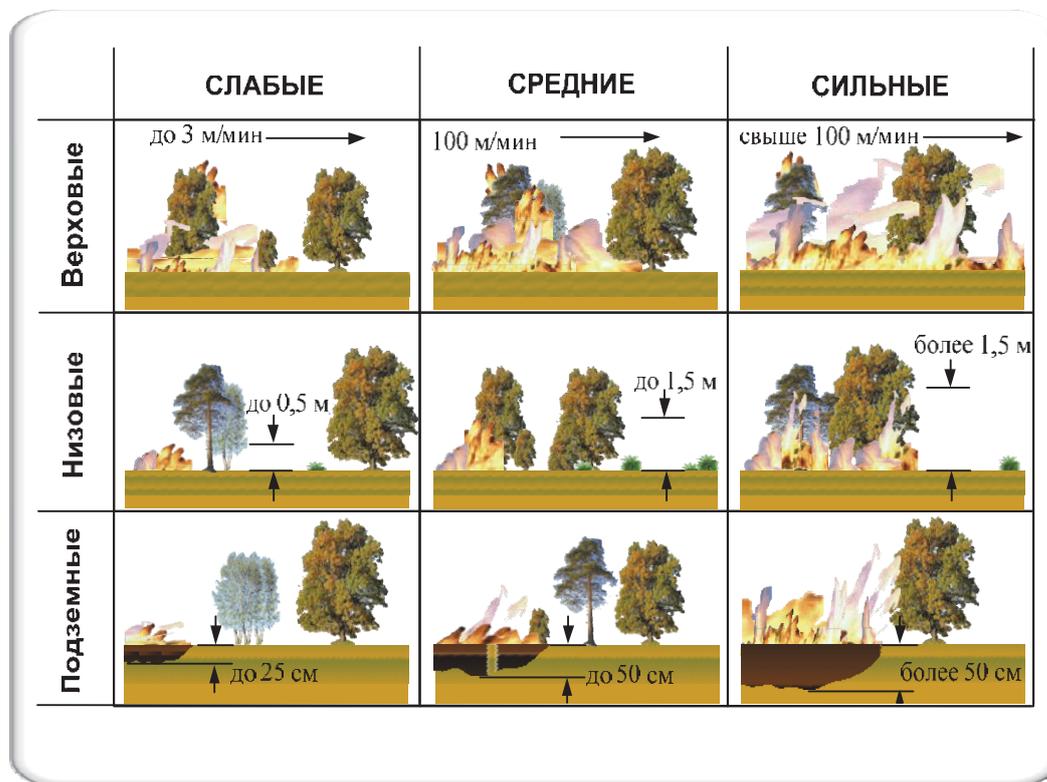


Рисунок 5. Основные параметры развития лесных пожаров

В зависимости от вида лесного пожара определяется и способ его тушения, к которым относятся: захлестывание огня; забрасывание огня грунтом; тушение с использованием воды и(или) растворами огнетушащих веществ; прокладка заградительных полос; отжиг; тушение пожаров с использованием авиации МЧС России.

Каждый из рассматриваемых выше способов направлен на результат, что отражено в таблице.

Таблица
Схемы прекращения горения

Элементы, поддерживающие горение	Направление воздействия на горение ЛГМ	Способы	Результаты
Кислород воздуха	Ограничение доступа кислорода	Захлестывание, засыпка грунтом	Прекращение горения лесных горючих материалов
Высокая температура	Снижение температуры	Водой и растворами химикатов	Охлаждение, увлажнение лесных

	лесных горючих материалов		горючих материалов и прекращение огня
Лесные горючие материалы	Изоляция или удаление лесных горючих материалов	Захлестывание, применение химикатов, прокладка противопожарных полос, выжигание лесных горючих материалов	Нейтрализация или уничтожение лесных горючих материалов и прекращение огня

Способ захлестывания огня

Этот способ является одним из самых распространённых при тушении лесных пожаров и имеет большую эффективность при тушении слабых или средних беглых пожаров. Захлестывание огня направлено на непосредственное сбитие

пламени горения по кромке пожара с применением различных подручных средств. Тушение пожара достигается за счет отрыва пламени от горящих частиц, в том числе частичного удаления их из сферы горения (рис. 5).



Рисунок 5. Тушение пожара способом захлестывания огня

А. Ю. Кудрина, Ю. В. Подrezова отмечают, что такой способ прекращения развития лесного пожара, как захлестывание кромки является самым простым и дешёвым, но применяется при определённых условиях, при этом сам процесс имеет низкую скорость тушения [5].

По нашему мнению, этот способ предполагает задействование большого количества личного состава, но в то же время можно привлекать людей без специальной подготовки (волонтеров).

Способ забрасывания огня грунтом

Этот способ в большей степени используется при пожарах на песчаных и супесчаных почвах. Грунт при помощи лопаты бросают под основание пламени и за счет этого происходит сбитие пламени на всем протяжении его осыпания. В результате этого грунт отрывает пламя, с последующей изоляцией горючих материалов от окислителя, при этом снижается скорость распространения пожара и(или) наступает его полное прекращение (рис. 6).



Рисунок 6. Тушение пожара способом забрасывания огня грунтом

Ю. И. Паньков, Г. В. Гуков в своих научных трудах отмечают, что тушение лесного пожара способом забрасывания грунтом не обеспечивает полную ликвидацию горения, так как может происходить беспламенное горение под слоем набрасываемого грунта и предлагают локализовать пожар путем создания минерализованной полосы [6].

Способ тушения огня водой и(или) с использованием растворов огнетушащих веществ

Вода за счет своих охлаждающих свойств при испарении способна поглотить огромное количества тепла, при этом

получаемый пар снижает концентрацию окислителя (кислорода в воздухе), снижает температуру в зоне горения, что в дальнейшем содействует прекращению процесса горения. Также происходит увлажнение горючих материалов. Для подачи воды можно использовать ведра, емкости, а также могут применяться ранцевые лесные огнетушители (РЛО), мотопомпы, пожарные автоцистерны и другая приспособленная техника (рис. 7). Эти технические устройства целесообразно применять при тушении низовых пожаров любой интенсивности [7].



Рисунок 7. Тушение пожара с использованием воды или растворами огнетушащих веществ

Коллектив авторов [8] по результатам исследований считает, что тушение лесных пожаров с использованием растворов воды с бентонитом, бишофитом являются наиболее эффективными. Использование таких составов позволяет уменьшить время тушения в сравнении применения воды и других добавок, а также после применения рассмотренных растворов поверхность покрывается слоем бентонита, что в дальнейшем создает дополнительную защиту от повторного возгорания.

В целом применение смачивающих составов уменьшает поверхностное натяжение воды, что улучшает ее свойство проникать в глубь горючего материала.

Способ тушения при помощи прокладки заградительных полос

Заградительные полосы выполняются при помощи механизированной техники, с использованием лопат, а также химических растворов и взрывчатых веществ. Основная функция полос заключается в изоляции горячей кромки пожара от горючих материалов или доступа воздуха (рис. 8).

Этот способ применяют при наличии угрозы насаждениям или хозяйственным объектам, населенным пунктам, а также для ограничения увеличения площади пожара.



Рисунок 8. Тушение пожара с использованием заградительных полос

Д. С. Ступников в своих трудах для прокладки опорных полос рассматривает механизированное оборудование: плуг комбинированный лесной ПКЛ-70; лесопожарный агрегат фрезерный АЛФ-10; пожарный грунтомет-полосопрокладыватель, лесопожарный агрегат АЛП-15. Недостатками рассматриваемого оборудования автор считает то, что работа может осуществляться только на легких почвах, а ширина прокладываемых полос не всегда является эффективной. В качестве положительной техники автор выделяет лесопожарную грунтометательную машину, которая благодаря

своим конструктивным особенностям имеет способность проводить работы с грунтами насыщенными кустарниковыми корнями и уплотненных связных почв [9].

Коллектив авторов [10] также считает, что для профилактических и лесопожарных работ использование лесных плугов при создании минерализованных полос не приносят эффективности в условиях быстрого развития низовых лесных пожаров.

Наше мнение схоже с коллективом авторов [11], где применение клинобульдозерного отвала в сравнении с другой механизированной техникой наиболее

целесообразно при создании минерализованных противопожарных лесных полос, который за счет своей ширины захвата способен сдвигать плодородный слой почвы в разные стороны.

Способ тушения огня отжигом

Способ отжигом предназначен для уничтожения горючих материалов, которые находятся непосредственно на путях

дальнейшего распространения огня. Использование данного способа применяется при низовом пожаре, а основным приемом является поджог напочвенного слоя от дорог, троп, ручьев, рек минерализованных полос; поджог осуществляется от края опорной полосы без допускания пропусков (рис. 9).

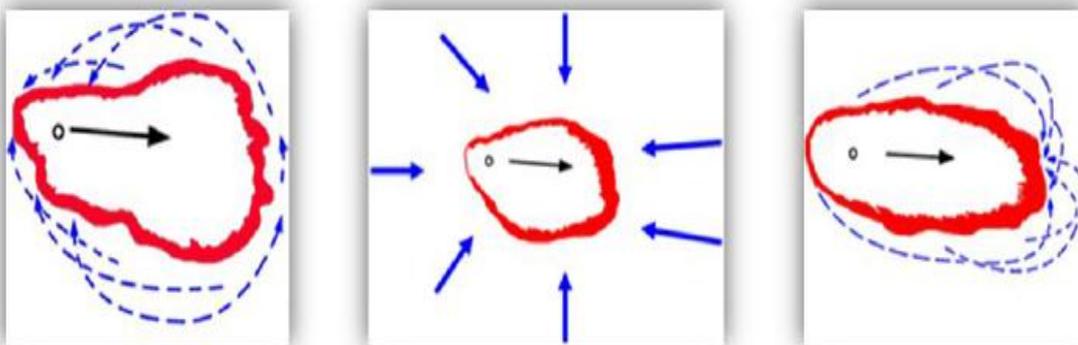


Рисунок 9. Тушение пожаров способом отжига

По мнению О. Р. Шиловой, отжиг является одним из наиболее эффективных способов борьбы с верховыми и низовыми пожарами средней и высокой интенсивности горения, что в свою очередь совпадает с нашим мнением исходя из личного практического опыта при тушении лесных пожаров в республике Бурятия в августе 2015 года [12].

Этот способ является наиболее эффективным при борьбе с лесными пожарами, но в то же время требует одновременного использования большого количества участников тушения лесного пожара для обеспечения контроля за состоянием поведения огня вдоль опорной полосы (недопущения перехода огня за пределы опорной полосы).

Тушение пожаров с использованием авиации МЧС России

Авиация МЧС России предназначена для обнаружения и тушения лесных

пожаров, за счет своих возможностей позволяет резко снизить площадь горения, а также осуществлять мероприятия по ограничению дальнейшего распространения пожара, проводить защиту населенных пунктов и других объектов, находящихся под угрозой от лесного пожара. Также авиация МЧС России решает и другие вопросы, связанные с организацией тушения пожаров, и к ним относятся: транспортировка личного состава, пожарно-технического и аварийно-спасательного вооружения (оборудования), техники и огнетушащих веществ; проведение разведки; эвакуация и спасание людей из опасной зоны.

Тушение пожара осуществляется за счет сброса воды на очаг пожара, также возможно создание заградительных полос с использованием растворов огнезадерживающих химикатов (рис. 10).



Рисунок 10. Тушение пожаров с использованием авиации МЧС России

Н. П. Заряева, И. С. Малышев, С. А. Пысин считают, что применение авиации при тушении лесных пожаров особенно целесообразно при возгораниях в труднодоступных для другой техники местах, в которые оперативно невозможно доставить достаточное количество огнетушащих веществ [13].

Авторам ближе мнение Л. С. Долговой, где использование авиации при тушении лесных пожаров является эффективным при организации повторных сбросов огнетушащих веществ в одну точку с временным промежутком не более 15 минут. Также применение авиации является эффективным при создании заградительных полос вблизи населенных пунктов и объектов. Но одновременно с этим, трудность в применении такой техники заключается в сложности заправки самолетов огнетушащими веществами, если это не самолет-амфибия (Бе-200), подготовленности экипажей для выполнения задач, связанных с тушением лесного пожара, и экономических затратах при применении авиатехники [14].

Каждый из рассмотренных способов тушения имеет свои ограничения в применении, что в значительной степени сказывается на тактических возможностях

подразделений по тушению лесных пожаров, и каждый руководитель тушения пожара должен их учитывать при планировании тушения, отдаче распоряжений и расстановки сил.

Установленные в ходе анализа литературы особенности различных способов тушения должны лечь в основу принятия руководителем тушения лесных пожаров решений по управлению силами и средствами. Для тушения медленно распространяющихся пожаров эффективно применение способов: захлестывание огня, забрасывание грунтом и использование ранцевых установок пожаротушения. Данные способы не подходят для быстро распространяющихся пожаров. Поэтому прибегают к созданию заградительных полос перед фронтом пожара, а также к использованию отжига.

Использование того или иного способа тушения влечёт изменения в управлении силами и средствами. Помимо непосредственного тушения пожара необходимо выполнять другие задачи, стоящие перед штабом пожаротушения, и разделение личного состава на небольшие группы позволит их выполнять наиболее эффективно.

Литература

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ.
2. Постановление Правительства РФ от 17 мая 2011 г. № 377 «Об утверждении правил разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его формы».
3. Приказ МЧС РФ от 4 апреля 2013 г. № 228 «О внесении изменений в Порядок привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 8 июля 2014 г. № 313 г. Москва «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров».
5. Кудрин А. Ю., Подрезов Ю. В. Анализ современных средств и способов борьбы с природными пожарами // Технологии гражданской безопасности. 2006. Т. 3. № 4 (12). С. 27–32.
6. Паньков Ю. И., Гуков Г. В. Новое в технике и технологии тушения низовых лесных пожаров // Аграрный вестник приморья. 2019. № 4 (6). С. 51–54.
7. Перминов В. П., Бурлака Н. А. Техника и способы тушения лесных пожаров // Пожарная охрана на службе государства: 1918–2018 гг. / под общ. ред. С. Г. Аксенова. Уфа, 2018. С. 202–206.
8. Копылов Н. П. и др. Влияние вязкости огнетушащего раствора на эффективность тушения лесных пожаров с помощью авиации // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4(24). С. 62–67.
9. Ступников Д. С. Тенденции развития технических средств для тушения лесных пожаров // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 2 (22). С. 135–140.
10. Позднятов А. К., Бартев И. М. Анализ рабочих процессов технических средств для профилактики и тушения лесных пожаров // Актуальные направления научного исследования XXI века: теория и практика. Воронеж, 2019. Т. 7. № 3 (46). С. 199–203.
11. Шанин И. И., Лысич М. Н. Эффективные орудия и механизированные технические устройства, применяемые при профилактике и тушении лесных пожаров // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 403–410.
12. Шилова О. Р. Тушение лесных пожаров // Проблемы техносферной безопасности: сб. ст. международной научно-практической конференции, 10 октября 2019 г. Воронеж, 2019. С. 150–154.
13. Заряева Н. П., Малышев И. С., Пысин С. А. К вопросу тушения лесных пожаров авиацией МЧС // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Воронеж, 2018. Т. 1. С. 224–226.
14. Долгова Л. С. Исследование применения авиации МЧС России // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Воронеж, 2015. № 1–2 (6). С. 83–86.

Referenses

1. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 04.12.2006 № 200-FZ.
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17 maya 2011 g. № 377 «Ob utverzhdenii pravil razrabotki i utverzhdeniya plana tusheniya lesnyh pozharov i ego formy».
3. Prikaz MCHS RF ot 04 aprelya 2013 g. № 228 «O vnesenii izmenenij v Poryadok privlecheniya sil i sredstv podrazdelenij pozharnoj ohrany, garnizonov pozharnoj ohrany dlya tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spatatel'nyh rabot».
4. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii (Minprirody Rossii) ot 8 iyulya 2014 g. N 313 g. Moskva "Ob utverzhdenii Pravil tusheniya lesnyh pozharov".
5. Kudrin A. YU., Podrezov YU. V. Analiz sovremennyh sredstv i sposobov bor'by s prirodnyimi pozharami // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2006. T. 3. № 4 (12). S. 27–32.
6. Pan'kov YU. I., Gukov G. V. Novoe v tekhnike i tekhnologii tusheniya nizovyh lesnyh pozharov // Agrarnyj vestnik primor'ya. 2019. № 4 (6). S. 51–54.
7. Perminov V. P., Burlaka N. A. Tekhnika i sposoby tusheniya lesnyh pozharov // Pozharnaya ohrana na sluzhbe gosudarstva: 1918–2018 gg / pod obshej redakcii S. G. Aksenova. Ufa, 2018. S. 202–206.
8. Kopylov N. P. et al. Vliyanie vyazkosti ognetushashchego rastvora na effektivnost' tusheniya lesnyh pozharov s pomoshch'yu aviacii // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2016. T. 6. № 4(24). S. 62–67.
9. Stupnikov D. S. Tendencii razvitiya tekhnicheskikh sredstv dlya tusheniya lesnyh pozharov // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2016. T. 6. № 2 (22). S. 135–140.
10. Pozdnyatov A. K., Bartenev I. M. Analiz rabochih processov tekhnicheskikh sredstv dlya profilaktiki i tusheniya lesnyh pozharov // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. Voronezh, 2019. T. 7. № 3 (46). S. 199–203.
11. SHanin I. I., Lysych M. N. Effektivnye orudiya i mekhanizirovannye tekhnicheskie ustrojstva, primenyaemye pri profilaktike i tushenii lesnyh pozharov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 12–2. S. 403–410.
12. SHilova O. R. Tushenie lesnyh pozharov // Problemy tekhnosfernoj bezopasnosti: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 10 oktyabrya 2019 g. Voronezh, 2019. S. 150–154.
13. Zaryayeva N. P. K voprosu tusheniya lesnyh pozharov aviaciej MCHS / N. P. Zaryayeva, I. S. Malyshev, S. A. Pysin // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. Voronezh, 2018. T. 1. S. 224–226.

14. Dolgova L. S. Issledovanie primeneniya aviacii MCHS Rossii / L. S. Dolgova // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. Voronezh, 2015. № 1–2 (6). S. 83–86.

УДК 004.942:614.841

pavel_zykov@inbox.ru

**ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД УЧЕТА НАЛИЧИЯ ВЕТРА
ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПОЖАРА ПРОЛИВА
ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ****PROBABILISTIC AND STATISTICAL METHOD OF ACCOUNTING
THE AVAILABILITY OF THE WIND WHEN EVALUATING THE HEAT FLOW
OF A FIRE OF FLAMMABLE FLUID**

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

*Zykov P. I., Subachev S. V., Subacheva A. A.,
Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

При выполнении расчетов пожарного риска на производственных объектах с горючими жидкостями и анализе теплового потока пожара пролива необходимо определять, находится ли рассматриваемая точка территории с подветренной стороны от пламени пожара. В статье представлен усовершенствованный алгоритм, позволяющий быстрее и точнее определять вероятность попадания точки в подветренный сектор. Алгоритм реализован в компьютерной программе PromRisk, предназначенной для расчета пожарных рисков на производственных объектах.

Ключевые слова: моделирование пожаров, расчет пожарного риска, пожарная опасность производственных объектов.

When performing fire risk calculations at industrial facilities with flammable liquids and analyzing the heat flow of a spill fire, it is necessary to determine whether the considered point of territory is located on the leeward side of the fire flame. The paper presents an improved algorithm that allows to quickly and accurately determine the probability of a point entering the leeward sector. The algorithm is implemented in the PromRisk computer program, designed to calculate fire risks at industrial facilities.

Keywords: modeling of fires, calculation of fire risk, fire hazard of industrial facilities.

Согласно методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1, 2], для определения плотности падающего теплового потока в определенной точке территории объекта или селитебной зоне вблизи объекта при пожаре пролива горючей жидкости необходимо учитывать, располагается ли данная точка в 90° секторе в направлении наклона пламени. Для этих точек величина теплового потока определяется с учетом силы ветра, которая влияет на угол наклона пламени в сторону об-

лучаемого объекта [3, (6.14)], коэффициент облученности и собственно результирующую величину теплового потока. Для площадок (точек), расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра факторы облученности площадок рассчитываются, принимая угол наклона пламени равном нулю.

В работе [4] представлен алгоритм, позволяющий в таких расчетах автоматически определять, находится ли рассматриваемая точка с подветренной стороны от пламени пожара, при произвольной

форме площади пролива. Он апробирован и успешно применяется в программе PromRisk, в том числе в случаях применения противопожарных стен (экранов) [5].

Однако методика учета наличия ветра требует дальнейшего совершенствования. В настоящее время в большинстве компьютерных программ рассматривается 8 направлений ветра (северный, северо-восточный, восточный и т. д.). При этом, если пожар рассматривается не как точка, а в виде фигуры некоторой площади, то в

случаях значительной силы ветра (угла наклона пламени) и небольшой площади пожара, даже при равновероятных направлениях ветра, результирующее поле потенциального риска будет содержать области с повышенными значениями потенциального риска. Количество таких ошибочно полученных областей повышенного риска в виде полос, отходящих от очага пожара, равно количеству рассматриваемых направлений ветра (рис. 1).

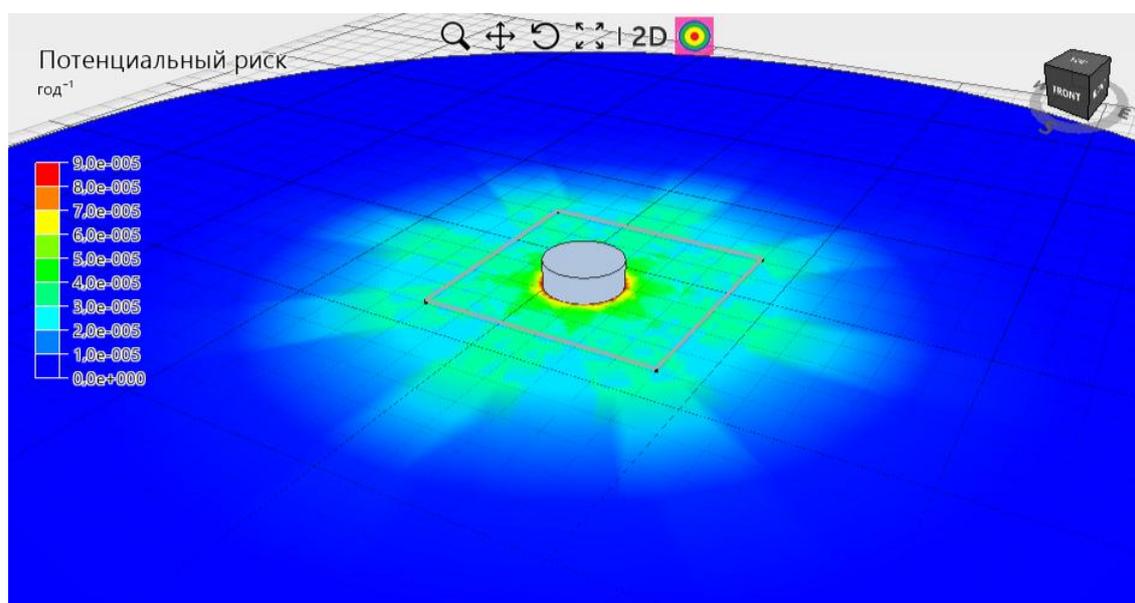


Рисунок 1. Области искусственно повышенного потенциального риска, совпадающие с рассматриваемыми направлениями ветра

Такой эффект возникает из-за того, что ветер рассматривается с единичных конкретных направлений: у северного ветра направление строго 0° (по азимуту), северо-восточного – строго 45° и т. д. При этом области, расположенные относительно очага пожара под углом по азимуту кратном 45° , включаются в расчет триж-

ды. Например, область территории, расположенная южнее очага пожара (рис. 2), учитывается в расчете в составе 90° сектора при наличии северо-восточного ветра (рис. 2, *a*), а также северного (рис. 2, *b*) и северо-западного (рис. 2, *c*).

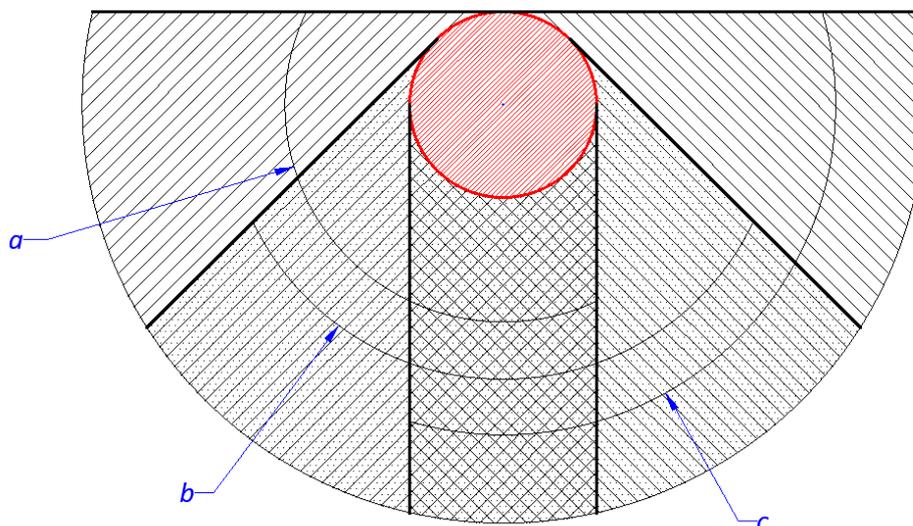


Рисунок 2. Формирование области искусственно повышенного потенциального риска южнее очага пожара: а – 90° сектор воздействия северо-восточного ветра; б – сектор воздействия северного ветра; с – сектор воздействия северо-западного ветра

Таких ошибок можно избежать, применяя вероятностно-статистический подход, рассматривая характерный ветер как все случаи ветра – на всем 45° интервале. Например, восточный ветер – это не только ветер строго с восточного направления (строго 90° по азимуту), а под восточным ветром нужно понимать все возможные ветра с направлений от $67,5^\circ$ до $112,5^\circ$ по азимуту; под юго-восточным ветром нужно понимать все возможные ветра с направлений от $112,5^\circ$ до $157,5^\circ$ по

азимуту и т. д.

Тогда для каждой точки территории объекта можно определить, в какой доле случаев характерного ветра она попадает в 90° подветренный сектор. Например, точка территории, расположенная восточнее очага пожара (90° по азимуту, рис. 3), попадает в 90° сектор воздействия ветра во всех (100 %) случаях западного ветра, а также в 50 % случаев юго-западного ветра и в 50 % случаев северо-восточного ветра.

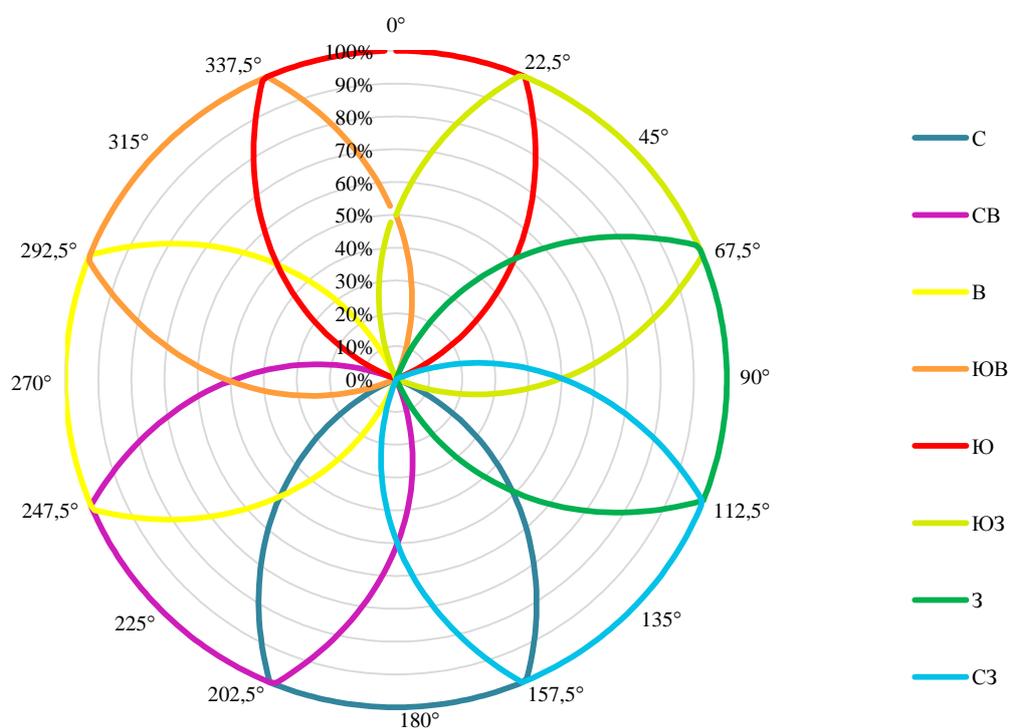


Рисунок 3. Доли случаев попадания точек территории под влияние ветра разных направлений

Благодаря тому, что по графику (рис. 3) доли случаев попадания точки территории под влияние ветра можно определить за одно действие (рис. 4), а не перебирать все 8 вариантов направлений и

проверять условие попадания под ветер в каждом из них, значительно сокращается количество необходимых вычислений и выполнение расчета занимает меньше времени.

```

public static Dictionary<EWindDirection, double> PointByWindMatching(Polygon2D polygon, Point2D testPoint)
{
    GetPolygonPointsAnglesInterval(polygon, testPoint, out var anglesIntervalBegin, out var anglesIntervalEnd);
    anglesIntervalBegin -= Math.PI / 4;
    anglesIntervalEnd += Math.PI / 4;
    ShiftInterval(ref anglesIntervalBegin, ref anglesIntervalEnd, Utility.TWO_PI);

    var res = new Dictionary<EWindDirection, double>(8);
    foreach (EWindDirection wd in Enum.GetValues(typeof(EWindDirection)))
        res.Add(wd, 0);

    foreach (EWindDirection wd in Enum.GetValues(typeof(EWindDirection)))
    {
        wd.GetComesAnglesInterval(out var windBeginAngle, out var windEndAngle);
        var n = 0;
        while (true)
        {
            if (res[wd] > 1) { res[wd] = 1; break; }

            var NplusWindBeginAngle = n * Utility.TWO_PI + windBeginAngle;
            var NplusWindEndAngle = n * Utility.TWO_PI + windEndAngle;
            if (NplusWindBeginAngle >= anglesIntervalEnd) break;

            var intersectBegin = Math.Max(anglesIntervalBegin, NplusWindBeginAngle);
            var intersectEnd = Math.Min(anglesIntervalEnd, NplusWindEndAngle);
            if (intersectEnd > intersectBegin)
            {
                var v = (intersectEnd - intersectBegin) / (Math.PI / 4);
                res[wd] += v;
            }

            n++;
        }
    }

    return res;
}

```

Рисунок 4. Листинг функции определения долей случаев попадания точки территории под влияние ветра разных направлений на языке C#

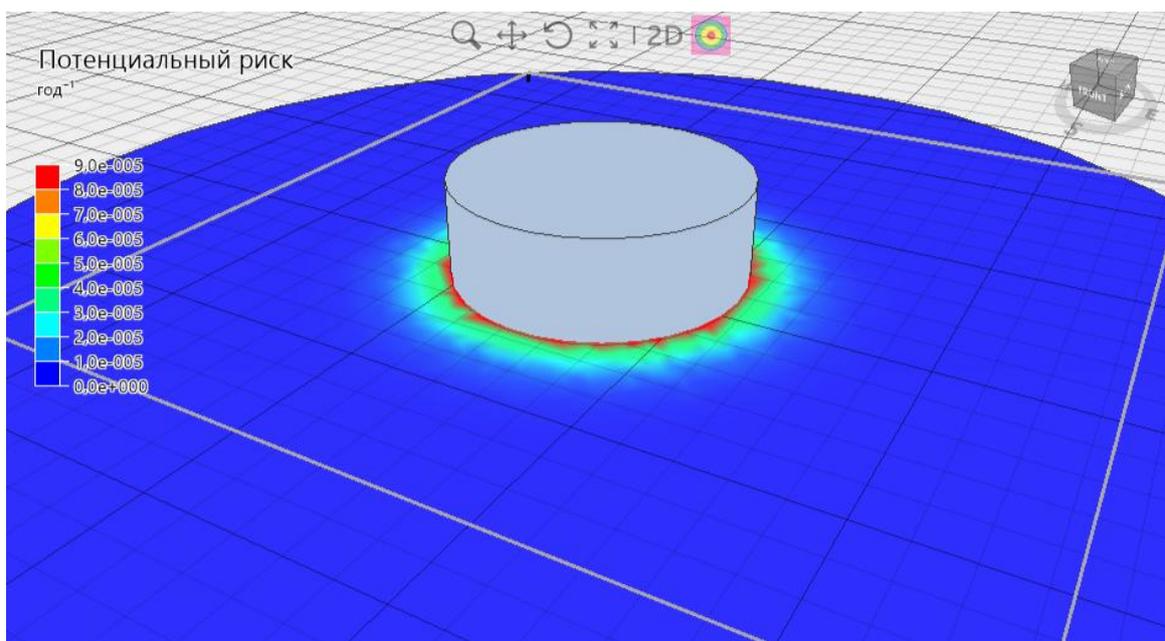


Рисунок 5. Пример поля потенциального риска, полученного по предлагаемой методике, при равновероятных направлениях ветра

Такой метод позволяет учесть статистические данные о повторяемости ветров в конкретной климатической зоне и в то же время избежать появления областей территории с ошибочно завышенными значениями потенциального риска.

Литература

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. Приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404, с изм.).
2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д. М. Гордиенко и др. М., 2012. 242 с.
3. Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) / Publicatierieks Gevaarlijke Stoffen 2. Nederland, Hague, 1996. 870 p.
4. Карькин И. Н. и др. Алгоритм автоматического определения влияния ветра при оценке теплового потока пожара пролива горючей жидкости // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Карькин И. Н. и др. Моделирование защиты людей и оборудования от теплового потока пожара на территории производственных объектов // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.

References

1. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob"ektax (utv. Prikazom MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404, s izm.).
2. Posobie po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh ob"ektov / D. M. Gordienko i dr. M., 2012. 242 p.
3. Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) / Publicatierieks Gevaarlijke Stoffen 2. Nederland, Hague, 1996. 870 p.
4. Kar'kin I. N. et al. Algoritm avtomaticheskogo opredeleniya vliyaniya vetra pri ocenke teplovogo potoka pozhara proliva goryuchej zhidkosti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.
5. Kar'kin I. N. et al. Modelirovanie zashchity lyudej i oborudovaniya ot teplovogo potoka pozhara na territorii proizvodstvennykh ob"ektov // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>.

УДК 621.436.01

sawina@mail.ru

**ОБ АКТИВНОМ СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ АДАПТАЦИИ
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТОПЛИВОМ ДИЗЕЛЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ
К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ**

**ABOUT THE ACTIVE WAY OF INCREASE OF ADAPTATION
OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM FIRE TRUCK DIESEL
TO LOW TEMPERATURES**

*Савин М. А., кандидат технических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Федотов В. В., ГКУ Республики Бурятия по делам ГО,
ЧС и обеспечению пожарной безопасности, Оер,
Борисов А. Л., Уральский институт
ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Savin M. A., Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Fedotov V. V., State Public Institution for Civil Defence,
Emergency Situations and Fire Safety of the Republic of Buryatia, Oer,
Borisov A. L., Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Отказы и неисправности системы питания топливом дизеля пожарного автомобиля (ПА) исполнения У в низкотемпературных условиях, связанные с применением топлива, не в полной мере соответствующего температуре окружающей среды, предлагается исключить посредством повышения его температуры в баке. Для этого излишки топлива, ранее нагретого в функционирующих топливном насосе высокого давления (ТНВД) и форсунках, дополнительно интенсивно подогревают в полости рубашки охлаждения работающего компрессора рабочей тормозной системы базового шасси за счет утилизации теплоты, выделяющейся при его работе, и лишь затем направляют для дренажа в бак. В баке «зимний» сливной топливопровод и топливозаборный патрубок агрегируются в узел слива и забора топлива, который конструктивно оформлен либо в виде классического струйного насоса, либо по схеме «труба в трубе», причем рабочей жидкостью является горячее топливо.

В статье приведены результаты сравнительных экспериментов, которые убедительно свидетельствуют об эффективности разработанного и апробированного технического решения.

Ключевые слова: низкие температуры, пожарный автомобиль, дизельный двигатель, система питания топливом, выпадение парафинов, подогрев топлива, компрессор.

Failures and malfunctions of the fuel supply system of a fire truck diesel engine (PA) in low-temperature conditions associated with the use of fuel that does not fully correspond to the ambient temperature, it is proposed to exclude by increasing its temperature in the tank. To do this, the excess fuel previously heated in the functioning high-pressure fuel pump and injectors is additionally intensively heated in the cavity of the cooling jacket of the working compressor of the working brake system of the base chassis by utilizing the heat released during its operation, and only then sent to the tank for

drainage. In the "winter" tank, the fuel drain line and the fuel intake pipe are aggregated into a fuel drain and intake unit, which is structurally designed either in the form of a classic jet pump, or according to the "pipe in a pipe" scheme, and the working fluid is hot fuel.

The article presents the results of comparative experiments that convincingly demonstrate the effectiveness of the developed and tested technical solution.

Keywords: low temperatures, fire truck, diesel engine, fuel supply system, paraffin loss, fuel heating, compressor.

Основным требованием, предъявляемым к системам питания топливом дизелей мобильных машин при их эксплуатации в условиях низких температур окружающей среды, является их способность обеспечивать бесперебойное поступление очищенного топлива к топливной аппаратуре силового агрегата. При работе дизеля в осенне-зимний период может произойти снижение или даже полная потеря работоспособности топливных фильтров в результате уменьшения их пропускной способности из-за отложений парафиновых углеводородов, образующихся в дизельном топливе при температуре его помутнения (для летнего топлива $-2...-5$ °С).

Известно, что с понижением температуры вязкость и плотность дизельных топлив возрастает. Это отрицательно влияет на процессы прокачиваемости через фильтры и форсунки, испарения и смесеобразования. Топливо сгорает не полностью, увеличивается его расход, ухудшается экономичность, повышается нагарообразование, возникает дымление, ухудшаются пусковые свойства двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [1].

Одной из причин останова дизелей в осенне-зимние месяцы является применение топлива, не в полной мере соответствующего температуре окружающей среды. Это часто проявляется в осенне-зимнее межсезонье.

Применяемые дизельные топлива в соответствии с ГОСТ 305–82 классифицируются на летние (ДЛ и Л, используются при температуре окружающего воздуха от 0 °С и выше), зимние (З – при $t = -20$ °С и выше), северные (ДЗ и С – при

$t = -30$ °С и выше) и арктические (ДА и А – при $t = -30$ °С и ниже). При этом следует отметить, что зимнее дизтопливо не отличается от летнего ни по цвету, ни по запаху.

Химический состав дизельного топлива включает 10...40 % парафиновых углеводородов (алканов), порядка от 20...60 % могут быть нафтеновые и 14...30 % ароматические углеводороды. Такой процентный разброс происходит из-за того, что у летнего дизельного топлива одно содержание указанных веществ, у зимнего – другое, а арктическое имеет свою формулу. Так, в состав летних дизельных топлив входят парафины с длиной цепи C_6-C_{27} , а в состав зимних – C_6-C_{19} [2]. Низкотемпературные свойства жидких углеводородных топлив зависят от группового и фракционного составов. Наихудшими низкотемпературными свойствами обладают парафины и ароматические углеводороды.

Наивысшую температуру, при которой дизельное топливо теряет текучесть, называют температурой застывания. Она должна быть на 8...2 °С ниже температуры окружающей среды [2].

При определенной температуре парафиновая группа начинает преобразовываться в кристаллы и превращаться в твердую фазу (парафиновые хлопья). Вязкость дизельного топлива возрастает, оно начинает мутнеть, затем перестает прокачиваться через фильтры и по окончании полностью становится застывшим [3].

Так, летние сорта топлива уже при $-3...-5$ °С загустевают и перестают нормально прокачиваться через топливные фильтры. Это обычно соответствует так

называемой температуре помутнения, то есть началу кристаллизации парафинов, содержащихся в топливе. При температуре примерно $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ такое топливо застывает. В результате этого значительно ограничивается поступление топлива к топливному насосу высокого давления, уменьшается циклическая подача его цилиндрических секций, что приводит к затруднению пуска, увеличению неравномерности работы цилиндров и падению мощности в период прогрева и работы дизеля, вплоть до его полной остановки. И тогда попытки запуска двигателя с загустевшей летней соляжкой без отогрева автомобиля практически всегда заканчиваются повреждением ТНВД. В такой ситуации не смогут помочь никакие средства для облегчения запуска дизелей, поскольку подача топлива в силовой агрегат нарушена. Более того, для некоторых моделей дизелей применение подобных средств опасно – известны случаи поломки поршней из-за быстрого воспламенения и сгорания веществ, содержащихся в этих средствах. И только зимнее дизельное топливо, у которого меньше вязкость и скорость ее возрастания при снижении температуры, может обеспечить надежную работу двигателя в холодное время года.

Один из неприятных периодов эксплуатации мобильной техники – осенне-зимнее межсезонье, когда температура окружающей среды колеблется от $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если заправленное в бак летнее топливо не соответствует температуре окружающей среды, то возникает проблема транспортировки топлива в топливной системе силового агрегата, ухудшается его текучесть. Необходимо отметить, что зимнее топливо в межсезонье не всегда имеется в наличии на автозаправочных станциях. В таких ситуациях применяются наиболее распространенные виды дизельного топлива, но классом ниже.

Следовательно, имеет место проблема зимнего и межсезонного

периодов. Для ее разрешения науке и практике известен ряд технических решений.

Так, в известных конструкциях источником тепловой энергии для подогрева топлива служат как теплоносители, прогреваемые самим дизелем (сливаемое топливо, охлаждающая жидкость, моторное масло, отработавшие газы и др.), так и электрическая энергия от бортовой сети объекта применения дизеля. Например, топливные баки греют паяльными лампами либо при помощи теплоэлектронагревателей (ТЭН). Имеются конструктивные решения, которые также предусматривают электроподогрев топлива, но уже в фильтрах [4]. Естественно, при этом следует обратить серьезное внимание на соблюдение мер безопасности.

Также известно следующее техническое решение. Топливоподкачивающий насос низкого давления всегда подает топлива больше, чем необходимо для работы ТНВД дизеля, а его избыток вместе с попавшим в систему воздухом отводится обратно в бак [5]. Также в бак перепускается топливо, просочившееся в полости пружин форсунок. Известны варианты, когда отвод топлива может осуществляться к топливоподкачивающему насосу [6].

Особенностью еще одного технического решения является то, что дренаж излишков достаточно нагретого топлива из ТНВД и форсунок производится не в бак, а в топливный фильтр грубой очистки для минимизации отложения парафинов в нем, а также в топливопроводах, расположенных за данным фильтром [6].

Недостатком указанных технических решений является то, что парафины постепенно перекрывают сечения топливопровода низкого давления из бака, и тем самым уменьшается поступление достаточно холодного топлива в ДВС.

В качестве прототипа принято следующее техническое решение. Подогрев дизельного топлива при низких температурах осуществляется посредством лампочки накаливания [7]. Приспособление представляет собой размещенную в топливном баке вблизи топливозаборной сетки электрическую лампочку, работающую от бортовой сети автомобиля 12–24 В. Патрон лампочки хомутом крепится к топливозаборнику. Такое техническое решение, по заявлению автора, позволяет дизельному двигателю бесперебойно работать в условиях низких температур как на зимнем, так и на летнем топливе.

Ниже приведен ориентировочный расчет тепловой мощности нагревателя N (kWt), необходимой для подогрева летнего дизельного топлива от температуры его застывания до температуры помутнения по следующей зависимости [8]

$$N = C_p \cdot Q \cdot \Delta t / \tau,$$

где τ – время, с;

$C_p = 2,01 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ – изобарная теплоемкость летнего дизельного топлива [8];

Q – расход топлива. Так, для грузового автомобиля УРАЛ-43202 расход топлива составляет 40,50 л/100 км [9]. На пробег 70 км за один час соответственно 28,4 л/ч = 0,0079 л/с или, с учетом плотности дизтоплива, $Q = 0,0079 \cdot 0,86 \text{ кг/л} = 0,0068 \text{ кг/с}$;

Δt – перепад температур от температуры застывания летнего дизельного топлива равной -10°C до температуры помутнения -5°C [1]. Принимаем $\Delta t = 5^\circ\text{C}$.

Отсюда $N = 0,068 \text{ kWt} = 68 \text{ Вт}$.

Таким образом, полученная в результате расчета мощность нагревателя соответствует мощности, потребляемой автомобильной электрической лампочкой дальнего света.

Недостатком этого технического решения является его низкая надежность. Действительно, из-за вибрации и тряски механического транспортного средства

электрическая лампочка может перегореть или исчезнет контакт в её электропитании, т. е. все электрические соединения должны быть надежными. Таким образом, во-первых, необходимо исключить искрение вблизи горючей жидкости – дизельного топлива. Во-вторых, имеет место определенная сложность в контроле исправности электрической лампочки. В-третьих, нагреватель должен подключаться к сети через плавкий предохранитель. В-четвертых, мощность нагревателя должна быть пропорциональна градиенту температур помутнения топлива и окружающей среды, а также расходу топлива, т. е. необходимо следящее автоматическое устройство.

Задачей технического решения является обеспечение усиленного подогрева топлива в баке пожарного автомобиля (ПА) не только теплотой, выделяющейся при работе ТНВД и форсунок, но также за счет утилизации теплоты, выделяющейся при работе компрессора рабочей тормозной системы базового шасси. Предлагаемые минимальные конструктивные доработки предотвратят накопление парафина в фильтрах и топливопроводах, приводящего к останову дизельного двигателя в условиях низких температур, исключат срыв выполнения боевой задачи.

Производить дополнительный подогрев топлива в баке предлагается посредством подачи в рубашку охлаждения корпуса работающего компрессора рабочей тормозной системы базового шасси не охлаждающей жидкости ДВС, а излишков дизельного топлива, ранее подогретого в функционирующих ТНВД и форсунках и идущего на слив в бак.

Идея второй ступени подогрева топлива основана на относительно низких КПД поршневых компрессоров, которые применяются в рабочих тормозных системах. Известно, например, что мощность, потребляемая компрессором ЗИЛ-130-3509009-11, составляет от 0,8 до 2,1 кВт [10]. Кроме того, также известно, что КПД

поршневых вертикальных компрессоров составляет порядка 0,9 [11]. Другими словами, потери мощности в компрессоре на любом режиме его работы соизмеримы с величиной мощности нагревателя, необходимой для подогрева расхода топлива, необходимого для обеспечения движения автомобиля.

Задача решается тем, что на заводе-изготовителе топливный бак оснащают узлом слива-забора топлива, в котором зимний сливной топливопровод в сборе с топливозаборным патрубком конструктивно представляют собой классический струйный насос. Предлагается и другой вариант конструкции этого узла: топливозаборный патрубок с сеткой располагаются в баке коаксиально снаружи зимнего сливного топливопровода, т. е. по схеме «труба в трубе». Кроме того, временно на зимний период необходимо исключить подачу охлаждающей жидкости в рубашку охлаждения компрессора. Вместо нее подводят уже подогретые излишки топлива в ТНВД и форсунках через переключатель типа трехходового крана. Дополнительно подогретое топливо в рубашке охлаждения компрессора с помощью «зимнего» сливного топливопровода отводят в бак, тем самым передают теплоту запасу топлива в нем. Для минимизации диссипации теплоты сливным трубопроводом, размещенным после воздушного компрессора и до зимнего сливного топливопровода в топливном баке, его поверхности эффективно теплоизолируют, например, быстротвердеющей полиуретановой пеной [12].

На рис. 1 представлена одна из возможных схем реализации предложенного способа повышения адаптации системы питания топливом транспортного ди-

зеля к низким температурам (положение переключателя-трехходового крана и направление циркуляции топлива согласно стрелкам соответствует работе системы в низкотемпературных условиях).

Дизель ПА с системой питания топливом предлагаемой конструкции в условиях низких температур окружающего воздуха работает следующим образом.

В ходе сезонного технического обслуживания перед началом осенне-зимнего периода эксплуатации дополнительно проводятся следующие работы. Отсоединяют и глушат трубопроводы подвода/отвода охлаждающей жидкости к рубашке охлаждения компрессора (на рис. 1 условно не показаны). Затем к одному штуцеру рубашки охлаждения компрессора подключается топливопровод от переключающего устройства – трехходового крана 10, у которого предусмотрены два режима работы: «зима» и «лето». Осенью переключающее устройство необходимо установить в положение «зима». К отводящему штуцеру рубашки охлаждения компрессора подключают топливопровод 9, теплоизолированный полиуретановой пеной (на схеме рис. 1 условно не показана), другой конец которого присоединяют к «зимнему» сливному топливопроводу 12, расположенному в топливном баке 1, где будет осуществляться слив горячего топлива, причем вблизи топливозаборного патрубка. Конструкция и взаимное расположение в баке «зимнего» сливного топливопровода 12 и топливозаборного патрубка 14 с фильтрующей сеткой 13 таково, что они агрегируются и в сборе образуют узел слива-забора топлива в виде струйного насоса.

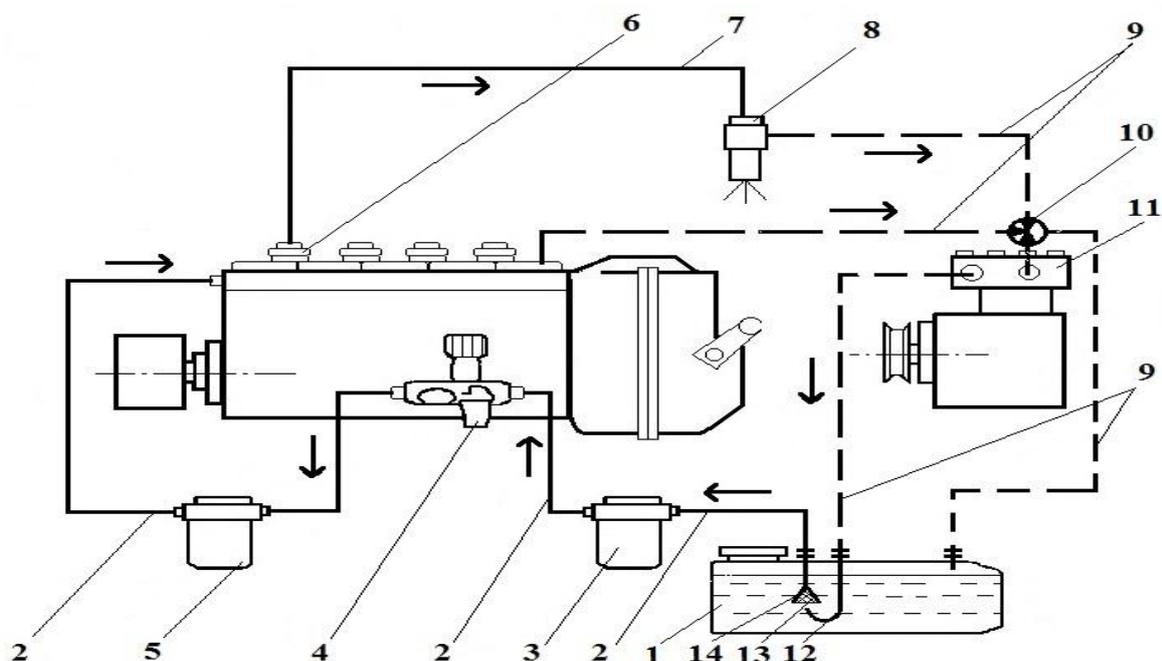


Рисунок 1. Одна из возможных схем реализации предложенного способа повышения адаптации системы питания топливом транспортного дизеля к низким температурам (положение переключателя-трехходового крана и направление циркуляции топлива согласно стрелкам соответствует работе системы в низкотемпературных условиях):

1 – топливный бак; 2 – топливопроводы низкого давления; 3 – фильтр грубой очистки топлива; 4 – топливоподкачивающие насосы; 5 – фильтр тонкой очистки топлива; 6 – топливный насос высокого давления (ТНВД); 7 – топливные магистрали высокого давления; 8 – комплект форсунок; 9 – топливопроводы для перепуска слива излишков топлива из ТНВД и форсунок в топливный бак; 10 – переключающее устройство (трехходовой кран) с двумя положениями: «зима» и «лето»; 11 – компрессор рабочей тормозной системы базового шасси с рубашкой жидкостного охлаждения; 12 – «зимний» сливной топливопровод; 13 – сетка-фильтр предварительной очистки топлива; 14 – топливозаборный патрубок

Таким образом, оба потока излишков топлива, ранее нагретых в функционирующих ТНВД и форсунках и предназначенных для дренажа в бак ПА, дополнительно интенсивно подогреваются от работающего компрессора рабочей тормозной системы базового шасси за счет теплоты, выделяющейся при его работе, и только потом сливаются в бак, тем самым передают теплоту запасу топлива в нем.

Перед пуском дизеля после длительной стоянки ПА водитель, посредством насоса ручной подкачки 4, заполняет систему питания топливом из бака 1 через сетку-фильтр предварительной очистки

топлива 13 и топливозаборный патрубок 14, топливопроводы низкого давления 2, фильтр грубой очистки топлива 3, фильтр тонкой очистки топлива 5, топливный насос высокого давления 6, а также удаляет воздух из системы.

Таким образом, сразу после пуска силового агрегата оба потока излишков дизельного топлива, нагретого в ТНВД 6 и форсунках 8, будут направляться в переключающее устройство – трехходовой кран 10. Затем уже по одному трубопроводу в рубашку охлаждения компрессора 11 для дополнительного подогрева, и только потом на слив через «зимний»

сливной топливопровод 12 в бак 1. В баке, благодаря струйным эффектам, элементарные струйки горячего топлива будут эжектировать молекулы находящегося там холодного топлива, смешиваться между собой в топливозаборном патрубке 14 и далее в топливопроводах низкого давления 2 и, особенно, в фильтре грубой очистки топлива 3. Другими словами, имеет место подпитка потока холодного топлива подогретым и в результате его температура возрастает. Для преодоления значительного гидравлического сопротивления фильтра тонкой очистки топлива 5 в системе питания имеется топливоподкачивающий насос 4. Из фильтра тонкой очистки топлива 5 топливо поступает к ТНВД 6, который, в соответствии с порядком работы цилиндров, распределяет топливо по топливным магистралям высокого давления 7 к форсункам 8. Форсунки 8 распыляют и впрыскивают топливо в камеры сгорания. Избыточное и уже несколько подогретое топливо из ТНВД 6 и форсунок 8 топливопроводами 9 нагнетаются в переключающее устройство 10. Итак, круг замкнулся, дизель работает.

Так в низкотемпературных условиях функционирует адаптированная к низ-

ким температурам система питания топливом дизеля исполнения У, особенно на топливе не в полной мере соответствующем температуре окружающей среды.

Весной, в процессе сезонного технического обслуживания проводятся следующие работы. К рубашке охлаждения компрессора присоединяются трубопроводы подвода/отвода охлаждающей жидкости, а переключающее устройство – трехходовой кран устанавливается в положение «Лето».

Натурные эксперименты по предварительной оценке эффективности предлагаемого технического решения по адаптации топливной системы дизеля к низким температурам были проведены зимой 2018 года в 9-м отряде Государственной противопожарной службы по Республике Бурятия (пожарная часть № 16 г. Селенгинск).

Передвижная лаборатория была создана на пожарной автоцистерне АЦ-8,5-40 (КРАЗ-255 Б) с дизелем ЯМЗ-238М2. Тактико-технические характеристики АЦ-8,5-40 (255Б) приведены в таблице 1.

Таблица 1
Тактико-технические характеристики АЦ-8,5-40 (255 Б)

Базовое шасси	КРАЗ-255 Б
Колесная формула	6×6
Полная масса пожарного автомобиля, кг	11 950
Модель двигателя, тип	ЯМЗ-238М2 дизельный, четырехтактный, восьмицилиндровый, с непосредственным впрыском топлива, V-образный
Рабочий объем, л	14,85
Номинальная мощность при 2100 об/мин, кВт (л.с.)	179 (240)
Максимальная скорость, км/ч	71
Боевой расчет, включая водителя, чел	6
Емкость топливного бака, л	340
Вместимость цистерны, м ³	8,5

Вместимость бака для пенообразователя, л	300
Насос пожарный центробежный	НЦПН-40/100

Перед началом экспериментов автомобиль был подвергнут диагностированию и техническому обслуживанию.

Во время экспериментов автоцистерна была полностью заполнена водой, пожарным оборудованием и укомплектована личным составом расчета. Бак был заправлен зимним дизельным топливом в

количестве 120 л. При этом конструкция бака системы питания дизеля топливом осталась типовой.

Для измерения температуры топлива в баке был применен температурный датчик марки ТР-101. Тактико-технические характеристики датчика приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные тактико-технические характеристики датчика температуры ТР-101

Параметр	Значение
Точность измерения	± 1 °С
Диапазон измеряемых температур	от -50 до $+300$ °С
Градация дисплея	$0,1$ °С
Длительность теста	2–3 секунды
Питание	1 батарейка AG13
Длительность работы от одной батареи	5 000 часов
Нормальная температура окружающей среды	от -30 °С до $+50$ °С
Габариты прибора	$230 \times 20 \times 20$ мм
Габариты щупа	$145 \times 3 \times 3$ мм
Вес	18 г
Материал щупа	нержавеющая сталь

Перед началом экспериментов датчик подвергался тарировке с помощью образцового термометра. Тарировочные графики – линейные.

Температура воздуха в депо составляла $+15$ °С.

Температура окружающей среды в экспериментах по прогреву топлива на стоянке ПА вне пожарного депо соответствовала -22 °С. При этом за счет экранирования зданием подразделения для ПА создавался режим практически полного штиля.

Кроме того, были проведены эксперименты по прогреву дизельного топлива в процессе следования ПА по вызову. Для обеспечения безопасности при следовании ПА соблюдались основные требования ПДД РФ.

Величины температур топлива измерялись и протоколировались. На осно-

вании полученных экспериментальных данных были построены соответствующие графики.

Результаты измерения температур в баке системы питания топливом типового исполнения при стоянке пожарного автомобиля

На рис. 2 приведен график (линия 1) изменения температуры топлива в баке типового исполнения топливной системы двигателя АЦ-8,5-40 (255 Б) при несении службы в режиме ожидания в депо, при работе дизеля на холостом ходу с частотой 900 мин^{-1} в течение 20 минут.

Из графика следует, что температура дизельного топлива в баке типового исполнения за весь период прогрева практически не изменилась и соответствовала $7,2$ °С.

Кроме того, была зафиксирована динамика охлаждения топлива в баке ПА

типового исполнения при его стоянке вне депо подразделения. Силовой агрегат также работал на холостом ходу – (линия 2) графика. Очевидно, что за 20 минут температура топлива снизилась с исход-

ной $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до значения $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, средняя скорость охлаждения топлива в баке ПА составила $(7,2+1,2)/20 = 0,42\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

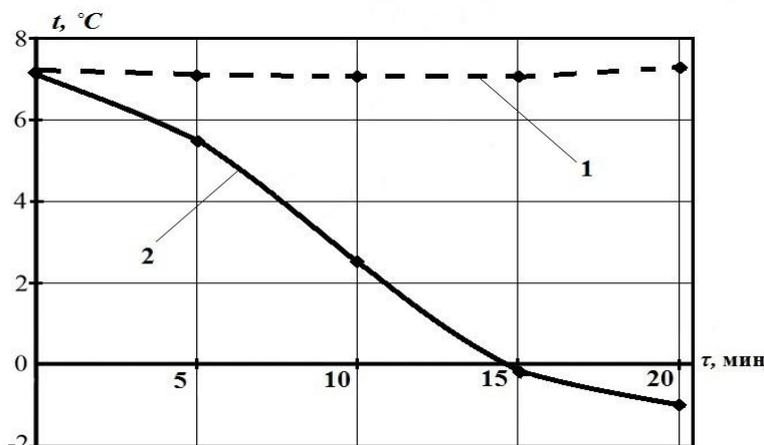


Рисунок 2. Результаты измерения температуры дизельного топлива в баке типового исполнения пожарного автомобиля АЦ-8,0-40 (255 Б) при работе дизеля на холостом ходу с частотой 900 мин^{-1} :

1 – температура топлива при несении службы ПА в депо в режиме ожидания при температуре окружающего воздуха $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – при стоянке вне депо подразделения (температура окружающего воздуха $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Измерения температур топлива в баке при следовании пожарного автомобиля по вызову

В ходе сравнительных дорожных испытаний в режиме следования АЦ-8,5-40 (255 Б) по вызову при температуре окружающего воздуха $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ были зарегистрированы следующие величины температур дизельного топлива в баке (рис. 3).

Дизельное топливо в баке с типовой системой питания за 20 минут движения ПА остыло с температуры $+15$ до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, скорость охлаждения топлива в баке АЦ-8,0-40 (КРАЗ-255 Б) при следовании по вызову составила $(15+4)/20=0,95\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Это более чем вдвое превышает аналогичную величину работающего на холостом ходу двигателя при стоянке ПА вне депо.

Напротив, в модернизированной топливной системе температура в баке выросла с исходной $+15$ до $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скорость прогрева топлива в баке составила $(21-15)/20=0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

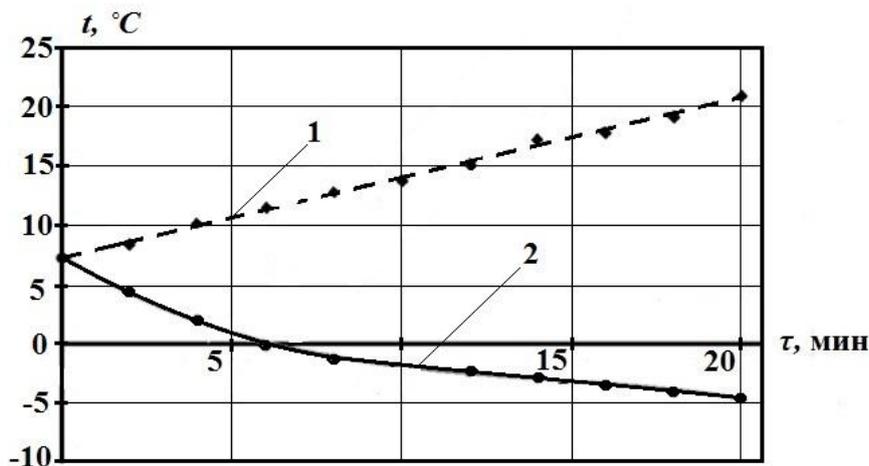


Рисунок 3. Динамика изменения температуры дизельного топлива в баке пожарного автомобиля АЦ-8,0-40 (255 Б) при следовании по вызову при температуре окружающего воздуха -22°C :

1 – температура топлива в баке с модернизированной топливной системой;
2 – температура топлива в баке типового исполнения

Таким образом, очевидно, что предлагаемое техническое решение по адаптации к низким температурам топливной системы дизеля эффективно и позволяет обеспечить дополнительный подогрев топлива в баке, а пожарная автоцистерна АЦ-8,5-40 (255 Б) исполнения У стала приспособлена к суровым условиям по температурному режиму топливного бака гораздо лучше, чем при серийном исполнении системы.

Применение предложенного способа повышения адаптации системы питания топливом транспортного дизеля к низкотемпературным условиям достигаемой утилизацией теплоты, выделяющейся при работе компрессора рабочей тормозной системы базового шасси, изменяет тепловой баланс бака, позволяет интенсивнее подогревать топливо в нем. Такой 2-ступенчатый подогрев топлива в баке является аддитивным процессом и обеспечивает эффективную подпитку потока горячим топливом и его лучшую подачу в ТНВД, позволяет уменьшить износы деталей и узлов силового агрегата, повысить уровень тягово-скоростных свойств мобильной техники, ее производительности, экономичности и долговечности. Кроме

того, по результатам экспериментов имеются основания полагать, что это решение позволит в холодный период года применять марки дизельного топлива, не в полной мере соответствующие температуре окружающей среды, в частности более дешевое летнее топливо, при условии содержания мобильной техники в отапливаемом гараже либо пуска ее силового агрегата от дополнительного бачка, заправленного топливом, адекватным температуре наружного воздуха.

Все это в целом повышает надежность и эффективность эксплуатации дизельных ПА исполнения У в низкотемпературных условиях при обеспечении предлагаемой системой питания топливом их двигателей.

Предложенное техническое решение легко может быть реализовано как на вновь разрабатываемых дизельных силовых агрегатах, так и на дизелях, освоенных производством или находящихся в эксплуатации.

Результаты предварительных испытаний требуют продолжить исследования активных способов повышения приспособленности топливных систем двигателей оперативной техники исполнения У

к низким температурам на различных моделях ПА и эксплуатационных режимах, а также условий внешней среды.

Литература

1. Синельников А. Ф., Балабанов В. И. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник. М., 2003. 176 с.
2. Стуканов В. А. Автомобильные эксплуатационные материалы. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2009. 304 с.
3. Камалтдинов В. Г., Марков В. А. Исследование процессов подачи и распыления топлива в дизеле с неразделенной камерой сгорания на режимах пуска // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2010. № 3. С. 81–90.
4. Грицюк А. В., Кондратенко В. Г., Щербаков Г. А. Совершенствование конструкции топливной системы автотракторного дизеля для улучшения ее работы в условиях зимней эксплуатации // Двигатели внутреннего сгорания. 2006. № 1. С. 112–117.
5. Вахламов В. К. Автомобили: основы конструкции. 4-е изд., стер. М., 2008. 528 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания / А. С. Хачиян и др. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1985. 311 с.
7. Новиков Д. В. Подогрев дизельного топлива при низких температурах от лампочки накаливания в топливных баках пожарных автомобилей // В сборнике материалов «Есть идея!» V11 Международного салона «Комплексная безопасность – 2014», 26 мая 2014 года. М., 2014. С. 78.
8. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М., 1973. 320 с.
9. Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».
10. Автомобиль ЗИЛ-130 и его модификации. Модель 1970 г. Инструкция по эксплуатации. Изд 8-е, исп. и доп. М., 1971. 224 с.
11. Семидуберский М. С. Насосы, компрессоры, вентиляторы. Изд. 4-е, доп. М., 1974. 232 с.
12. Способ повышения адаптации системы питания топливом транспортного дизеля к низким температурам / М. А. Савин и др. Заявка №2019107245/06(013906) на патент РФ на изобретение.

References

1. Sinelnikov A. F., Balabanov V. I. Avtomobilnye topliva, masla i ekspluatazionnye zhidkosti. Kratkii spravochnik. M., 2003. 176 s.
2. Stukanov V. A. Avtomobilnye ekspluatazionnye materially. 2-e izd., pererab. i dop. M., 2009. 304 s.
3. Kamaltdinov V. G., Markov V. A. Issledovanie prozessov podachi i raspyleniia topliva v disele s nerasedlennoi kameroi sgoraniia na rezhimakh puska // Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Mashinostroenie». 2010. № 3. S. 81–90.
4. Grizuk A. V., Kondratenko V. G., SHCHerbakov G. A. Sovershenstvovanie konstrukzii toplivnoi sistemy diselia dlia ee raboty v usloviiakh zimnei ekspluatazii // Dvigateli vnutrennego sgoraniia. 2006. № 1. S. 112–117.
5. Vakhlamov V. K. Avtomobili: Osnovi konstrukzii. 4-e isd., ster. M., 2008. 528 s.
6. Dvigateli vnutrennego sgoraniia / A. S. Khachiian i dr. 2-e isd., pererab. i dop. M., 1985. 311 s.
7. Novikov D. V. Podogrev dizelnogo topliva pri nizkikh temperaturakh ot lampochki v toplivnikh bakakh pozharnikh avtomobiley // V sbornike materialov «Est ideia!» V11 Mezhdunarodnogo salona «Kompleksnaia besopasnost – 2014», 26 maia 2014 goda. M., 2014. S. 78.
8. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Osnovi teploperedachi. M., 1973. 320 s.
9. Rasporiazhenie Mintransa RF ot 14.03.2008 № АМ-23-р «O vvedenii v deistvie metodicheskikh rekomendazii «Normy rashkoda topliv I smasochnikh materialov na avtomobilnom transporte».
10. Avtomobil ZIL-130 i ego modifikazii. Model 1970 g. Instrukziia po ekspluatazii. Izdanie 8-e, ispr. i dop. M., 1971. 224 s.
11. Semiduberskii M. S. Nasosi, kompressori, ventilatori. Izd. 4-e, pererab. i dop. M., 1974. 232 s.
12. Sposob povisheniia adaptazii sistemi pitaniia toplivom transportnogo diselia k niskim temperaturam / M. A. Savin i dr. Zaiavka №2019107245/06(013906) na patent RF na isobretenie.

УДК 614.849

alexkrec96@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕННОГО ПОРЯДКА УЧЕТА ПОЖАРОВ И ИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ НА ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА**

**INFLUENCE OF THE CHANGED ORDER OF ACCOUNTING FOR FIRES
AND THEIR EFFECTS ON THE TARGET PERFORMANCE INDICATORS
FEDERAL STATE FIRE SUPERVISION**

*Кректунов А. А., кандидат сельскохозяйственных наук,
Шавалеев М. Р., кандидат химических наук,
Кокшаров А. В., кандидат химических наук,
Ефимов И. А., кандидат юридических наук,
Перевалов А. С., кандидат технических наук, доцент,
Черепанов Е. А., Уральский институт
ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Krektunov A. A., Shavaleev M. R., Koksharov A. V.,
Efimov I. A., Perevalov A. S., Cherepanov E. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье приведен перечень характеристик ключевых и индикативных показателей, наиболее полно отражающих результативность федерального государственного пожарного надзора на современном этапе в сфере деятельности МЧС России. Проведен сравнительный анализ рассчитанных ключевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора в сфере компетенций МЧС России за 2019 год и установленных нормативными правовыми актами целевых значений. Сделаны выводы о влиянии измененного порядка учета пожаров и их последствий на указанные показатели и необходимости определения и использования комплексной оценки показателей группы «А», «Б» и «В».

Ключевые слова: учет пожаров и их последствий, ключевые показатели результативности, целевые значения показателей результативности, контрольно-надзорная деятельность, федеральный государственный пожарный надзор.

The article provides a list of characteristics of key and indicative indicators that most fully reflect the effectiveness of Federal state supervision at the present stage in the sphere of activity of the Ministry of emergency situations of Russia. A comparative analysis of the calculated key performance indicators of the Federal state fire supervision in the sphere of competence of the Ministry of emergency situations of Russia for 2019 and the target values set by regulatory legal acts is carried out. Conclusions are drawn about the impact of the changed procedure for accounting for fires and their consequences on these indicators and the need to determine and use a comprehensive assessment of the indicators of group "A", "B" and "C".

Keywords: accounting for fires and their consequences, key performance indicators, target values of performance indicators, control and supervision activities, Federal state fire supervision.

С 1 января 2019 года вступили в силу изменения в порядок учета пожаров и их последствий, утвержденный приказом МЧС РФ от 21 ноября 2008 г. № 714

[1]. Прежде всего изменения коснулись порядка учета таких основных показателей, характеризующих обстановку с пожарами и их последствиями, как количество пожаров и количество погибших при пожарах людей. При определении количества пожаров из указанного нормативного правового акта было исключено понятие «загорание», а погибшими при пожаре теперь считаются люди, если их гибель наступила на месте пожара или в течение 30 последующих суток, за исключением тех случаев смерти, когда учреждениями судебно-медицинской экспертизы установлена гибель до момента возникновения пожара.

Представленные изменения в порядок учета пожаров и их последствий не могут не способствовать увеличению таких значений, как количество пожаров и количество погибших при пожарах людей, которые, в свою очередь, очень тесно связаны с показателями результативности контрольно-надзорной деятельности (далее – КНД) и в первую очередь с ключевыми показателями.

Общий перечень ключевых показателей результативности КНД утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 апреля 2018 г. № 788-р [2]. В МЧС России данными показателями при осуществлении федерального государственного пожарного надзора (далее – ФГПН) являются количество людей, погибших при пожарах, на 100 тысяч населения (А.1.1), количество людей, травмированных при пожарах, на 100 тысяч населения (А.1.2) и материальный ущерб, причиненный в результате пожаров, на валовый внутренний продукт (далее – ВВП) страны (А.2) [3].

Интересующие нас показатели для ФГПН в 2019 году определяются исходя из статистических данных по пожарам и их последствиям (т. е. данных, полученных с учетом изменений, внесенных в приказ МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714), а также численности населения, проживающего на территории конкретного субъекта РФ.

Обобщенные данные, необходимые для расчетов представлены в таблице 1 [4, 5].

Таблица 1
Обобщенные данные для расчетов

Субъект	Количество людей, погибших при пожарах	Количество людей, травмированных при пожарах	Материальный ущерб, причиненный в результате пожаров, млн руб.	Численность населения
Челябинская область	220	230	105,216	3475753
Свердловская область	294	252	727,824	4315699
Тюменская область	119	155	26,598	3723969
Курганская область	99	90	30,405	834701
ЯНАО	29	79	261,839	541479
ХМАО-Югра	58	129	115,809	1663795

Нами проведен расчет ключевых показателей результативности ФГПН на территории представленных субъектов УрФО в 2019 году. Размер валового внутреннего продукта (далее – ВВП) Российской Федерации в 2019 году принимаем в

размере 109361500 миллионов рублей [6]. Оценка степени достижения необходимой результативности ФГПН проводится путем сравнения полученных значений ключевых показателей и установленных целевых значений. В свою очередь, целевые

значения показателей результативности ФГПН определены приказом МЧС России от 18 декабря 2017 г. № 576 [7].

В таблице 2 обобщим полученные и имеющиеся данные.

Таблица 2
Значения ключевых и целевых показателей результативности ФГПН для субъектов УрФО в 2019 году

Субъект	А.1.1		А.1.2		А.2	
	Ключевой показатель	Целевой показатель	Ключевой показатель	Целевой показатель	Ключевой показатель	Целевой показатель
Челябинская область	6,3	4,98	6,6	6,53	0,00000096	0,000066
Свердловская область	6,8	6,62	5,8	6,09	0,0000066	0,000087
Тюменская область	3,2	9,67	4,2	6,48	0,00000024	0,000057
Курганская область	11,8	10,61	10,8	16	0,00000027	0,001111
ЯНАО	5,4	4,85	14,6	15,85	0,0000023	0,000085
ХМАО-Югра	3,5	3,66	7,7	7,73	0,0000011	0,001015

Подводя итог проведенной работе, отметим, что измененный порядок учета пожаров повлиял в первую очередь на ключевой показатель «количество людей, погибших при пожарах на 100 тысяч населения (А.1.1)». На показатели «количество людей, травмированных при пожарах на 100 тысяч населения (А.1.2)» и «материальный ущерб, причиненный в результате пожаров относительно ВВП РФ (А.2)» изменения не повлияли. Соответственно, установленный целевой показатель А.1.1 в 2019 году не достигнут в таких субъектах УрФО, как Челябинская область (превышает установленное значение на 1,32), Свердловская область (превышает установленное значение на 0,18), Курганская область (превышает установленное значение на 1,19) и Ямало-Ненецкий автономный округ (превышает установленное значение на 0,55). При этом на территории Челябинской области в 2019 году не достигнут также установленный целевой показатель А.1.2, но на незначительную величину (превышает установленное значение на 0,07). Показатель «материальный ущерб, причиненный в результате пожаров относительно ВВП РФ (А.2)» на территории всех 6 рассмотренных субъектов

в 2019 году не превышают установленных целевых значений.

В то же время полноценная оценка результативности ФГПН строится не только на показателях группы «А». Это объясняется тем, что рассчитанные нами показатели этой группы отражают лишь общий уровень достижения значимых результатов ФГПН и выражают стремление к достижению наибольшей результативности КНД, которая выражается в минимизации ущерба в подконтрольной сфере.

Наряду с показателями группы «А» существуют также показатели группы «Б», они также являются ключевыми показателями, но характеризуют не степень достижения определенных общественно-значимых результатов, а соответствие степени достижения этих результатов бюджетным затратам на осуществление КНД, а также различным издержкам, которые несут подконтрольные субъекты. Эти показатели иллюстрируют эффективность ФГПН (выражается в процентах). Они определяются путем соотношения разницы между причиненным ущербом в предшествующем периоде и причиненным ущербом в текущем периоде, расходами на исполнение полномочий в предшествующем периоде и расходами на исполне-

ние полномочий в текущем периоде, издержками хозяйствующих субъектов в предшествующем периоде и издержками хозяйствующих субъектов в текущем периоде, а также расходах на исполнение полномочий при осуществлении ФГПН.

Но наибольшая объективность при оценке результативности ФГПН достигается в случае расчета индикативных показателей. Эти показатели относятся к показателям группы «В» и детально характеризуют объем задействованных при реализации и осуществлении ФГПН трудовых и материальных ресурсов, состояние подконтрольной среды, начиная от количества объектов защиты и их деления на категории риска и заканчивая долей государственных инспекторов по пожарному надзору, в течение последних 3 лет прошедших программы переподготовки или повышения квалификации. Кроме того, они учитывают количественные параметры проведенных проверок при осуществ-

лении ФГПН, в т. ч. общее их количество и продолжительность в отношении тех или иных объектов защиты, а также отражают объем задействованных при осуществлении данного рода деятельности трудовых и финансовых ресурсов.

Оценка индикативных показателей очень важна, поскольку именно она позволяет выявить проблемы в каждом конкретном подразделении, осуществляющем ФГПН, учитывая складывающуюся обстановку на территории, обслуживаемой подразделением, и мельчайшие детали в деятельности каждого отдельного государственного инспектора по пожарному надзору.

Таким образом, только комплексная оценка всех существующих показателей позволит с максимальной достоверностью оценивать результативность такого вида КНД в сфере компетенций МЧС России, как ФГПН.

Литература

1. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий: приказ МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714 // Российская газета. 2008. № 257.
2. О перечне ключевых показателей результативности контрольно-надзорной деятельности федеральных органов исполнительной власти: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 апреля 2018 г. № 788-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2018. № 19. Ст. 2770.
3. Кректунов А. А. и др. Определение степени достижения целевых показателей результативности федерального государственного пожарного надзора на территории Уральского федерального округа // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (28). С. 58–64.
4. Статистика пожаров и времени реагирования (оперативные данные). URL: <https://sites.google.com/site/pojstat/home/statistika> (дата обращения 18.01.2020).
5. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3abf6e (дата обращения 18.01.2020).
6. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru/folder/313/document/75264> (дата обращения 05.02.2020).
7. Об утверждении перечней показателей результативности и эффективности деятельности надзорных органов МЧС России: приказ МЧС России от 18 декабря 2017 г. № 576 // Текст приказа официально опубликован не был.

References

1. Ob utverzhdenii Poryadka ucheta pozharov i ih posledstvij: prikaz MCHS Rossii ot 21 noyabrya 2008 g. № 714 // Rossijskaya gazeta. 2008. № 257.
2. O perechne klyuchevyh pokazatelej rezul'tativnosti kontrol'no-nadzornoj deyatel'-nosti federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossij-skoj Federacii ot 27 aprelya 2018 g. № 788-r // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii. 2018. № 19. St. 2770.
3. Krektunov A. A. et al. Opredelenie stepeni dostizheniya celevykh pokazatelej rezul'ta-tivnosti federal'nogo gosudarstvennogo pozhnogo nadzora na territorii Ural'skogo fe-deral'nogo okruga //nTekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 2 (28). S. 58–64.
4. Statistika pozharov i vremeni reagirovaniya (operativnye dannye). URL : <https://sites.google.com/site/pojstat/home/statistika> (data obrashcheniya 18.01.2020).
5. Oficial'nyj sajт Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. URL:

http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (data obrashcheniya 18.01.2020).

6. Oficial'nyj sayt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. URL:
<https://www.gks.ru/folder/313/document/75264> (data obrashche-niya 05.02.2020).

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

УДК 614.842.47

s_sharhun@mail.ru

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
КОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ОТ ОЧАГА ПОЖАРА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LIFE OF SAFE OPERATION
OF COMPOSITE AND STEEL REINFORCEMENT UNDER THE INFLUENCE
OF HEAT FLOW FROM THE FIRE SOURCE**

*Шархун С. В., кандидат технических наук,
Ожегов Э. А., кандидат технических наук,
Мокроусова О. А., доктор педагогических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Ширинкин П. В., кандидат технических наук,
Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, Железногорск*

*Sharhun S. V., Ojegov E. A., Mokrousova O. A.,
Urals Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Shirinkin P. V., Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry
of Emergency Situations of Russia, Zheleznogorsk*

В статье представлены результаты лабораторных испытаний по определению ресурса безопасной эксплуатации композитной арматуры при воздействии теплового потока от возможного очага пожара, также представлена сравнительная характеристика стальной и композитной арматуры по ряду механических свойств. Поставлен вопрос о необходимости разработки достоверной методики, позволяющей определять пределы огнестойкости бетонных конструкций армированных композитной арматурой.

Ключевые слова: тепловой поток, температура, пожар, стальная арматура, композитная арматура, потеря целостности, статический прогиб, сопротивление тепловому потоку.

The article presents the results of laboratory tests to determine the resource of safe operation of composite reinforcement under the influence of heat flow from a possible fire source, as well as the comparative characteristic of steel and composite reinforcement on a number of mechanical properties. The question was raised about the need to develop a reliable methodology allowing to determine the fire resistance limits of concrete structures reinforced with composite reinforcement.

Keywords: heat flow, temperature, fire, steel reinforcement, composite reinforcement, loss of integrity, static deflection, resistance to heat flow.

Композитная арматура, появившаяся на российском рынке строительных материалов относительно недавно, стала все больше конкурировать с традиционной применяемой арматурой, изготовленной из металла. По заверениям производителей, композитная арматура обладает ря-

дом уникальных характеристик, которые выделяют ее среди других изделий подобного назначения.

При изготовлении композитной арматуры могут быть использованы различные типы армирующих наполнителей,

исходя из этого арматура подразделяется на несколько видов:

АСК – изделия, изготовленные на основе стеклопластика;

АУК – углекомпозитные армирующие изделия;

АКК – арматура, выполненная из комбинированных композитных материалов.

На отечественном рынке строительных материалов наибольшее распространение получила стеклопластиковая арматура.

Стеклопластиковая арматура – это не просто прутки из композитного материала, это двухкомпонентный элемент, содержащий внутренний стержень и внешний слой.

Внутренний стержень, как правило, представляет собой волокна стеклопла-

стика, расположенные параллельно друг другу, соединенные между собой при помощи полимерной смолы; именно внутренний стержень арматуры из стеклопластика формирует ее основные прочностные характеристики.

Внешний слой арматурного прутка, изготовленного из стеклопластика, может быть выполнен в виде напыления мелкофракционного абразивного порошка либо в виде двунаправленной навивки из волокон композитного материала.

Практически все производители композитной арматуры заявляют более высокие показатели по прочностным характеристикам в сравнении со стальной арматурой. Сравнительная характеристика арматур по данным, представленным в работе [1], приведена в таблице 1.

Таблица 1
Сравнительная характеристика стальной и композитной арматуры

Характеристика	Сталь	Композитная арматура
Предел прочности при растяжении	390 МПа	1300 МПа
Модуль упругости	Высокий модуль упругости	Низкий модуль упругости – вибрация гасится быстро и без последствий
Относительное удлинение	25 %	2,2 %
Плотность	7 т/м ³	1,9 т/м ³
Диаметр профиля	6–80 мм	4–32 мм
Теплопроводность	Теплопроводна	Не проводит тепло
Электропроводность	Проводник	Диэлектрик
Долговечность	Около 50 лет, в соответствии со строительными нормами	Около 100 лет
Экологичность	Экологична	Экологична

Несмотря на преимущества, у композитной арматуры имеется также ряд недостатков, одним из которых является низкая стойкость композитной температуры к воздействию высоких температур, что в свою очередь может оказать существенное влияние на величину предела огнестойкости конструкции, в составе которой используется композитная арматура.

Так, в работах [2, 3] приводятся данные, «что минимальное значение предела огнестойкости составляет 13 минут для изгибаемых конструкций, при этом разрушение является хрупким. При интенсивном разогреве рабочей арматуры до 100 °С происходит активное выделение пара из смежных со стержнем микротрещин бетона. При этом мгновенно повыша-

ется давление на поверхности арматуры, что приводит к разрушению волокна. Логично предположить, что предел огнестойкости может значительно отличаться для различных производителей арматуры, однако, очевидно, что композитную арматуру нельзя применять без специальных конструктивных мероприятий либо дополнительной огнезащиты несущих конструкций, к которым предъявляются требования по огнестойкости» [3].

Для оценки ресурса безопасной эксплуатации композитной и стальной арматуры при воздействии теплового потока от очага пожара проведена серия испытаний. Для чего была использована установка, подробное описание которой приведено в работе [4]. Установка представляет собой несущую конструкцию, на которой размещено следующее оборудование:

- источник теплового излучения (газовая инфракрасная горелка В64-2 SX SBM);
- перемещаемый по направляющим измерительный блок с оборудованием для



Рисунок 1. Образец для испытания (стальная арматура диаметром 10 мм) закреплена на установке в процессе испытания

В ходе проведения испытания образца стальной арматуры диаметром 10 мм на начальном этапе наблюдался незначительный прогиб (не более 2 мм), при дальнейшем испытании изменений зафик-

измерения температуры в пяти точках исследуемого образца;

- ручной привод для перемещения блока в процессе эксперимента;
- пульт управления оборудованием [4].

Для проведения лабораторных испытаний была использована стальная и композитная арматура длиной 1500 мм и номинальным диаметром 8, 10, 12 мм.

Для создания статической нагрузки на образцы при испытании был использован груз весом 4,84 кг.

При этом после нагружения арматуры была определена величина прогиба от действия статической нагрузки и при помощи газовой инфракрасной горелки на образец воздействовали тепловым потоком. Ход проведения испытания показан на рис. 1. В процессе испытания фиксировались следующие показатели:

- скорость увеличения прогиба;
- время разрушения образца;
- температура на двух термопарах с интервалом 10 секунд;
- величина итогового прогиба.

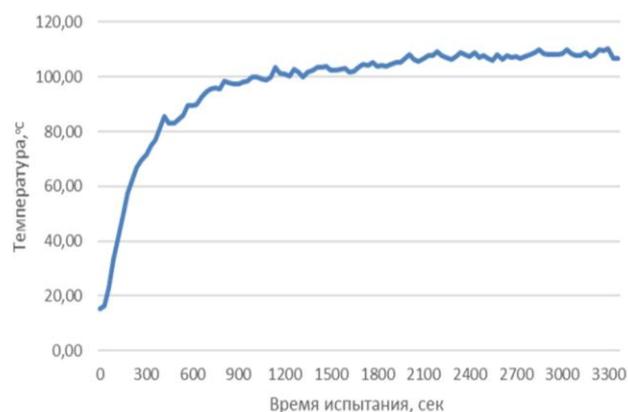


Рисунок 2. Динамика нарастания температуры в процессе испытания

сировано не было, на 55 минуте было принято решение прекратить испытание. На рис. 2 показана динамика нарастания температуры в процессе испытания данного образца.

Далее были проведены испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 8 мм, в процессе которого на 2 минуте испытания наблюдались стремительный прогиб образца вниз

и потеря его целостности (излом прутка). На рис. 3 показана динамика нарастания температуры в процессе испытания данного образца.

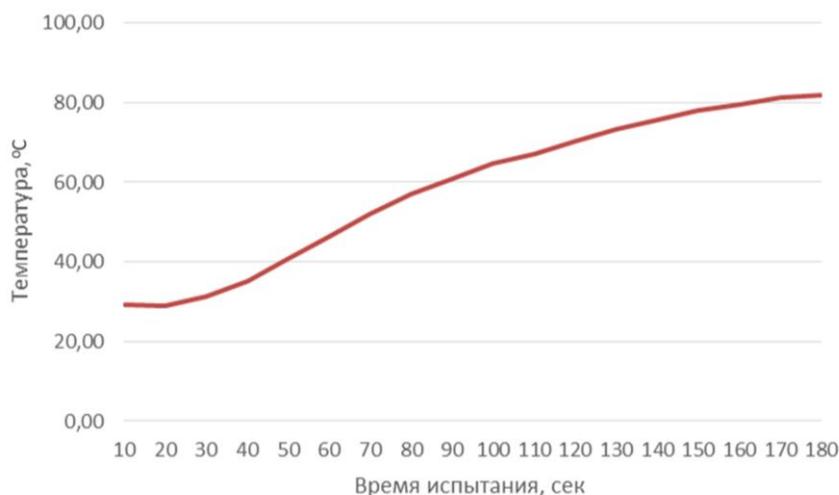


Рисунок 3. Динамика нарастания температуры в процессе испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 8 мм

В ходе проведения испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 10 мм наблюдалось оплавление поверхностного слоя, и на 12 минуте испытания наблюдался стреми-

тельный прогиб образца с дальнейшим изломом прутка. На рис. 4 показана динамика нарастания температуры в процессе испытания данного образца.

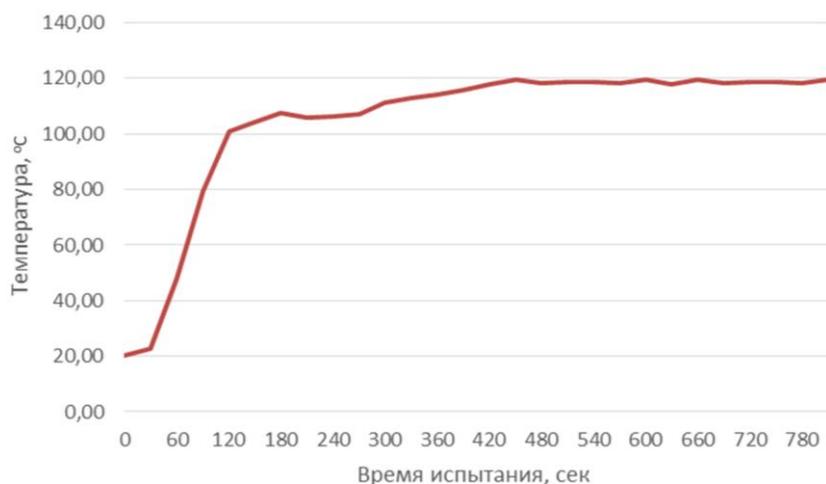


Рисунок 4. Динамика нарастания температуры в процессе испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 10 мм

В ходе проведения испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 12 мм наблюдалось оплавление поверхностного слоя и незначи-

тельный (от начального) прогиб образца, по истечении 30 минут испытания с целью установления температурного предела эксплуатации данного типа арматуры, бы-

ла увеличена температура теплового воздействия до 200 °С. При такой температуре образец потерял свою целостность на

33 минуте испытания. На рис. 5 показана динамика нарастания температуры в процессе испытания данного образца.

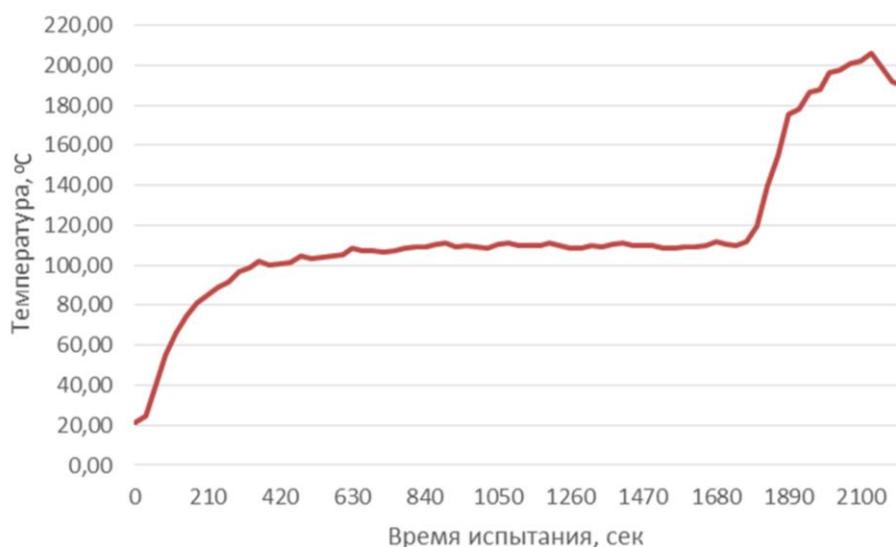


Рисунок 5. Динамика нарастания температуры в процессе испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 12 мм

В целях получения объективных результатов от теплового воздействия (без аккумулялирования теплового эффекта) испытания образца композитной арматуры диаметром 12 мм были проведены повторно при температуре, увеличенной в 2 раза.

В ходе повторного испытания аналогичного образца получены следующие

результаты: на 6 минуте наблюдается оплавление поверхности образца, а также прогиб равный 5,4 см, на 7 минуте испытания наблюдался стремительный прогиб и потеря целостности образца. На рис. 6 показана динамика нарастания температуры в процессе повторного испытания аналогичного образца.

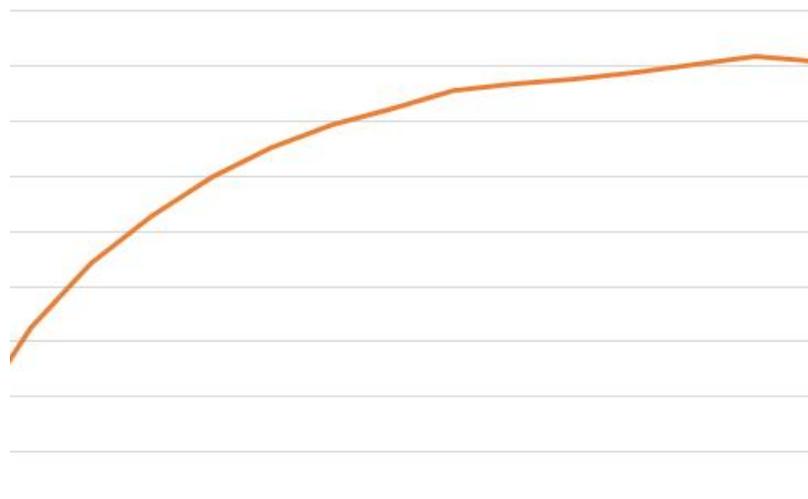


Рисунок 6. Динамика нарастания температуры в процессе повторного испытания образца композитной арматуры номинальным диаметром 12 мм

Интерпретация полученных результатов испытаний показала, что при воздействии теплового потока мощностью 42 кВт/м^2 на расстоянии установки образцов создается температура около $100 \text{ }^\circ\text{C}$. При испытании стальной арматуры значительного прогиба на протяжении 60 минутного теплового воздействия не наблюдается. Следовательно, огнестойкость конструкции, включающей в состав такую арматуру, не будет снижена при рассмотренных тепловых нагрузках.

При воздействии аналогичного теплового потока на композитную арматуру различных диаметров происходит разрушение образца в различные временные интервалы. Как следствие, огнестойкость конструкции, включающей в состав такую арматуру, при рассмотренных тепловых нагрузках будет снижена.

Также необходимо отметить, что в условиях реального пожара температура может достигать значительных величин и температура в $100\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$ на поверхности арматуры в несущих конструкциях, участвующих в геометрической устойчивости зданий, может быть достигнута. Вследствие чего предел огнестойкости и прочностные характеристики конструкций, в состав которых включена композитная арматура, может быть значительно снижен.

Следовательно, к выбору этого материала следует подходить очень обоснованно, используя его для решения исключительно тех задач, для которых он действительно предназначен с учетом положений свода правил [5], применять стеклопластиковую арматуру можно достаточно эффективно, если учитывать ее недостатки и связанные с ними ограничения, которые оговариваются производителем.

Также стоит отметить тот факт, что в настоящее время отсутствует расчетная методика определения огнестойкости бетонных конструкций армированных композитной арматурой, утверждённая каким-либо нормативным правовым актом на уровне Российской Федерации, а имеющиеся методики различных производителей строительных материалов, как и результаты испытаний, проведенных по самостоятельно разработанным методам, не могут быть использованы в качестве легитимного способа подтверждения огнестойкости таких строительных конструкций.

Анализируя требования к пределу огнестойкости основных строительных конструкций, предъявляемые в [6, 7], а также желание производителей расширить область применения композитной арматуры, становится очевидно, что в настоящее время вопрос разработки методики, по-

звolyающей произвести оценку предела огнестойкости бетонных конструкций армированных композитной арматурой расчетным путем, является весьма актуальным.

Строительному и научному сообществу предстоит искать пути решения

этого вопроса в ближайшее время, и первое, с чего необходимо начать, – это выработка общих требований к разрабатываемой методике, в том числе касающихся используемых исходных данных.

Литература

1. Негматуллаев С. Х., Оснос С. П., Степанова В. Ф. Арматура базальтопластиковая. Характеристики, производство, применение // Технологии бетонов. 2016. № 5–6. С. 32–39.
2. Имомназаров Т. С., Аль Сабри Сахар А. М., Дирие М. Х. Применение композитной арматуры // Системные технологии. 2018. № 27. С. 24–29.
3. Кустикова Ю. О., Юрпольская В. П. Проблемы внедрения композитной арматуры в строительстве // Научное обозрение. 2016. № 9. С. 22–25.
4. Шархун С. В. и др. Экспериментальное определение эффективной толщины защитного покрытия многослойного кремне-гранитного блока при тепловом воздействии от очага пожара // Техносферная безопасность. 2018. № 2 (19). С. 69–75.
5. Свод правил. Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования: СП 295.1325800.2017: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 11 июля 2017 г. № 988/пр: официальное издание. М., 2017.
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123–ФЗ; с изм. и доп. Екатеринбург, 2019.
7. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты: СП 2.13130.2012: утв. приказом МЧС РФ от 21 ноября 2012 г. № 693 р: офиц. изд. М., 2013.

References

1. Negmatullaev S. H., Osnos S. P., Stepanova V. F. Armatura bazal'toplastikovaja. Harakteristiki, proizvodstvo, primeneniye // Tehnologii betonov. 2016. № 5–6. S. 32–39.
2. Imomnazarov T. S., Al' Sabri Sahar A. M., Dirie M. H. Primeneniye kompozitnoj armatury // Sistemnye tehnologii. 2018. № 27. S. 24–29.
3. Kustikova Ju. O., Jurpol'skaja V. P. Problemy vnedrenija kompozitnoj armatury v stroitel'stve // Nauchnoe obozrenie. 2016. № 9. S. 22–25.
4. Sharhun S. V. et al. Jeksperimental'noe opredeleniye jeffektivnoj tolshhiny zashhitnogo pokrytija mnogoslajnogo kremne-granitnogo bloka pri teplovom vozdejstvii ot ochaga pozhara // Tehnosfernaja bezopasnost'. 2018. № 2 (19). S. 69–75.
5. Svod pravil. Konstrukcii betonnye, armirovannye polimernoj kompozitnoj armaturoj. Pravila proektirovanija: SP 295.1325800.2017: utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva RF ot 11 ijulja 2017 g. No 988/pr: oficial'noe izdanie – M., 2017.
6. Tehnicheskij reglament o trebovanijah pozharnoj bezopasnosti : Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 22.07.2008 g. № 123-FZ; s izm. i dop. Ekaterinburg, 2019.
7. Svod pravil. Sistemy protivopozharnoj zashhity. Obespechenie ognestojkosti ob#ektov zashhity: SP 2.13130.2012: utv. prikazom MChS RF ot 21 nojabrja 2012 g. № 693 r: oficial'noe izdanie. M., 2013.

УДК 614.8:621.22

yakovenkota@bk.ru

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА
В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ**

**EATURES OF APPLICATION OF PNEUMAHYDRAULIC DRIVE
OF THE HYDRAULIC EMERGENCY RESCUE TOOL
IN SUMMER AND WINTER PERIODS**

*Киселев В. В., кандидат технических наук,
Топоров А. В., кандидат технических наук,
Зарубин В. П., кандидат технических наук,
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, Иваново,
Яковенко Т. А., кандидат технических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Сайкин М. С., кандидат технических наук,
Ивановский государственный энергетический университет, Иваново*

*Kiselev V. V., Toporov A. V., Zarubin V. P.,
Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Emergency Ministry of Russia, Ivanovo,
Yakovenko T. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Saykin M. S.,
Ivanovo State Power University, Ivanovo*

В статье описывается конструкция опытного образца пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента, в котором источником энергии является воздух под давлением. Отличительной особенностью опытного образца является его ранцевое исполнение, что позволяет выполнять работы с гидравлическим аварийно-спасательным инструментом одним спасателем. Созданное устройство может найти применение при проведении аварийно-спасательных работ в различных климатических условиях, как при отрицательных, так и положительных температурах окружающей среды. В статье приведены результаты эксплуатационных испытаний опытного образца в летний и зимний периоды.

Ключевые слова: гидравлический аварийно-спасательный инструмент, испытание, привод.

This article describes the design of the prototype pneumatic-hydraulic drive hydraulic emergency rescue tool, in which the source of energy is air under pressure. A distinctive feature of the prototype is its knapsack design, which allows one rescuer to perform work with the hydraulic emergency rescue tool. The created device can be used in rescue operations in various climatic conditions, both at negative and positive ambient temperatures. The article presents the results of operational tests of a prototype in the summer and winter periods.

Keywords: hydraulic rescue tool, drive, air pump, experimental sample, test, temperature.

Пожар является стихийным бедствием, причиняющим существенный ущерб, остановить которое достаточно сложно. Кроме пожаров, существенный ущерб экономике и угрозу жизни и здоровью граждан приносят различные чрезвычайные ситуации и стихийные бедствия, а также дорожно-транспортные происшествия. Для борьбы с огнем и спасения граждан пожарно-спасательные подразделения оснащены специальной техникой, в том числе пожарно-спасательными автомобилями. В современном машиностроении пожарной техники наблюдается тенденция создания пожарно-спасательных автомобилей с повышенной функциональностью, предполагающей непосредственно тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ. Для этого пожарные автомобили комплектуются различным аварийно-спасательным инструментом, в том числе гидравлическим аварийно-спасательным инструментом (ГАСИ). Гидравлический аварийно-спасательный инструмент применяют в случаях деформации элементов конструкций при пожарах или кузова автомобиля при дорожно-транспортных происшествиях [1].

Гидравлический аварийно-спасательный инструмент приводится в действие различными внешними источни-

ками энергии – ручным насосом, электроприводным насосом, моторизованным насосом. Недостатком насосов с двигателями внутреннего сгорания является трудоемкость обслуживания, необходимость хранения и транспортировки топлива, проблемы с запуском при низких температурах. Ручные насосы просты в эксплуатации и обслуживании, однако менее эффективны, по сравнению с бензиновыми насосами, и требуют для работы дополнительную единицу расчета из числа личного состава. Электрические насосные станции имеют ограниченное время работы, определяемое емкостью батарей. В пневмоприводных насосах в качестве источника энергии используется газ под давлением. Накопленный в ресивере газ воздействует на рабочую жидкость, которая по шлангам высокого давления подается к исполнительному органу [2].

Коллективом авторов была предложена оригинальная конструкция пневмоприводного насоса гидравлического аварийно-спасательного инструмента, выполненная в виде подвесной системы, закрепленной на спине пожарного (рис. 1) [3]. Основным преимуществом такого инженерного решения является возможность выполнять работы с ГАСИ одним спасателем.



Рисунок 1. Пневмоприводной насос ГАСИ

Для пояснения принципа работы разработанного устройства приведем следующую схему (рис. 2).

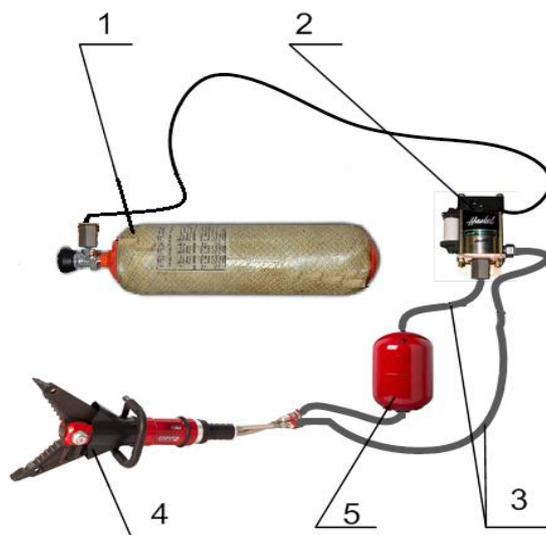


Рисунок 2. Схема устройства:

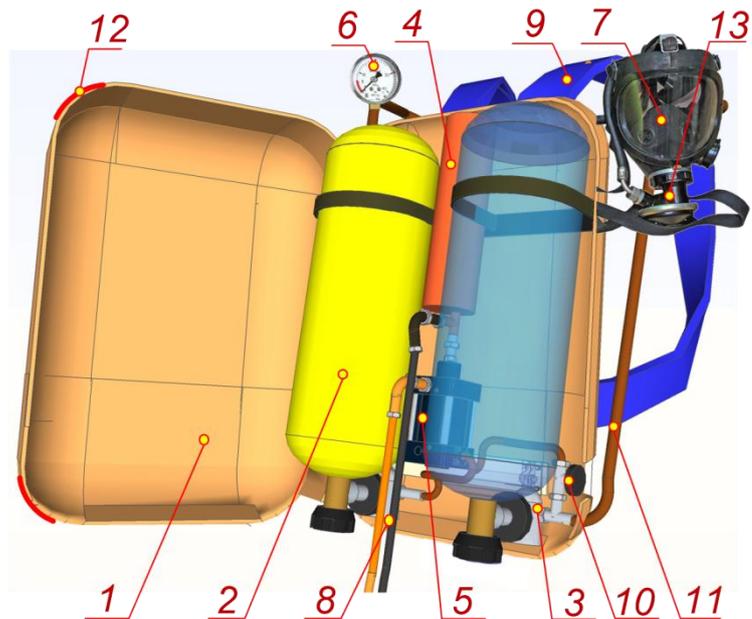
1 – баллон со сжатым воздухом; 2 – пневмогидронасос;
3 – шланги высокого давления; 4 – гидравлический инструмент; 5 – масляный бак

В качестве источника энергии применяется баллон со сжатым воздухом 1 под давлением 26 МПа. Для понижения давления воздуха баллон оснащен редуктором. Редуцированное давление воздуха составляет 0,6 МПа. Для преобразования давления сжатого воздуха в давление жидкости устройство оснащено пневмогидронасосом 2. Выходное отверстие пневмогидронасоса соединяется шлангами высокого давления 3 с гидравлическим инструментом 4. Выходная магистраль гидравлического инструмента соединена с масляным баком 5. Бак 5 соединяется с входным отверстием пневмогидронасоса 2.

Работает привод следующим образом. Сжатый воздух от баллона подается в пневмогидронасос, где давление воздуха преобразуется в давление жидкости. Жид-

кость под давлением по шлангам подается к исполнительному органу и приводит его в движение. Таким образом, обеспечивается привод аварийно-спасательного инструмента от сжатого воздуха.

Часто работа пожарных и спасателей происходит в непригодной для дыхания среде. Для этих случаев пожарные оснащены дыхательными аппаратами, также размещенными на спине. Для решения проблемы совмещения дыхательного устройства и пневмоприводного насоса была разработана другая, более совершенная конструкция пневмогидравлического привода ГАСИ, трехмерная модель которого показана на рис. 3. Созданный опытный образец отличается тем, что он дополнительно оснащен дыхательной системой со сжатым воздухом [4].



*Рисунок 3. Трехмерная модель модернизированного привода ГАСИ:
 1 – композитный корпус; 2 – баллон для сжатого воздуха с вентилем;
 3 – редуктор для баллона; 4 – расширительный бачок для масла; 5 – пневмогидронасос;
 6 – манометр; 7 – панорамная маска; 8 – шланги высокого давления;
 9 – подвесная система; 10 – соединительная запорная арматура;
 11 – шланги низкого давления; 12 – отражатели на корпусе; 13 – легочный автомат*

В настоящее время изготовлен экспериментальный образец и организована его опытная эксплуатация (рис. 4), кото-

рая включает, в том числе, проведение испытаний при различных температурных условиях.



Рисунок 4. Опытный образец разработанного устройства

В ходе опытной эксплуатации экспериментального образца разработанного пневмогидравлического привода проводились различные виды работ, в частности перекусывание стальной арматуры диаметром до 28 мм, подъем бетонных плит и другие.

Поскольку физические характеристики газов под давлением значительно изменяются под действием различных внешних факторов, представляет интерес изучение их влияния на работоспособность инструмента с пневмогидравлическим приводом. Одним из самых значимых факторов здесь является температура окружающего воздуха и частей устройства, имеющих непосредственный контакт с рабочим газом. Диапазон колебаний температур окружающего воздуха в нашей стране может достигать 80 °С.

В процессе опытной эксплуатации привод использовался как в летний, так и в зимний периоды. Влияние влажности окружающего воздуха на рабочие характеристики не учитывалось.

Для нормального функционирования пневмогидронасоса, используемого в приводе, важны две основные характеристики сжатого воздуха: давление и расход. Давление воздуха определяет давление жидкости и в итоге усилие на рабочих элементах исполнительного органа гидравлического аварийно-спасательного инструмента. Как показал опыт использования, давление воздуха во входной магистрали пневмогидронасоса составляло порядка 0,6–0,9 МПа. Применяемый в приводе пневмогидронасос обладает значительным коэффициентом преобразования и обеспечивает давление в рабочей гидравлической магистрали порядка 55–68 МПа.

Опытная эксплуатация устройства проводилась в осенне-зимний период. Эффективность работы привода в первую очередь оценивалась по перекусыванию стальной арматуры диаметром 18 мм. Цикл включал в себя выполнение опера-

ции с последующим полным смыканием режущих частей исполнительного органа. Среднее время одного рабочего цикла составляло порядка 18 с независимо от температуры окружающего воздуха. Работы проводились в непрерывном режиме, при постоянном контроле величины давления в баллоне от значения 24 МПа до 4 МПа при различных значениях температуры окружающего воздуха. Зависимость времени работы от величины температуры окружающего воздуха представлена на рис. 5 (прерывистая линия).

Как видим из данных графика, с увеличением температуры окружающей среды время работы устройства увеличивается. Это связано с изменением физических свойств воздуха.

Известно, что плотность воздуха зависит от температуры [7], т. е. при том же давлении расход сжатого воздуха из баллона будет возрастать, что повлечет за собой снижение времени работы. Качественная зависимость плотности воздуха от температуры изображена на рис. 5 сплошной линией. Однако в отличие от графика зависимости плотности воздуха, зависимость времени работы имеет больший градиент. Такой характер кривой может быть связана с дополнительным охлаждением воздуха в рабочем тракте. В ходе работы в двух узлах испытываемой конструкции – редукторе и ресивере – происходит дренирование воздуха, результатом которого является значительное снижение температуры этих узлов. Визуально этот эффект возможно наблюдать по образованию инея на редукторе, шлангах и ресивере. Измерения температуры этих узлов при различных условиях эксплуатации не проводились, однако при температуре окружающей среды –1 °С установлено, что температура поверхности редуктора баллона составляла порядка –8 °С, корпуса ресивера –6 °С, корпуса пневмогидронасоса –4 °С.

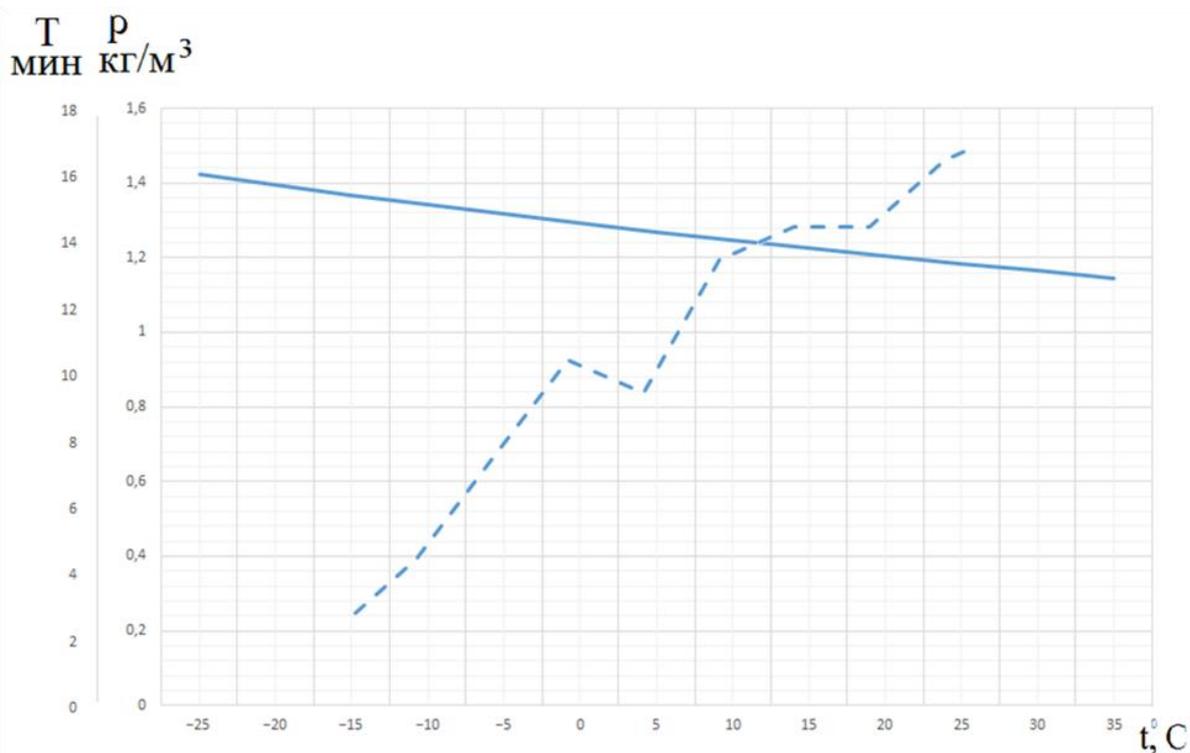


Рисунок 5. Зависимость плотности воздуха (сплошная линия) и времени работы пневмогидравлического привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента от температуры окружающей среды

Судя по кривой (рис. 5), эффект доохлаждения рабочего воздуха наиболее значительно проявляется при температурах окружающей среды от 0 °C и ниже, что отрицательно сказывается на времени работы устройства.

В пользу предположения о дополнительном охлаждении воздуха в рабочей магистрали может так же свидетельствовать следующая выявленная особенность. В ходе испытаний при температурах ниже 5 °C уменьшалась скорость работы инструмента. Снижение скорости происходило скачкообразно и не сопровождалось падением давления воздуха в баллоне. Например, при температуре выше 5 °C удавалось выполнить всю серию испытаний без изменения скорости, а при -5 °C после 23

рабочих ходов скорость резко падала, при -10 °C удавалось выполнить лишь 15 рабочих ходов без увеличения времени операции. Замена баллонов в ходе испытаний производилась за время не более 30 с.

Таким образом, в ходе проведенных испытаний установлено, что использование привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента, в котором используется принцип преобразования энергии сжатого воздуха в энергию сжатой жидкости, позволяет выполнять все необходимые операции. При снижении температуры окружающей среды происходит значительное уменьшение времени работы таких устройств, приемлемое время работы привода обеспечивается при температурах выше 5 °C.

Литература

1. Пучков П. В., Киселев В. В., Топоров А. В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. № 3. С. 29–32.
2. Пучков П. В. и др. Гидравлический аварийно-спасательный инструмент с пирогенератором давления рабочей среды. Патент на полезную модель RU 115267 U1. 2012.

3. Топоров А. В., Смирнов М. В. Переносной гидравлический аварийно-спасательный инструмент. Патент на полезную модель (19) RU (11) 174 423 (13) U1. 2017.
4. Топоров А. В. и др. Переносной гидравлический аварийно-спасательный инструмент. Патент на полезную модель RU (11) 175 901 (13) U1. 2017.
5. Гомонай М. В., Топоров А. В., Смирнов М. В. Применение сжатого газа в качестве источника энергии для привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 3 (30). С. 39–42.
6. Топоров А. В. и др. Применение сжатого газа для привода гидравлического инструмента // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 8. С. 345–347.
7. Карабин А. И. Сжатый воздух. Выработка, потребление, пути экономии. М., 1964. 341с.

References

1. Puchkov P. V., Kiselev V. V., Toporov A. V. Razrushenie stroitel'nyh metallokonstrukcij v usloviyah pozhara // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2010. № 3. P. 29–32.
2. Puchkov P. V. et al. Gidravlicheskiy avarijno-spasatel'nyj instrument s pirogeneratorom davleniya rabochej sredy. Patent na poleznuyu model' RU 115267 U1. 2012.
3. Toporov A. V., Smirnov M. V. Perenosnoj gidravlicheskiy avarijno-spasatel'nyj instrument. Patent na poleznuyu model' (19) RU (11) 174 423 (13) U1. 2017.
4. Toporov A. V. et al. Perenosnoj gidravlicheskiy avarijno-spasatel'nyj instrument. Patent na poleznuyu model' RU (11) 175 901 (13) U1. 2017.
5. Gomonaj M. V., Toporov A. V., Smirnov M. V. Primenenie szhatogo gaza v kachestve istochnika energii dlya privoda gidravlichesкого avarijno-spasatel'nogo instrumenta | Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2016. № 3 (30). P. 39–42.
6. Toporov A. V. et al. Primenenie szhatogo gaza dlya privoda gidravlichesкого instrumenta // Sborка v mashinostroenii, priborostroenii. 2017. № 8. P. 345–347.
7. Karabin, A. I. Szhatyj vozduh. Vyrabotka, potreblenie, puti ekonomii. M., 1964. 341 p.

УДК 332.122.62

oparinivan@mail.ru

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УЩЕРБА
ОТ ПОЖАРОВ****METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT
OF FIRE DAMAGE**

*Опарин И. Д.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Яшин А. А., кандидат экономических наук, доцент,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург,
Терентьев В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Oparin I. D., The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Yashin A. A., Ural Federal University
named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg,
Terentev V. V., The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье сформулированы основные методические принципы комплексной оценки ущерба от пожаров. Разработанные методические принципы позволяют отсеять наименее важные параметры и сконцентрироваться на факторах, которые в значительной степени определяют полноту комплексной оценки ущерба от пожаров. В статье проведён анализ основных действующих методик по оценке ущерба от пожаров и чрезвычайных ситуаций. На основании проведённого исследования выявлены отличительные особенности представленных методик и их основные недостатки. На основании статистических данных по ущербу от пожаров в Свердловской области составлена наиболее полная классификация комплексного ущерба от пожаров, которая учитывает вопросы оценки косвенного экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба от пожаров. В процессе исследования автором проведён ряд экспертных интервью со специалистами в области оценки ущерба от пожаров: оценщиками, экспертами страховых компаний, сотрудниками пожарной охраны.

Ключевые слова: комплексный ущерб от пожаров, комплексная оценка ущерба, классификация ущербов, методические принципы, методы оценки, экспертные интервью.

The paper provides main methodological principles of comprehensive assessment of fire damage are formulated. The developed methodological principles allow us to filter out the least important parameters and focus on the factors that largely determine the completeness of the comprehensive assessment of fire damage. The paper analyzes the main existing methods for assessing damage from fires and emergencies. Based on the conducted research, the distinctive features of the presented methods and their main disadvantages are identified. Based on statistical data on fire damage in the Sverdlovsk region, the most complete classification of complex fire damage has been compiled, which takes into account the assessment of indirect economic, socio-economic and environmental-economic damage from fires. In the course of the research, the author con-

ducted a number of expert interviews with experts in the field of fire damage assessment: appraisers, insurance company experts, and fire protection officers.

Keywords: comprehensive fire damage, comprehensive damage assessment, damage classification, methodological principles, assessment methods, expert interviews.

С каждым годом в Российской Федерации происходит увеличение размеров ущерба от пожаров, который достигает десятков миллиардов рублей в год. С 2007 по 2018 гг. в нашей стране произошло около 2 миллионов пожаров, при этом совокупный прямой материальный ущерб составил примерно 180 млрд руб. В среднем в России ежегодный прямой материальный ущерб от пожаров достигает 15 млрд руб. в год по данным статистики [1]. В Российской Федерации при составлении статистических отчётов по пожарам в расчёт принимается только прямой материальный ущерб. При этом, например, косвенный материальный ущерб, под которым понимаются потери в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий пожаров (восстановление объекта) и потери из-за неиспользования возможностей вследствие пожара (потери от простоя объекта и потери при выбытии трудовых ресурсов) не учитывается в данных статистики. Расчёты по отдельным пожарам показывают, что косвенный ущерб может превышать прямые потери в три и более раз [2]. Кроме того, статистическими подсчётами не учитывается социально-экономический и эколого-экономический ущерб, поэтому данные статистики не отражают реального ущерба от пожаров. Эти выводы опираются на мнение ряда авторитетных специалистов, считающих, что оценка ущерба должна учитывать все экономические, социально-экономические и эколого-экономические потери, возникающие вследствие него [3].

Рост числа пожаров и материальных потерь от них позволяет сделать вывод о том, что пожары являются серьёзной угрозой экономической безопасности нашего государства. Наличие ущерба от пожаров является проявлением недостаточной защищённости экономической систе-

мы от пожаров. Пожары причиняют значительный ущерб национальному богатству и приводят к замедлению экономического развития отдельных городов, регионов и других элементов национальной экономики.

Пренебрежение некоторыми видами ущерба (косвенный материальный, экономический, социально-экономический, эколого-экономический) в конечном счете, приводит к значительному занижению ущерба от пожаров. Необходимо заметить, что вопросы определения косвенного материального, экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба от пожара в недостаточной мере изучены как в отечественной, так и в мировой науке. Вследствие этого вопрос определения этих видов ущерба в практической деятельности является трудно решаемым в силу его малой изученности и требует разработки соответствующего методического обеспечения.

Методика оценки комплексного ущерба от пожаров, учитывающая все виды ущерба, включая отдалённые последствия, позволит на основании экономических моделей и экспертных оценок, рассчитывать показатели, характеризующие ущерб по отдельности, а также в составе комплексного ущерба от пожара. Разработка технологии принятия решения по оценке ущерба обеспечит для методики удобство практического применения, так как позволит ответить на вопросы о необходимости оценки ущерба от пожара и порядке ее проведения.

Комплексность оценки ущерба подразумевает многообразие параметров, влияющих на конечный результат оценки. Методика, претендующая на полноту учёта всех составляющих ущерба, становится сложной, громоздкой и многоуровневой.

Такая методика может быть разработана, но в таком случае встаёт вопрос о возможности её применения в практической деятельности. При разработке методики главная роль должна быть отведена составляющим ущерба, которые формируют существенную часть ущерба, в то время как множеством незначительных факторов необходимо пренебречь, повышая при этом практическую значимость методики.

Анализ методик по оценке ущерба, проведённый в работе [4], показал, что в изученных методиках [5, 6, 7, 8] не реализован комплексный подход, который учитывал бы все виды ущерба, а также отсутствует возможность определить, на каких методических принципах основаны изученные методики оценки ущерба от пожаров и чрезвычайных ситуаций. Само по себе отсутствие методических принципов не станет препятствием при определении некоторых видов ущерба, однако будет являться важным фактором, влияющим на точность и адекватность разрабатываемой методики по оценке ущерба от пожаров. Разработка методических принципов позволит отсеять наименее важные параметры и сконцентрироваться на факторах, которые в значительной степени влияют на проведение комплексной оценки ущерба от пожаров. Представленная методика может не учитывать абсолютно все факторы, например, те из них, которые формируют лишь незначительную долю ущерба, но при этом будет гарантировать простоту и высокую точность полученных результатов.

Исследование процедуры проведения оценки ущерба от пожаров порождает ряд методических вопросов, которые можно представить в виде основных методических принципов.

В качестве *ключевых методических принципов* такой оценки, на наш взгляд, целесообразно рассматривать следующие принципы:

1) принцип необходимости оценки ущерба от пожаров;

2) принцип возможности оценки ущерба от пожаров;

3) принцип многообразия ущербов от пожаров;

4) принцип комплексности оценки ущерба от пожаров;

5) принцип целесообразности разграничения видов ущерба от пожаров;

6) принцип достоверности результатов оценки ущерба от пожаров;

7) принцип практической реализуемости процедуры оценки ущерба от пожаров;

8) принцип адаптивности методики оценки ущерба от пожаров.

1. Принцип необходимости оценки ущерба от пожаров.

На современном этапе развития знания об ущербе и способах его оценивания позволяют определять степень опасности многих явлений и создавать способы обеспечения всех видов безопасности. Очевидным является тот факт, что ущерб тормозит развитие любой территории и государства в целом, при этом ущерб от пожаров не является исключением. Одной из социально значимых проблем становится преодоление барьеров развития территорий путём снижения и минимизации ущерба от пожаров. Выполнение этой задачи будет невозможно без проведения адекватной оценки комплексного ущерба от пожаров.

Воздействие пожаров на экономику приводит к нарушениям взаимосвязей в экономических, эколого-экономических и социально-экономических системах. Пожары наносят ущерб гражданам и окружающей среде, а также представляют значительную угрозу обществу и государству в целом, включая историческое и культурное наследие. Без проведения адекватной оценки ущерба от пожара невозможно разработать комплекс мероприятий и план по ликвидации последствий пожара, а также восстановить пострадавшие объекты до исходного состояния.

Оценка ущерба необходима для определения дальнейших вариантов воз-

действия на пострадавшие от пожара объекты (частичное восстановление объекта до приемлемого состояния, полное восстановление объекта до исходного состояния, уничтожение пострадавшего объекта и создание нового аналогичного объекта взамен уничтоженного). Например, если в результате пожара было уничтожено здание, необходимо определить целесообразность восстановления постройки. Для этого требуется определить затраты на восстановление здания и средства, необходимые для постройки нового здания, так как в некоторых случаях сумма, потраченная на восстановление объекта будет превышать стоимость возведения нового объекта. В таком случае восстановление объекта будет нерационально. В некоторых случаях собственники объектов принимают решение о частичном восстановлении объекта для выполнения минимально необходимых производственных задач (на определённый срок или на постоянной основе). Такое решение позволяет экономить средства, намеренно не восстанавливая функции объекта до исходного состояния. Подобные мероприятия свойственны при восстановлении объектов с невысоким экономическим потенциалом. Известны случаи, когда пострадавший от пожара объект восстанавливают до уровня экономического развития, превышающего исходное состояние, но эти примеры являются чаще исключением из правил. Принятие решения о восстановлении объекта будет зависеть не только от последствий пожара, но и от других важных факторов: социальной и историко-культурной значимости объекта; перспектив развития и необходимости восстановления объекта; технической возможности восстановления объектов (после пожара конструктивные элементы здания могут быть в аварийном состоянии и дальнейшее использование сооружения будет небезопасно); финансовых и материальных возможностей владельцев; отношение общества к перспективам восстановления пострадавшего объекта.

Оценивать ущерб необходимо даже в тех случаях, когда владелец объекта не заинтересован в его восстановлении и материальный ущерб от пожара для собственника равен нулю. Это связано с тем, что при тушении объектов без собственника или объектов, не представляющих материальной ценности и социальной значимости (неиспользуемые и заброшенные постройки; сооружения и объекты незавершенного строительства; бесхозный транспорт; сухая трава; мусор и т. д.), ущерб может наноситься не только собственнику объекта. Такие пожары приводят к экономическому ущербу (затраты на тушение пожара), социально-экономическому ущербу (вред здоровью вследствие негативного воздействия продуктов горения; недовольство граждан, вызванное чувством тревоги и незащищённости; снижение ценности имущества), эколого-экономический ущерб (выбросы продуктов горения и отработанных газов двигателей пожарных автомобилей в атмосферу; захламенение почв; загрязнение воды вследствие тушения пожара и др.). Поэтому оценивать ущерб от пожара необходимо в любом случае, в независимости от заинтересованности собственников и наличия или отсутствия очевидного материального ущерба.

Недостаточный уровень пожарной безопасности приводит к увеличению числа пожаров и роста ущерба от них. Ущерб от пожаров снижает макроэкономические показатели (падение промышленного производства, увеличение безработицы, сокращение доходов бюджета и т. д.), а значит, снижает уровень экономической безопасности урбанизированных территорий. Неправильная оценка ущерба от пожаров приводит к неполному восстановлению экономических систем и в значительной степени усиливает негативное влияние на экономическую безопасность. Снижение экономических показателей приводит к недостаточному финансированию мероприятий по предотвращению и тушению пожаров, что в

свою очередь приводит к ещё большему снижению уровня пожарной безопасности. Таким образом, создаётся своего рода замкнутый негативный цикл, представленный на рис. 1, который носит системный характер. Решить эту проблему возможно с помощью разработки комплекса государственных мер, направленных на повышение уровня пожарной и экономической безопасности. Одной из таких мер является закрепление на государственном уровне корректной стандартизированной

методики по оценке комплексного ущерба от пожаров, позволяющей адекватно оценивать косвенные виды ущерба, социально-экономический и эколого-экономический ущерб от пожаров. Неверная оценка ущерба от пожаров будет приводить к недостаточно полному устранению последствий пожаров, а значит, в ещё большей степени будет угрожать экономической безопасности городов и территорий нашего государства.

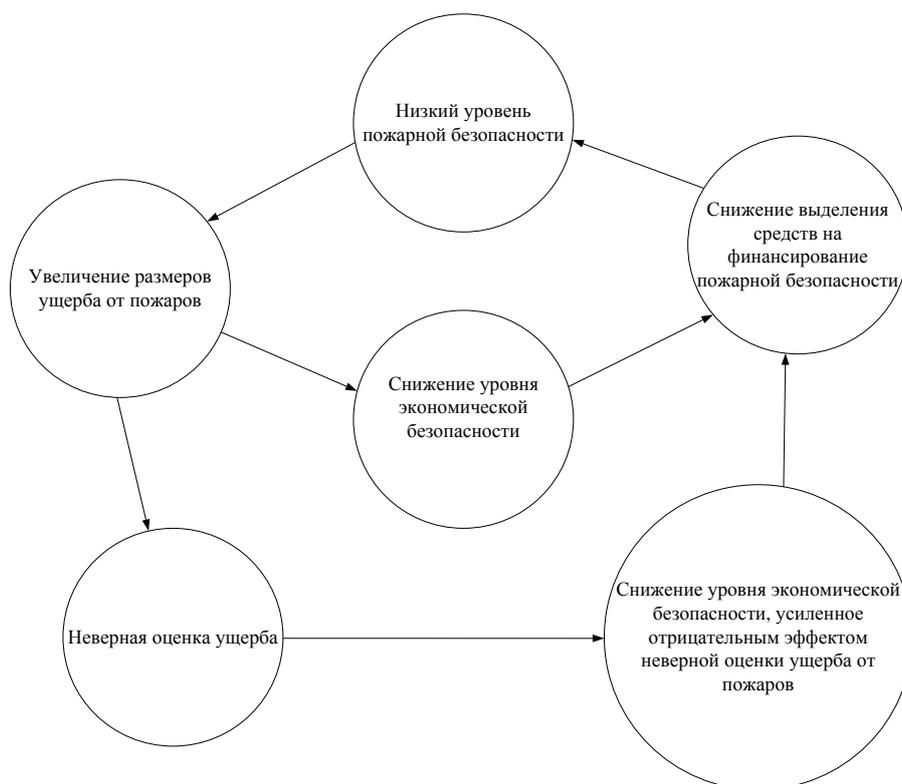


Рисунок 1. Ущерб от пожаров и его оценка в системе экономической безопасности

Возмещение ущерба и полное восстановление всех объектов, пострадавших от негативного воздействия пожаров, невозможно без проведения комплексной оценки ущерба от этих неблагоприятных событий. Необходимость проведения адекватной и комплексной оценки ущерба от пожаров является актуальной проблемой, требующей адекватного решения.

2. *Принцип возможности оценки ущерба от пожаров.*

Пожар является одним из самых разрушительных явлений, сопровождающих развитие человеческой цивилизации, поэтому возможность оценки ущерба от пожаров волновала учёных с давних времён. Способы и устройства тушения пожаров, а также противопожарной защиты, зачастую отставали от достижений научно-технического прогресса, поэтому крупные пожары приводили к катастрофическим последствиям. Экономический рост и бурное индустриальное развитие

нашей страны в XX веке привели к появлению на территории государства множества сложных технических объектов, пожары на которых сопровождались колоссальным экономическим ущербом. В сложившихся условиях важнейшей проблемой становилась возможность проведения оценки ущерба от пожаров, поэтому в 80–90-е годы прошлого столетия учёными в нашей стране были разработаны основные подходы к оценке ущерба от пожаров.

Несмотря на значительное количество исследований в области оценки ущерба от пожаров, описанных ранее, современная база знаний в этой области не позволила на данный момент создать комплексную методику стоимостной оценки всех видов ущерба от пожаров. На сегодняшний момент разработано множество методик оценки отдельных видов ущерба от загрязнения окружающей среды и чрезвычайных ситуаций, но при этом отсутствует единая методика определения ущерба от пожаров, которая учитывает вопросы определения косвенного экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба. Тем не менее, исследование [4] показало возможность проведения оценки ущерба от пожаров, поэтому необходимо решить проблему методического обеспечения комплексной оценки ущерба от пожаров. Также необходимо разработать и утвердить на федеральном уровне единую, универсальную и комплексную методику оценки ущерба от пожаров.

3. Принцип многообразия ущербов от пожаров.

До настоящего времени ущербы от пожаров рассматривались в основном только с экономической точки зрения (при оценке прямого экономического ущерба, что подтверждают изученные методики). Такая односторонняя оценка не даёт полной и комплексной картины ущерба от пожаров, когда мы можем оценить все аспекты ущерба, разработать и внедрить ме-

роприятия по ликвидации и минимизации ущерба.

Важно отметить, что оценка косвенного экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба от пожара является недостаточно изученной проблемой в отечественных и зарубежных научных исследованиях. Поэтому вопрос определения этих видов ущерба является трудно решаемым и требует разработки необходимого методического обеспечения.

К косвенному экономическому ущербу от пожаров можно отнести упущенную выгоду, недополученную вследствие простоя предприятия, оттока капиталовложений и потери деловой репутации. Зачастую косвенный экономический ущерб устанавливается с использованием неточных и произвольных оценок с некоторыми допущениями и высокой погрешностью. Именно поэтому такая оценка будет обладать высокой степенью неопределённости и недостаточной достоверностью. Доля косвенного экономического ущерба в общей структуре ущерба может в отдельных случаях превышать прямой экономический ущерб в два и более раз [2].

Без всякого сомнения, пожары являются одним из опаснейших явлений, приводящих к уничтожению и повреждению материальных ценностей, жилого фонда, объектов культурного и исторического наследия, городских и сельских инфраструктур. К тому же одной из особенностей пожаров является то, что эти нежелательные события становятся источником загрязнения окружающей среды, что приводит к значительному снижению её качества. Но наиболее серьёзной проблемой являются социальные последствия пожаров, приводящие к гибели и травмированию людей. Последствия пожаров усугубляются дополнительным косвенным социальным ущербом, который проявляется увеличением безнадзорности детей, снижением социального благополу-

чия граждан и увеличением социальной напряжённости.

Важнейшей характеристикой экономического и социального развития государства является социальное благополучие граждан, элементом которого является, в том числе, и пожарная безопасность. Пожары приводят к разрушению и деградации социальной сферы, подрывают состояние безопасности граждан и снижают уровень социального благополучия населения.

Важнейшей составляющей национальной безопасности нашей страны является экологическая безопасность государства. Пожары приводят к деградации окружающей среды, загрязнению атмосферы, почв, водных ресурсов, уничтожению животного и растительного мира и другим необратимым последствиям. Во время пожара в атмосферу выделяется большое количество дымовых газов, а процесс их тушения сопровождается выделением отработанных газов двигателей внутреннего сгорания пожарных автомобилей и огнегасящих веществ (пенообразователи и смачиватели).

Негативное влияние пожаров на окружающую среду не вызывает сомнений, однако, вопросы оценки экологических последствий от этих явлений, несмотря на ряд работ [9, 10, 11], являются недостаточно изученными. Под эколого-экономическим ущербом от пожара понимается ущерб в результате пожара и его тушения, причиняемый окружающей среде в целом или её отдельным компонентам, который выражается в натуральных единицах или стоимостной форме.

Эколого-экономический ущерб целесообразнее разграничивать по компонентам окружающей среды, которым причиняется ущерб от пожара. Ущерб от за-

грязнения атмосферы заключается в выбросах продуктов горения в окружающую среду, что приводит к негативному влиянию на здоровье людей, к уничтожению растений и животных, к снижению урожайности и качеству городской и сельской инфраструктуры. Загрязнение водной среды приводит к снижению потребительских свойств и биопродуктивности водных ресурсов, а также к дополнительным затратам на обеспечение граждан чистой водой. Пожары становятся причиной захламления земельных ресурсов, эрозии почвы, и в конечном счёте, приводят к снижению прибыли агропромышленного комплекса и затратам на восстановление земель всех видов целевого назначения. Серьёзной проблемой становятся пожары в зонах природных и озеленённых территорий, которые приводят к потере товарной ценности природных массивов и снижению их потенциальной ресурсной продуктивности. Нельзя забывать также и о социальной функции леса, его рекреационной, оздоровительной, воспитательно-образовательной и эстетической роли. Губительное воздействие пожаров на различные компоненты окружающей среды становится причиной косвенных экологических последствий: снижению медико-демографических показателей населения. Многообразие ущербов от пожаров создаёт необходимость комплексного оценивания всех видов ущерба с учётом их отличительных особенностей.

Ущерб от пожара можно классифицировать по сферам воздействия на экономический, социально-экономический и эколого-экономический, каждый из которых включает в себя как прямой, так и косвенный ущерб. Авторский вариант классификации ущерба от пожаров схематично представлен на рис. 2.

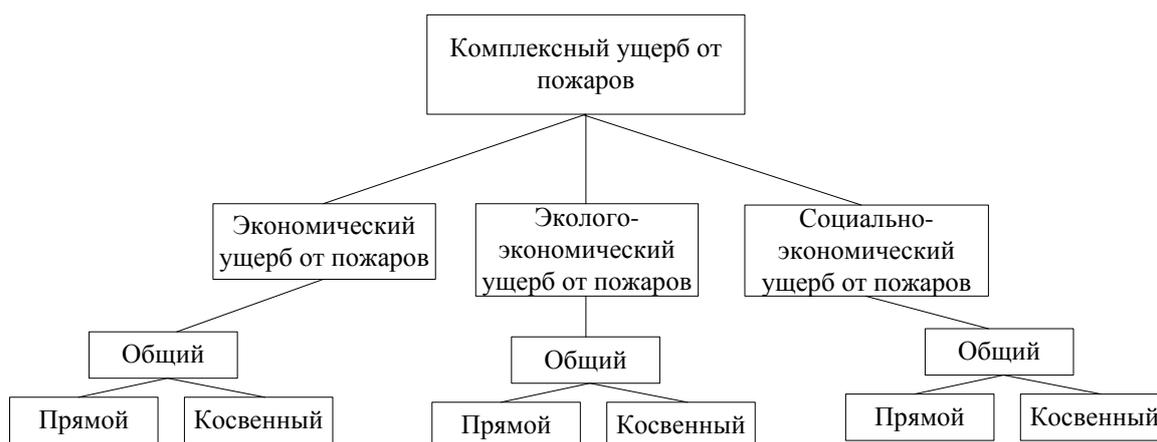


Рисунок 2. Классификация ущербов от пожаров (авторский вариант)

4. Принцип комплексности оценки ущерба от пожаров.

Оценка ущерба от негативных последствий должна иметь комплексный характер, поэтому последствия от пожара должны рассматриваться всесторонне с учётом социальных и экологических аспектов. Оценка ущерба от пожаров, вследствие многогранности возникающих видов ущерба, безусловно, требует комплексного изучения, а также полной и точной классификации всех видов ущерба (косвенный экономический, социально-экономический, эколого-экономический) для их достоверной оценки. Неправильная оценка последствий от пожаров становится причиной значительного занижения ущерба, что приводит к неполному восстановлению объектов и территорий после пожара.

Устранение последствий пожаров должно выполняться с учётом влияния всех негативных проявлений пожара на окружающую среду и социальную сферу общества. Нарушение функционирования социо-эколого-экономических систем вследствие пожара может проявляться в течение длительного периода времени (порой это десятки лет) и значительно снижать уровень экономической безопасности территорий. Комплексная методика должна оценивать все виды ущерба от пожаров с учётом отдалённых последствий.

Анализ исследований, посвящённых оценке ущерба от пожаров, позволил впервые сформировать классификацию ущерба от пожаров. Составленная классификация позволит определить чёткую структуру всех составляющих ущерба и станет базой для создания комплексной методики оценки ущерба от пожаров. Разработанная методика позволит учесть социальные и экологические аспекты, позволит оптимизировать затраты на поддержание пожарной безопасности территорий и найти зависимость между величиной затрат и коэффициентом сокращения ущерба от пожара, что в свою очередь повысит экономическую безопасность территорий.

Принцип комплексности становится основой для понимания всех остальных методических принципов комплексной оценки ущерба от пожаров. Взаимодействие основных методических принципов оценки комплексного ущерба от пожаров представлены на рис. 3.

Комплексная оценка ущерба от пожаров позволит адекватно оценить ущерб от пожара и полностью устранить последствия нанесенного ущерба, не игнорируя при этом социальный и экологические аспекты. Реальный комплексный ущерб от пожаров еще раз подтвердит губительное влияние пожаров на экономику регионов и государства в целом, повысит значимость пожарной охраны и привлечёт общественность к борьбе с пожарами.



Рисунок 3. Взаимодействие основных методических принципов оценки комплексного ущерба от пожаров

Связи на представленном рисунке можно описать следующим образом:

1) одним из первых вопросов, возникающих при исследовании процедуры оценки ущерба от пожаров, является изучение необходимости её проведения. Подтвердив важность оценки для полного устранения последствий пожара, а значит и её необходимость, далее требуется определить возможность проведения оценки;

2) при проведении оценки ущерба от пожаров необходимо использовать комплексный подход;

3) многочисленные исследования в области определения последствий от пожаров позволяют сделать вывод о возможности проведения комплексной оценки ущерба от пожаров;

4) на данный момент известно множество видов ущерба от пожаров (экономический, социально-экономический, эколого-экономический), которые составляют многообразие последствий от пожаров и каждый из них требует детального изучения;

5) принцип многообразия трансформируется в принцип комплексности оценки ущерба и находится с ним в постоянном взаимодействии;

6) многообразие ущерба приводит к необходимости чёткого разграничения видов ущерба, которое позволит исключить разночтения при оценке различных видов ущерба;

7, 8) подробное классифицирование видов ущерба не должно влиять на комплексность методики и полноту оценки всех показателей;

9) только комплексная методика оценки ущерба от пожаров, учитывающая все существующие виды ущерба, может претендовать на высокий уровень достоверности;

10) предлагаемая методика должна быть достоверной и ориентированной на практическое использование. Достоверная методика оценки ущерба от пожаров должна стать эффективным инструментом любого специалиста по оценке ущерба от пожаров;

11) комплексность методики должна положительно отражаться на практической применимости методики ущерба;

12) методика должна применяться в практической деятельности при оценке ущерба на любом объекте и любой городской территории;

13) комплексная методика должна обладать свойствами адаптивности и уни-

версальности, что позволит применять такую методику при оценке ущерба от пожаров в любом крупном городе нашей страны.

5. Принцип целесообразности разграничения видов ущерба от пожаров.

Многообразие видов ущерба от пожара значительно осложняет оценку последствий этих опасных социальных явлений. Адекватная оценка ущерба от пожаров невозможна без чёткого понимания видовой принадлежности того или иного компонента ущерба. Установление строгих границ каждого вида, без сомнения, облегчит проведение оценки ущерба от пожаров и повысит её точность. Решение этой непростой задачи позволит избежать разночтений при идентификации различных видов ущерба, а также предотвратить их возможные пересечения. Известны случаи, когда один и тот же подвид ущерба (например, потери от гибели людей на пожаре) одновременно принимается в расчёт в двух разных видах ущерба (экономический и социально-экономический), а потом дважды учитывается при определении комплексного ущерба от пожаров. Разграничение видов ущерба позволит исключить случаи упущения некоторых составляющих (подвидов, компонентов) ущерба. Решение этих взаимосвязанных задач, несомненно, повысит точность проведения оценки комплексного ущерба от пожаров.

Также важнейшим обстоятельством, указывающим на важность проведения разграничения ущербов от пожара, является тот факт, что определение разных составляющих ущерба осуществляется при помощи различных подходов и технологий оценки. При исследовании прямого экономического ущерба, как правило, используются расчётные методы (сравнительный, затратный и доходный подходы). Аналитические и статистические подходы оправданы при оценке косвенного экономического, прямого и косвенного эколого-экономического ущерба. При определении социально-

экономического ущерба возможно применение социологических опросов и экспертных методов оценки.

В ходе исследования выявлено достаточное количество методик по оценке ущерба от загрязнения окружающей среды и чрезвычайных ситуаций (в данной работе представлены некоторые из них) [5, 7, 8]. Значительно меньшее количество исследований посвящено оценке ущерба от пожаров [12, 13, 14]. Теоретические основы оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций и пожаров весьма схожи, хотя и имеют ряд отличительных особенностей. Анализ исследований в области оценки ущерба от пожаров и чрезвычайных ситуаций показал, что на данный момент разработаны подходы для разграничения видов ущерба от пожара, однако большинство предложенных классификаций ущербов не могут претендовать на комплексность.

Недостатки подходов к разграничению ущербов от пожара будут приводить к снижению точности и адекватности методики по оценке комплексного ущерба от пожаров. Ущерб будет завышен в случаях, когда некоторые составляющие будут учитываться несколько раз в различных видах ущерба. В то же время, отсутствие некоторых видов или компонентов ущерба будет приводить к значительному занижению ущерба от пожаров.

6. Принцип достоверности результатов оценки ущерба от пожаров

Одной из ключевых характеристик методики оценки ущерба от пожаров является её достоверность. Методика должна быть апробирована экспериментом или практической деятельностью, т. е. необходимо доказать, что разработанная методика является адекватной и соответствует действительности. Дополнительной проверкой достоверности является возможность повторения эксперимента в схожих условиях с получением одинакового результата. Отсутствие экспериментального подтверждения

методики значительно снижает её ценность и ставит под вопрос возможность дальнейшего практического применения методики. Разработанная методика должна быть простой и прозрачной для проверки результатов другими исследователями. Конечно, ни одна из методик не позволяет получить абсолютно точного результата, поэтому при верификации необходимо учесть погрешности методики и различные внешние факторы, оказывающие влияние на конечный результат.

Низкий уровень достоверности методики оценки ущерба от пожаров будет приводить к неправильной оценке ущерба от пожаров. Значительное занижение реальных экономических, социальных и экологических потерь в результате пожара станет причиной неполного восстановления пострадавших от пожара территорий. Недооценка ущерба от пожара будет приводить к снижению уровня экономической безопасности территорий и негативно отражаться на уровне пожарной безопасности государства. Противоположным результатом оценки будут являться случаи завышения реального ущерба от пожара, которые в итоге будут приводить к снижению эффективности освоения материальных средств, расходуемых на восстановление территорий после пожаров.

Анализ методик оценки ущерба от пожаров позволил выявить определённые особенности и некоторые неточности рассматриваемых методик. В качестве примера можно привести несовпадение итоговых результатов расчёта при определении ущерба на одном и том же объекте с использованием различных методик (результаты отличаются друг от друга в десятки, а иногда и в сотни раз). Большинство проанализированных методик разработаны различными министерствами и ведомствами, которые учитывают свои узкоспециализированные особенности. Многообразие методик,

предназначенных для расчёта различных видов ущерба, становится причиной разночтений при выборе требуемой методики в практической деятельности как с точки зрения целесообразности, так и законности правого использования. Отсутствие учета всех составляющих и видов ущерба в большинстве действующих методик ставит вопрос о достоверности получаемых результатов при их использовании.

Одной из важнейших задач исследования в области оценки ущерба от пожаров является получение достоверных результатов оценки. Довольно затруднительно оценить, насколько адекватным и достоверным получается результат оценки, не имея возможности апробировать разработанную методику на реальном объекте или территории, которые пострадали в результате пожара. Проверимость методики позволяет исследователям удостовериться в правдивости полученных результатов в таком сложном экономическом явлении, как оценка ущерба от пожаров. Проверимость заключается в том, что разные осведомленные и независимые специалисты в области оценки ущерба от пожаров могут применить разработанную методику. При использовании разработанной методики для оценки ущерба от схожих пожаров на близких по характеристикам объектах специалисты должны прийти к одинаковым результатам с незначительными расхождениями. В таком случае многократное применение методики разными оценщиками будет приводить к повторяемости и отсутствию противоречивости итоговых показателей оценки.

7. Принцип практической реализуемости методики комплексной оценки ущерба от пожаров.

Важнейшей характеристикой адекватной методики по оценке ущерба от пожара является её ориентирование на практическое использование. Целью этого исследования является разработка

методики, которая позволит специалистам в области оценки ущерба овладеть эффективным инструментом определения последствий любого пожара. Каждый специалист, занимающийся оценкой ущерба от пожара, получит возможность использовать простую, интуитивно понятную методику. Такая методика не будет требовать специального дополнительного обучения и для её освоения специалист-оценщик не будет вынужден тратить значительное время.

В процессе исследования автором проведён ряд интервью со специалистами в области оценки ущерба от пожаров: сотрудниками пожарной охраны (3 человека), работниками страховых компаний (1 человек), независимыми оценщиками (2 человека). В ходе работы были опрошены не только действующие сотрудники пожарной охраны, но и специалисты, которые работали в 80-е годы в СССР. Для проведения интервью был создан план, который включал вопросы, представляющие интерес для цели исследования. Среди вопросов, которые обсуждались можно выделить следующее: методы и методики оценки ущерба от пожаров, применяющиеся в практической деятельности [5, 6]; применение при оценке ущерба от пожаров стандартизированной Методики ГОСТ [6]; методы оценивания косвенного экономического ущерба, эколого-экономического ущерба и социально-экономического ущерба; порядок проведения оценки ущерба от пожаров; роль сотрудников пожарной охраны, независимых оценщиков и специалистов страховых компаний при проведении оценки ущерба от пожаров и другие вопросы.

Детальный анализ экспертных интервью показал, что действующая стандартизированная Методика ГОСТ [6] не используется в практической деятельности пожарными и независимыми оценщиками, так как не позволяет в полной мере оценить экономический, социально-

экономический и эколого-экономический ущерб от пожаров, а также является громоздкой и трудна в применении. При оценивании экономического и социально-экономического ущерба от пожаров у практических работников возникают значительные трудности при определении некоторых коэффициентов и показателей, в том числе, и по причине отсутствия расчётов на конкретных примерах. Методики, ориентированные на определение последствий от чрезвычайных ситуаций, по оценкам экспертов, также не подходят для определения всего спектра ущербов от пожара по причине отсутствия комплексности оценивания всех видов ущерба.

Решением проблемы несовершенства действующих методик по оценке ущерба от пожаров могло бы стать объединение нескольких наиболее адекватных действующих методик в единый набор документов, позволяющий оценивать все виды ущерба в комплексе. Однако оценка ущерба от пожаров, построенная на использовании совокупности наиболее подходящих методик, будет обладать громоздкой структурой, которая негативно отразится на перспективах её дальнейшего применения. Одним из вероятных решений в сложившейся ситуации является создание комплексной методики оценки ущерба от пожара, основанной на качественных методах экспертной оценки, которая будет отличаться простотой практического применения.

Проведение экспертных интервью выявило запрос практических работников пожарной охраны на создание и внедрение востребованной методики, позволяющей достаточно быстро и точно определить реальный ущерб от пожаров. Эксперты-оценщики и страховые работники также проявили готовность к освоению и применению комплексной методики ущерба от пожаров. Немаловажным фактом является возможность использования подобной методики в предпринимательской деятельности, которая неизбежно связана с рисками различного характера, поэтому каж-

дый предприниматель должен иметь удобный методический инструмент для оценивания возможного ущерба от пожара и управлять рисками, которые воздействуют на бизнес [15].

Разработанная методика, несомненно, должна быть апробирована на конкретных примерах с использованием данных по реальным пожарам, произошедших в последние годы. Непременным условием, влияющим на достоверность проводимого эксперимента, является тщательный подбор объектов и территорий, на которых произошёл пожар. Для проведения апробации методики необходимо выбрать несколько различных по своему функциональному назначению (например, промышленный объект, административное здание, торговое предприятие) и масштабу объектов для того, чтобы убедиться в том, что такая методика является универсальной и обладает свойствами адаптивности.

Важным шагом практической реализации исследования будет являться разработка рекомендаций по использованию методики оценки ущерба от пожаров. Выполнение этой задачи ускорит процесс внедрения методики в практическую деятельность независимых оценщиков, экспертов страховых компаний, предпринимателей, а также в практику работы Государственной противопожарной службы МЧС России.

Помимо вышеперечисленных принципов методика оценки ущерба от пожаров должна отвечать принципу практической значимости и реализуемости. Точность и комплексность разрабатываемой методики не должна негативно отражаться на возможности реального её применения в практической деятельности. Методика должна быть простой и понятной для значительного большинства работников пожарной охраны и других субъектов оценочной деятельности, которые могут быть как государственными служащими, так и различными бизнес-субъектами.

8. Принцип адаптивности методики оценки ущерба от пожаров.

Одним из важнейших свойств разрабатываемой методики должна быть возможность применения её к различным объектам. Подобная методика позволит оценивать ущерб от пожара на любых объектах вне зависимости от их значимости для экономики, размера и функционального назначения (производственный объект, административный объект, торговое предприятие, склад и т. д.). Методика должна быть адаптирована для всех городских территорий любого крупного города (зона жилой застройки, зона производственных объектов, общественно-деловая зона и т. д.) и оценивать ущерб от пожара, несмотря на его масштабы (площадь пожара, количество травмированных и погибших, комплексный ущерб). Методика, обладающая свойствами адаптивности и универсальности, найдёт широкое применение в практической деятельности и удовлетворит потребность всех специалистов, занимающихся оценкой ущерба от пожаров.

Проведённое ранее исследование показало, что действующие методики по оценке ущерба от чрезвычайных ситуаций и загрязнения окружающей среды не удастся адаптировать к оценке ущерба от пожаров в силу их узковедомственной специализации. Методики Министерства природных ресурсов и экологии РФ были обновлены в 2014–2015 гг. внесением корректирующих такс для исчисления размера ущерба. При этом методики оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций, претендующие на комплексность оценки, устарели более чем на 10 лет и не актуализировались до сих пор [7, 8]. Любые методики необходимо периодически актуализировать вследствие изменения стоимости денег во времени. Помимо этого методика должна обладать потенциалом адаптации для любого региона, учитывая различные погодно-климатические условия, социальную обстановку и региональную специфику.

Воздействие пожаров на экономику приводит к нарушениям взаимосвязей в экономических, эколого-экономических и социально-экономических системах. Пожары наносят ущерб гражданам и окружающей среде, а также представляют значительную угрозу обществу и государству в целом. Возмещение ущерба и полное восстановление всех объектов, пострадавших от негативного воздействия пожаров, невозможно без проведения комплексной оценки ущерба от этих неблагоприятных событий. Необходимость проведения адекватной и комплексной оценки ущерба от пожаров является актуальной проблемой современной науки и не вызывает сомнения.

Проведённое исследование показало возможность проведения оценки ущерба от пожаров. На сегодняшний момент разработано множество методик оценки отдельных видов ущерба, но при этом отсутствует единая методика определения ущерба от пожаров, которая учитывает вопросы определения косвенного экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба.

Последствия пожаров негативно влияют на экономические показатели, социальное благосостояние и ставят под угрозу экологическую безопасность государства. Всё многообразие составляющих ущерба можно классифицировать по сферам воздействия на экономический, социально-экономический и эколого-экономический, каждый из которых в свою очередь подразделяется на прямой и косвенный виды ущерба.

Проведя комплексный анализ ущербов от пожаров и представив их классификацию, можно сформировать представление о таком сложном и многогранном понятии, как ущерб от пожаров. Представленная классификация носит комплексный характер и учитывает вопросы оценки косвенного экономического, социально-экономического и эколого-экономического ущерба.

При исследовании такой сложной проблемы, как оценка ущерба от пожаров, необходимо уделять внимание всем составляющим ущерба, включая социальные и экологические аспекты. Разграничение ущерба на виды позволит гарантировать проведение адекватной оценки ущерба от пожаров. Ранжировать ущерб необходимо не только по сфере воздействия (экономический, эколого-экономический, социально-экономический), но и по характеру негативного проявления (прямой и косвенный).

Точная и достоверная оценка ущерба от пожаров позволит минимизировать затраты на восстановление пострадавших от пожара объектов и эффективно ликвидировать возможные негативные последствия от этих процессов. Занижение или завышение ущерба от пожаров будет приводить либо к недостаточному выделению средств на ликвидацию последствий пожара, либо, напротив, к их нецелевому и неэффективному расходованию. К тому же проведение адекватной оценки ущерба от пожаров позволит более эффективно оценить необходимый уровень вложений для поддержания пожарной безопасности городских и сельских территорий, что, несомненно, повысит их уровень экономической безопасности.

Поддержание высокого уровня пожарной безопасности является важнейшей составляющей экономической безопасности, так как пожары наносят ущерб здоровью граждан, окружающей среде, экономическому состоянию, пожары разрушают инфраструктуру городов и территорий, что приводит к падению экономических показателей, ухудшению благосостояния людей и качества окружающей среды. Неправильная оценка ущерба от пожаров будет приводить к недостаточно полному устранению последствий этих явлений, что, в конечном счете, будет приводить к дополнительному снижению уровня экономической безопасности урбанизированных территорий. Включение чрезвычайных ситуаций и пожаров в классификацию

угроз экономической безопасности, разработка и внедрение критериев, а также их пороговых значений в систему идентификаторов экономической безопасности, несомненно, повысит уровень экономической безопасности государства в целом.

Учитывая все вышперечисленное, необходимо создать методику, которая

отличалась бы актуальностью, комплексностью, возможностью адаптации (принцип адаптивности), достоверностью, точностью, реализуемой на практике, и которая была бы основана на вышеперечисленных принципах.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: стат. сб. / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.
2. Микеев А. К. Пожар: социальные, экономические, экологические проблемы. М., 1994. 385 с.
3. Экономическая теория. Часть 2 «Экономика защиты от ЧС» / сост. Н. Н. Архипец. Минск, 2005. 134 с.
4. Опарин И. Д., Яшин А. А., Филиппов А. В. Роль комплексной оценки ущерба от пожаров при определении конкурентоспособности территории // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2018. № 3. С. 58–62.
5. Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций. М., 2004.
6. ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
7. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах РД 03-496-02 // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Вып. 19. М., 2002. С. 51–76.
8. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. М., 2005.
9. Пахомова И. А. Классификация ущерба от пожаров в системе оценки потерь национальной экономики // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2015. № 5 (92).
10. Исаева Л. К. Экологические аспекты пожаров в России // Пожарная безопасность. 2013. № 3. С. 81–92.
11. Исаева Л. К., Сулименко Л. К., Власов А. Г. Опасность загрязнения окружающей среды г. Калининграда при пожарах в жилом секторе // Экологическая безопасность регионов России и риск техногенных аварий и катастроф: сб. материалов Всероссийского постоянно действующего науч.-техн. семинара. Пермь, 2002. С. 52–54.
12. Методологические проблемы обеспечения пожарной безопасности: сб. науч. тр. / ВНИИ противопожар. обороны; под ред. А. С. Туркова. М., 1991. 240 с.
13. Определение экономических потерь от пожаров: метод. рекомендации / ВНИИ противопожар. обороны; под ред. А. А. Герасимова. М., 1990. 38 с.
14. Брушлинский Н. Н., Калинин Н. Л., Лупанов С. А. Экономико-статистические аспекты обеспечения пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 1997. № 2. С. 25–30.
15. Опарин И. Д., Яшин А. А., Филиппов А. В. Обучение предпринимательству и формирование компетенций, связанных с оценкой ущерба и управлением рисками // Современная конкуренция. 2018. Т. 12. № 4(70)–5(71). С. 29–39.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2018 godu: statisticheskij sbornik // pod obshchej redakciej D. M. Gordienko. M., 2019. 125 s.
2. Mikeev A. K. Pozhar: socialnye, ekonomicheskie, ekologicheskie problemy. M., 1994. 385 s.
3. Ekonomicheskaya teoriya. CHast 2 «Ekonomika zashchity ot CHS» / sost. N. N. Arhipec. Mninsk, 2005. 134 s.
4. Oparin I. D., YAshin A. A., Filippov A. V. Rol kompleksnoj ocenki ushcherba ot pozharov pri opredelenii konkurentosposobnosti territorii // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo. 2018. № 3. S. 58–62.
5. Edinaya mezhvedomstvennaya metodika ocenki ushcherba ot chrezvychajnyh situacij tekhnogennogo, prirodnoho i terroristicheskogo haraktera, a takzhe klassifikacii i ucheta chrezvychajnyh situacij. M., 2004.
6. GOST 12.1.004–91 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Pozharnaya bezopasnost. Obshchie trebovaniya.

7. Metodicheskie rekomendacii po ocenke ushcherba ot avarij na opasnyh proizvodstvennyh obektah RD 03-496-02 // Normativnye dokumenty mezhotraslevogo primeneniya po voprosam promyshlennoj bezopasnosti i ohrany nedr. Vyp. 19. M., 2002. S. 51–76.

8. Metodika ocenki veroyatnostnogo ushcherba ot vrednogo vozdejstviya vod i ocenki effektivnosti osushchestvleniya preventivnyh vodohozhaystvennyh meropriyatij. M., 2005.

9. Pahomova I. A. Klassifikaciya ushcherba ot pozharov v sisteme ocenki poter nacionalnoj ekonomiki // Izvestiya Gomelskogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny. 2015. № 5 (92).

10. Isaeva L. K. Ekologicheskie aspekty pozharov v Rossii // Pozharnaya bezopasnost. 2013. № 3. S. 81–92.

11. Isaeva L. K., Sulimenko L. K., Vlasov A. G. Opasnost zagryazneniya okruzhayushchej sredy g. Kaliningrada pri pozharah v zhilom sektore // Ekologicheskaya bezopasnost regionov Rossii i risk tekhnogennyh avarij i katastrof: sb. materialov Vserossijskogo postoyanno dejstvuyushchego nauch.-tekhn. seminar. Perm, 2002. S. 52–54.

12. Metodologicheskie problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti: sb. nauch. tr. // VNII protivopozhar. oborony; pod red. A. S. Turkova. M., 1991. 240 s.

13. Opredelenie ekonomicheskikh poter ot pozharov: metod. rekomendacii / VNII protivopozhar. oborony; pod red. A. A. Gerasimova. M., 1990. 38 s.

14. Brushlinskij N. N., Kalinenko N. L., Lupanov S. A. Ekonomiko-statisticheskie aspekty obespecheniya pozharnoj bezopasnosti // Pozharovzryvobezopasnost. № 1. 1997. № 2. S. 25–30.

15. Oparin I. D., Yashin A. A., Filippov A. V. Obuchenie predprinimatelstvu i formirovanie kompetencij, svyazannyh s ocenкой ushcherba i upravleniem riskami // Sovremennaya konkurenciya. 2018. T. 12. № 4(70)–5(71). S. 29–39.

УДК 614.847.7, 331.452

fireman87@bk.ru

**О ПЕРСПЕКТИВАХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО:
АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И СООТВЕТСТВИЯ СОВРЕМЕННЫМ
НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ В ОБЛАСТИ СРЕДСТВ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

**ABOUT PROSPECTS FOR IMPROVEMENT OF FIRING COMBAT CLOTHING:
ANALYSIS OF CONSTRUCTION AND COMPLIANCE WITH MODERN
REGULATORY REQUIREMENTS IN THE FIELD
OF INDIVIDUAL PROTECTION MEANS**

*Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Стахеев М. В., Дульцев С. Н.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Tuzhikov E. N., Stakheev M. V., Dultsev S. N.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье рассматривается проблема и необходимость модернизации боевой одежды пожарного в свете современных международных и отечественных нормативных требований в области средств индивидуальной защиты человека. Проведен анализ современной конструкции боевой одежды пожарного. Представлено авторское конструктивное решение по модернизации боевой одежды пожарного.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, страховочное устройство, страховочные привязи, строп, амортизатор падения.

The article discusses the problem and the need to modernize fire fighting clothing in the light of modern international and domestic regulatory requirements in the field of personal protective equipment. The analysis of the modern design of fire fighting clothing. The author presents a constructive solution for the modernization of fire fighting clothing.

Keywords: firefighter's combat clothing, safety device, safety harness, sling, fall shock absorber.

На сегодняшний день в Российской Федерации уделяется большое внимание выполнению государственных требований по охране труда. Благодаря этому на 2019 год сохраняется устойчивая тенденция к снижению уровня производственного травматизма. По данным Минтруда РФ, за 11 месяцев 2019 года произошло 4 078 несчастных случаев с тяжелыми последствиями, что на 9 % ниже, чем за аналогичный период 2018 года. Смертность при этом составила 1 018 человек, что на 12 % меньше, чем за аналогичный период 2018

года. Анализируя уровень смертности работников по отраслям экономической деятельности, Минтруда традиционно указывает следующие отрасли с высокой смертностью: строительство, обрабатывающие производства, сфера транспорта, сельское хозяйство и предприятия по добыче полезных ископаемых [1].

По данным анализа состояния охраны труда в системе МЧС России за 2019 г. [2] произошло 247 несчастных случаев (2018 г. – 262), что на 5,7 % меньше, чем за 2018 год. Однако количество несчаст-

ных случаев, произошедших непосредственно на пожаре – 55 (2018 г. – 46), что на 2 % больше, чем за 2018 год. Вместе с тем количество несчастных случаев, связанных с падением с высоты, обрушением, обвалами достигло 35, что составляет 63,64 % от общего числа несчастных случаев, произошедших на пожаре (2018 г. – 24 случаев – 52,17 %).

Рассматривая охрану труда как систему сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающую организационно-технические мероприятия, а безопасные условия труда как условия, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленных нормативов [3], можно сделать вывод, что одним из лидирующих средств защиты личного состава пожарно-спасательных формирований МЧС России, непосредственно участвующих в тушении пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, являются средства индивидуальной защиты. Современность требований безопасности к средствам индивидуальной защиты и своевременность их реализации в конкретных заводских серийных изделиях – залог снижения травматизма и смертности потребителей.

Под средствами индивидуальной защиты пожарного-спасателя мы понимаем носимое на человеке средство индивидуального пользования для предотвращения или уменьшения воздействия на человека вредных и (или) опасных факторов, а также для защиты от загрязнения [4]. К средствам индивидуальной защиты в МЧС России относятся: средства защиты органов дыхания (респираторы, фильтрующие противогазы, изолирующие дыхательные аппараты и др.), средства защиты глаз (защитные очки от светового излучения ядерного взрыва) изащиты кожного покрова (защитные костюмы, защитные комплекты, резиновые сапоги и др.) [5].

В нашем исследовании боевая одежда пожарного (БОП) рассматривается как средство индивидуальной защиты, состоящее из комплекта многослойной специальной защитной одежды общего назначения, включающего куртку и брюки (полукомбинезона) и предназначенного для защиты пожарного от опасных и вредных факторов окружающей среды, возникающих при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, а также от неблагоприятных климатических воздействий [6].

Согласно технической документации боевая одежда пожарного подразделяется на несколько типов по эксплуатации в различных климатических условиях и применяемого материала для изготовления верхней части, также существует модельный ряд для начальствующего и рядового состава. Отличительными особенностями БОП для начальствующего состава являются удлиненная куртка, цветное решение куртки и брюк, расположение сигнальных элементов.

Комплектность БОП состоит из куртки и брюк (полукомбинезона) с теплоизоляционными подкладками, в которой может быть предусмотрен капюшон, обеспечивающий возможность его использования с пожарной каской (шлемом). Материал БОП должен состоять из материала верха, водонепроницаемого слоя и теплоизоляционной подкладки, при этом допускается совмещать водонепроницаемый слой с теплоизоляционной подкладкой или материал верха с водонепроницаемым слоем (материал с полимерным пленочным покрытием). Устойчивость БОП к воздействию теплового потока в количестве 5 кВт/м^2 не менее 240 с, а устойчивость к однократному воздействию открытого пламени не менее 5 с.

Особое внимание стоит обратить на конструктивные требования. Куртка должна перекрывать брюки БОП по высоте не менее чем на 30 см. БОП должна иметь воротник-стойку высотой не менее 100 мм и накладку из ткани, не оказы-

вающей вредного и раздражающего действия на кожу человека. На куртке БОП должен быть предусмотрен карман для радиостанции. Все наружные накладные карманы должны иметь застегивающиеся клапаны и отверстия для стока воды. Куртка БОП должна быть с центральной бортовой застежкой с водозащитным клапаном, а рукава куртки должны иметь напульсники. Фурнитура верха БОП не должна соприкасаться с внутренней поверхностью теплоизоляционной подкладки. Конструкция БОП, используемые материалы и фурнитура должны препятствовать проникновению в подкостюмное пространство воды, в том числе с добавлением поверхностно-активных веществ [6].

Приказ № 155н от 28.03.2014 «Об утверждении правил по охране труда при работе на высоте» устанавливает государственные нормативные требования по охране труда при организации и проведении работ на высоте.

Тушение пожаров и ликвидация последствий стихийных бедствий проводятся с привлечением личного состава пожарно-спасательных формирований МЧС России и часто связаны с выполнением специальных работ на высоте. С точки зрения законодательства, эти работы классифицируются как работы без применения средств подмащивания, выполняемые на высоте 5 м и более, а также работы, выполняемые на расстоянии менее 2 м от не огражденных перепадов по высоте более 5 м на площадках при отсутствии защитных ограждений либо при высоте защитных ограждений, составляющей менее 1,1 м. Соответственно, для безопасности выполнения работ предусмотрены различные системы: система удерживания или позиционирования, страховочная система и система для спасения и эвакуации [7]. При этом стоит отметить, что каждая из систем обеспечения безопасности работ на высоте в свою очередь состоит из анкерного устройства, привязи и соединительно-

амортизирующей подсистемы. На сегодняшний день существуют нормативные документы, определяющие необходимые параметры и условия функционирования каждого элемента системы обеспечения безопасности работ на высоте.

С 2008 года Россия начала интегрировать международный опыт и стандарты безопасных методов работ на высоте путем адаптации и введения европейских норм и требований к работе на высоте. В связи с этим за период с 2008 года по 2018 год были адаптированы следующие документы [8–15].

Система обеспечения безопасности работ на высоте, принятая в МЧС России, состоит из БОП, на которую сверху одет пояс пожарного, карабина и надежно закрепленной конструкции (ручная пожарная лестница и т. п.) [16]. Такая система организации безопасности работ на высоте не соответствует современным законодательным нормам, несмотря на то, что БОП, пояс пожарного и карабин являются сертифицированными изделиями. Основная опасность такой системы заключается в высокой вероятности наступления критического повреждения здоровья работника вследствие отсутствия механизмов, способствующих безопасной остановке падения или уменьшения тяжести последствий остановки падения.

Анализируя конструктивные особенности БОП зарубежных фирм-производителей, таких как Fireliner, Bristol и др., необходимо отметить ряд фактов, отличных от отечественных аналогов, современность и своевременность которых не вызывает сомнения:

- использование передовых технологий и тканей для изготовления БОП;
- эргономичность;
- использование многофункционального ремня для пожарных и спасателей, интегрированного в куртку;
- использование спасательной петли для аварийной эвакуации пожарного в случае аварийной разведки и спасения пожарного.

Многофункциональный ремень соответствует европейским требованиям, предъявляемым к подстраховочным ремням и к нормам для спасательных петель, может использоваться в сочетании с БОП. В дополнение ремень может также использоваться для транспортировки людей в чрезвычайной ситуации, неспособных передвигаться, и как эффективная страховка от падения с высоты и подстраховка силой корпуса тела и бедра [17].

Для выполнения действующих требований законодательства РФ в области обеспечения безопасности работ на высоте и соответствия современным направлениям развития систем защиты специалистов, действующих в экстремальных условиях, необходимо кардинально пересмотреть конструкционную составляющую боевой одежды пожарного и нормативные документы по ее изготовлению, приближая к общемировым стандартам. Отказаться от отделенного пояса пожарного с карабином как функционально устаревшей системы обеспечения безопасности работ на высоте.

В рамках развития этого направления нами предлагается внедрение в эксплуатацию разработанной боевой одежды пожарного модернизированной (БОП-М), представленной на рисунке. Отличительные особенности БОП-М:

1) в конструкцию интегрированы страховочные привязи и страховочное устройство, позволяющие проводить работы пожарных-спасателей на высоте без дополнительных устройств;

2) страховочное устройство для спасения и самоспасания включает:

– страховочное кольцо – конструктивный элемент, предназначенный для закрепления за него стропа с амортизатором падения;

– строп с амортизатором падения – конструктивный элемент страховочной системы, связывающий человека при помощи карабина с местом закрепления и снижающий динамическую нагрузку, возникающую в момент случайного падения пожарного-спасателя.

Финансовые затраты на реализацию идеи составят порядка 40 000 руб., что несопоставимо с убытками, связанными с гибелью или травмированием сотрудника МЧС России [18].

Преимуществами применения БОП-М при проведении аварийно-спасательных работ на высоте, в том числе в случае возникновения нештатных ситуаций для спасения и самоспасания являются:

– простота в применении;

– увеличение свободы действий пожарного-спасателя при проведении работ на высоте;

– снижение динамической нагрузки на весь организм, в частности на поясничный отдел позвоночника, при падении или срыве с высоты;

– простота и доступность изготовления;



Рисунок. Конструктивная схема БОП-М

Таким образом, в результате внедрения в эксплуатацию БОП-М снизится риск получения тяжелых телесных повреждений, а также гибели пожарного-спасателя при проведении аварийно-спасательных работ на высоте, в том числе при возникновении нештатных ситуаций.

Литература

1. Итоги года: сфера охраны труда. URL: <https://rosmintrud.ru/labour/safety/321>.
2. Анализ состояния охраны труда в системе МЧС России за 2019 год: Письмо МЧС России от 19.03.2020 № 91-65-22 // Письмо опубликовано не было.
3. ТК РФ Статья 209. Основные понятия. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0.
4. Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 878 (ред. от 03.03.2020) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» (вместе с «ТР ТС 019/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности средств индивидуальной защиты») // Официальный сайт Комиссии Таможенного союза. URL: <http://www.tsouz.ru/>.
5. Термины МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/3012>.
6. ГОСТ Р 53264–2009 Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.
7. Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте: Приказ Минтруда России от 28.03.2014 № 155н // Российская газета. 05.11.2014. № 251.
8. ГОСТ EN 397–2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Каски защитные. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2013.
9. ГОСТ Р EN 354–2010. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Стропы. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2011.
10. ГОСТ Р EN 355–2008. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Амортизаторы. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.

11. ГОСТ Р ЕН 358–2008. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Привязи и стропы для удержания и позиционирования. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.

12. ГОСТ Р ЕН 360–2008. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Средства защиты втягивающего типа. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.

13. ГОСТ Р ЕН 361–2008. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Страховочные привязи. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.

14. ГОСТ Р ЕН 362–2008. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Соединительные элементы. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009.

15. ГОСТ Р ЕН 365–2010. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Основные требования к инструкции по применению, техническому обслуживанию, периодической проверке, ремонту, маркировке и упаковке. М., 2011.

16. Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: Приказ Минтруда России от 23.12.2014 № 1100н // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru>.

17. Боевая одежда FIRELINER. URL: <http://arsenal-ptv.ru/catalog/fireliner>.

18. О социальных гарантиях сотрудникам некоторых федеральных органов исполнительной власти и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2012 № 283-ФЗ // Российская газета. 11.01.2013. № 3.

References

1. Itogi goda: sfera ohrany truda. URL: <https://rosmintrud.ru/labour/safety/321>.
2. Analiz sostoyaniya ohrany truda v sisteme MChS Rossii za 2019 god: Pis'mo MChS Rossii ot 19.03.2020 № 91-65-22 // Pis'mo opublikovano ne bylo.
3. TK RF Stat'ya 209. Osnovnye ponyatiya. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0.
4. Reshenie Komissii Tamozhennogo soyuza ot 09.12.2011 № 878 (red. ot 03.03.2020) «O prinyatii tekhnicheskogo reglamenta Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti sredstv individual'noj zashchity» (vmeste s «TR TS 019/2011. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza. O bezopasnosti sredstv individual'noj zashchity») // Oficial'nyj sayt Komissii Tamozhennogo soyuza <http://www.tsouz.ru/>.
5. Terminy MChS Rossii. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/3012>.
6. ГОСТ R 53264–2009 Tekhnika pozhar'naya. Special'naya zashchit'naya odezhda pozhar'nogo. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
7. Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda pri rabote na vysote: Prikaz Mintruda Rossii ot 28.03.2014 № 155n // Rossijskaya gazeta. 05.11.2014. № 251.
8. ГОСТ EN 397–2012. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Kaski zashchitnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2013.
9. ГОСТ Р ЕН 354–2010. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Stropy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2011.
10. ГОСТ Р ЕН 355–2008. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Amortizatory. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
11. ГОСТ Р ЕН 358–2008. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Privyazi i stropy dlya uderzhaniya i pozicionirovaniya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
12. ГОСТ Р ЕН 360–2008. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Sredstva zashchity vtyagivayushchego tipa. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
13. ГОСТ Р ЕН 361–2008. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Strahovochnye privyazi. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
14. ГОСТ Р ЕН 362–2008. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Soedinitel'nye elementy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009.
15. ГОСТ Р ЕН 365–2010. Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Sredstva individual'noj zashchity ot padeniya s vysoty. Osnovnye trebovaniya k instrukcii po primeneniyu, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu, periodicheskoy proverke, remontu, markirovke i upakovke. M., 2011.

16. Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda v podrazdeleniyah federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby: Prikaz Mintruda Rossii ot 23.12.2014 № 1100n // Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii. URL: <http://www.pravo.gov.ru>.

17. Boevaya odezhda FIRELINER. URL: <http://arsenal-ptv.ru/catalog/fireliner>.

18. O social'nyh garantiyah sotrudnikam nekotoryh federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti i vnesenii izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii: Federal'nyj zakon ot 30.12.2012 № 283-FZ // Rossijskaya gazeta. 11.01.2013. № 3.

УДК 614.8

el-tretyak@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕВАТОРНОЙ СИСТЕМЫ**OPTIMIZATION OF THE HYDROELEVATOR SYSTEM**

*Бараковских С. А., кандидат технических наук, доцент,
Карама Е. А., кандидат педагогических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Коньков В. Ф., 32 ПСО ФПС ГПС МЧС России
по Свердловской области, Екатеринбург,
Попова С. В., Уральский институт
ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Barakovskikh S. A., Karama E. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Konkov V. F., Duty shift 32 fire and rescue squad
of the Federal fire service of the state fire service of the EMERCOM
of Russia in the Sverdlovsk region, Yekaterinburg,
Popova S. V., The Ural Institute of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Одним из факторов, значительно осложняющих тушение пожара, является недостаток воды. Если источники располагаются на значительном расстоянии, то осуществление подвоза воды требует наличия большого количества техники и привлечения всего личного состава. Статистика показывает, что условием развития пожара до крупных размеров является неудовлетворительное противопожарное водоснабжение объекта. Непосредственному забору воды пожарными автомобилями из естественных водоисточников часто препятствуют крутые и заболоченные берега. В таких случаях необходимо применять для забора воды гидроэлеватор Г-600 и его модификации. В статье рассмотрены вопросы обеспечения надежной подачи воды от наружных водоисточников с использованием гидроэлеваторов. Главная цель эксплуатации таких установок и, соответственно, их функция – обеспечение бесперебойной подачи воды по рукавам с большой глубины или с отдаленного источника. В статье приведено расчетно-практическое обоснование схемы забора воды, рассмотрены вопросы оптимизации количества напорных рукавов для запуска гидроэлеваторной системы с двумя Г-600. Доказана работоспособность гидроэлеваторной системы при замене напорных рукавов для подачи на гидроэлеватор диаметром 66 мм на диаметр 51 мм. Таким образом, в процессе решения задачи оптимизации, понимаемой нами как процесс выбора наилучшего варианта из множества всех возможных, мы обосновали оптимальное значение параметров, которые определяют эту задачу.

Ключевые слова: оптимизация, гидроэлеватор, забор воды, расчет, пожарный рукав.

One of the factors that significantly complicate fire fighting is the lack of water. If the sources are located at a considerable distance, the implementation of water delivery requires a large amount of equipment and the involvement of all personnel. Statistics show that the condition for the development of a fire to a large size is an unsatisfactory fire-fighting water supply of the object. Direct water intake by fire trucks from natural

water sources is often hindered by steep and swampy banks. In such cases, it is necessary to use the g-600 hydraulic Elevator and its modifications for water intake. Reliable operation of technical systems is an important condition for uninterrupted water supply of fire equipment and reducing damage from fires. The article deals with the issues of ensuring reliable water supply from external water sources using hydroelevators. The main purpose of operation of such installations and, accordingly, their function is to ensure uninterrupted supply of water through the hoses from a great depth or from a remote source. The calculation and practical justification of the water intake scheme is given, and the issues of optimizing the number of pressure hoses for starting a hydroelevator system with two G-600s are considered. The efficiency of the hydroelevator system has been proven, when replacing the pressure hoses for feeding to the hydroelevator with a diameter of 66 mm by a diameter of 51 mm. Thus, in the process of solving the optimization problem, which we understand as the process of choosing the best option from a set of all possible options, we justified the optimal value of the parameters that determine this problem.

Keywords: optimization, hydraulic Elevator , water intake, calculation, fire hose.

Под оптимизацией понимают процесс выбора наилучшего варианта из множества всех возможных. С точки зрения инженерных расчетов, методы оптимизации позволяют выбирать наилучший вариант конструкции, наилучшее распределение ресурсов и т. д. В процессе решения задач оптимизации, как правило, необходимо найти оптимальное значение некоторых параметров, которые определяют данную задачу.

Решающую роль в ликвидации последствий пожаров играет своевременное прибытие пожарных подразделений и подача огнетушащих средств. Поэтому одним из приоритетных мероприятий превентивного характера является обеспечение территорий организаций и населенных пунктов противопожарным водоснабжением. Как показывает практика, неисправность или отсутствие источников противопожарного водоснабжения не позволяет оперативно ликвидировать горение в начальной стадии пожара и, как следствие, сопровождается увеличением ущерба от пожара, привлечением дополнительных сил и средств и более длительной ликвидацией последствий. Вода на пожаре напрямую, или косвенно определяет параметры пожара (площадь, время локализации, время ликвидации открытого горения, время тушения, материальный ущерб).

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам обеспечения надежной подачи воды от наружных водосточников. Вода, вывозимая на автоцистернах, имеет ограниченный запас: пожарные и естественные водоёмы, пожарные гидранты есть не везде. В случае неудовлетворительного противопожарного водоснабжения, руководитель тушения пожара начинает производить разведку водосточников, и любой водоём, имеющий хоть какой-то запас воды для тушения пожара, может оказаться решающим фактором в вопросах обеспечения эффективного пожаротушения. Однако возможности центробежных пожарных насосов не всегда позволяют осуществить процесс забора воды – геометрическая высота всасывания ограничена 7,5 м. В подобных ситуациях наиболее эффективно использование гидроэлеватора Г-600, Г-600А. Функциональное предназначение данных установок – обеспечение бесперебойной подачи воды при заборе с большой глубины или с отдаленно расположенного источника. Принцип работы гидроэлеватора следующий: «рабочая струя» воды поступает из насоса и, проходя через сопло, создает в цилиндрической части диффузора разрежение, благодаря чему в камеру поступает определенное количество эжектируемой воды из водосточника. Из гид-

роэлеватора вода поступает в промежуточную емкость (цистерну), откуда часть воды подается насосом к гидроэлеватору как «рабочая», а другая часть может быть использована для пожаротушения. Гидроэлеватор Г-600 является очень простым в управлении техническим средством. Во многом это связано с тем, что в нем нет механических, то есть движущихся частей. По той же причине срок его эксплуатации при идеальных условиях ограничен лишь коррозией материалов, из которых он выполнен.

В практике пожаротушения существует много отработанных схем забора воды с помощью гидроэлеватора. Все они рабочие и эффективные, но у всех есть один недостаток с позиции настоящего времени. Все известные схемы предполагают по умолчанию использование на подачу воды в гидроэлеватор рукавов диаметром 66 мм, кроме этого, сам Г-600 на входе имеет соединительную полугайку такого же размера. Как показывает практика, личный состав пожарной охраны в последнее время очень редко использует рукава диаметром 66 мм, заменяя их на машинах боевого расчёта на рукава диаметром 51 мм.

Суть проведенного нами эксперимента заключалась в том, чтобы доказать

на практике работоспособность гидроэлеваторной системы при использовании рукавов диаметром 51 и 77 мм.

Для эксперимента был использован пожарный автомобиль АПС-2,5-40 (43253) на базе шасси КАМАЗ.

Порядок эксперимента

1. От АЦ от выкидного патрубка прокладывается линия из двух напорных рукавов диаметром 77 мм с разветвлением РТ-80.

2. К разветвлению присоединяются два рукава диаметром 51 мм.

3. К рукавам 51 мм, с помощью переходных полугаек 51–66 мм присоединяются два гидроэлеватора Г-600.

4. От каждого Г-600 собирается обратная линия из трёх рукавов диаметром 77 мм до АЦ.

5. На всасывающий патрубок насоса присоединяется водосборник ВС-125.

6. Обратные линии из рукавов 77 мм присоединяются к водосборнику, гидроэлеваторы погружаются в водоём.

7. Из левого напорного патрубка прокладывается напорная линия на подачу воды (2 рукава диаметром 77 мм, РТ-80, 2 рукава диаметром 51 мм, 2 ствола РСК 70).

Схема приведена на рис. 1.

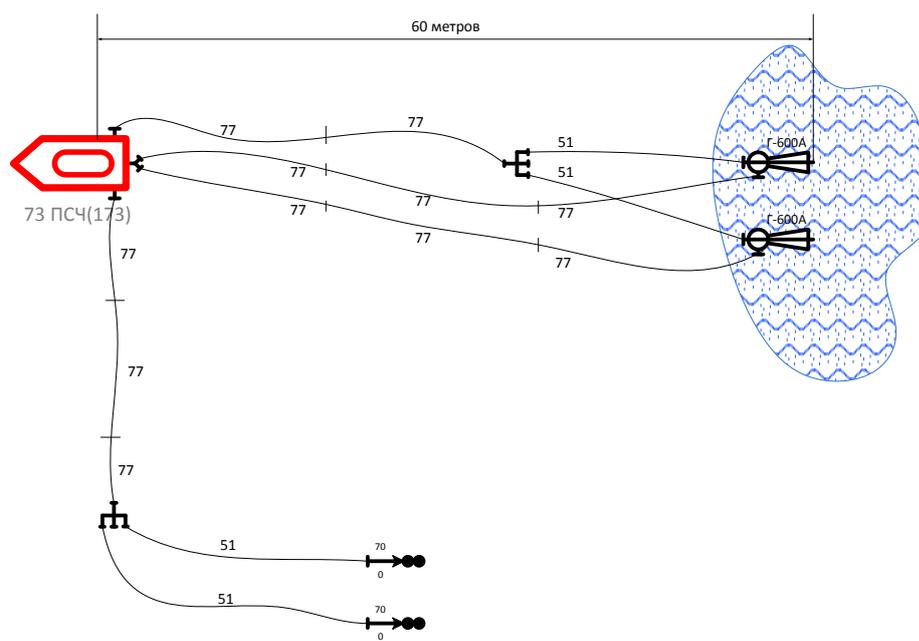


Рисунок 1. Экспериментальная схема с использованием гидроэлеваторов
После того как схема собрана, приступаем к забору воды.

Последовательность действий

1. Проверить соединения рукавов, гидроэлеватора, стволов.
2. Устранить перегибы в рукавах.
3. Закрыть все вентили насоса, сливной кран.
4. Включить на малых оборотах насос, открыть вентиль из цистерны, создать давление в насосе.
5. Открыть вакуум-клапан, постепенно открывая вентиль напорного патрубка, подать воду в напорную линию гидроэлеватора. Предварительно открыть вентили на разветвлении.
6. Создать давление порядка 3 атм, при возвращении воды по обратной линии в насос и создании устойчивого давления на мановаккуметре (5–6 атм) закрыть вакуум-клапан, плавно закрыть вентиль из цистерны.
7. Увеличить давление до 9–10 атм (при проведении эксперимента поддерживалось давление 9,5 атм).
8. Убедиться в работоспособности и стабильности системы без подпитки из цистерны.
9. Плавно подать воду в линию на подачу, контролируя показания мановаккуметра.
10. На разветвлении сначала подать воду на 1 ствол, потом постепенно на второй, при этом следить за давлением в обратной линии.
11. Убедиться в устойчивой работе системы.
12. Давление на насосе поддерживается 9,5 атм.

В результате проведенного эксперимента, когда схема из двух Г-600 была собрана и осуществлен успешный забор воды, наблюдалась устойчивая работа двух стволов с расходом 7,4 л/с (888 л/мин). Фотоотчет эксперимента представлен на рис. 2.



Рисунок 2. Этапы выполнения экспериментальной части

Для подтверждения предложенного решения нами были произведены инженерно-технические расчеты по обоснованию мероприятий по оптимизации работы гидроэлеваторной системы.

1. Определим требуемое количество воды $V_{\text{СИСТ}}$, необходимое для запуска гидроэлеваторной системы на два Г-600А

$$V_{\text{СИСТ}} = N_p \cdot V_p \cdot K = (8 \cdot 90 + 2 \cdot 40) \cdot 1,5 = 1200 \text{ л.} \quad (1)$$

По схеме с использованием рукавов диаметром 66 мм:

$$V_{\text{СИСТ}} = N_p \cdot V_p \cdot K = (6 \cdot 70 + 6 \cdot 90) \cdot 1,5 = 1440 \text{ л.} \quad (2)$$

По схеме с использованием рукавов диаметром 77 мм:

$$V_{\text{СИСТ}} = N_p \cdot V_p \cdot K = (12 \cdot 90) \cdot 1,5 = 1620 \text{ л,} \quad (3)$$

где N_p – число рукавов в гидроэлеваторной системе (шт.);

V_p – объем одного рукава длиной 20 м (л);

K – коэффициент, зависящий от количества гидроэлеваторов в системе, работающей от одной пожарной машины ($K = 2 - 1 \text{ Г-600}$, $K = 1,5 - 2 \text{ Г-600}$);

при расположении водоисточника на расстоянии 50 м с высотой подъема 3 м.

По новой предложенной схеме с использованием рукавов диаметром 51 мм:

Рукава диаметром 51 мм – 2 шт.

Рукава диаметром 77 мм – 8 шт.

Рукава диаметром 77 мм – 6 шт.

Рукава диаметром 66 мм – 6 шт.

Определив требуемое количество воды для запуска гидроэлеваторной системы, сравнивают полученный результат с запасом воды, находящимся в пожарной автоцистерне, и выявляют возможность запуска этой системы в работу.

2. Определим возможность совместной работы насоса АЦ с гидроэлеваторной системой.

$$И = Q_{\text{СИСТ}} / Q_{\text{Н}} = 38,2 / 40 = 0,955 < 1, \quad (4)$$

$$Q_{\text{СИСТ}} = N_{\text{Г}} (Q_1 + Q_2) = 2 (9,1 + 10) = 38,2, \quad (5)$$

$$И = 0,955 < 1, \quad (6)$$

где $И$ – коэффициент использования насоса;

$Q_{\text{СИСТ}}$ – расход воды гидроэлеваторной системой (л/с);

$Q_{\text{Н}}$ – подача насоса пожарного автомобиля (л/с);

$N_{\text{Г}}$ – число гидроэлеваторов в системе (шт.);

$Q_1 = 9,1 \text{ л/с}$ – рабочий расход воды одного гидроэлеватора;

$Q_2 = 10 \text{ л/с}$ – подача одного гидроэлеватора.

При $И < 1$ система будет работать, при $И = 0,65 - 0,7$ будет наиболее устойчивая совместная работа гидроэлеваторной системы и насоса.

Следует иметь в виду, что при заборе воды с больших глубин (18–20 м) необходимо создавать на насосе напор 100 м. В этих условиях рабочий расход воды в системах будет повышаться, а расход насоса – понижаться против нормального и может оказаться, что сумма рабочего и эжектируемого расходов превысит

расход насоса. В этих условиях система работать не будет.

На основании проведённых расчётов видны преимущества предложенной новой схемы как по количеству минимального запаса воды, для запуска гидроэлеваторной системы, так и по количеству используемых рукавов.

Эксперимент показал, что предложенная схема работает устойчиво и обеспечивает работу двух стволов с расходом 7,4 л/с.

При предложенной схеме оптимально количество используемых рукавов (8 рукавов диаметром 77 мм, 2 рукава

диаметром 51 мм), следовательно, для запуска системы будет достаточно рукавов с одного пожарного автомобиля (как правило, на АЦ находится на вооружении 8–10 рукавов диаметром 77 мм, 6 рукавов – 51 мм, 4 рукава – 66 мм).

Предложенная схема работоспособна на расстоянии до водоисточника до 60 м. При расстоянии до водоисточника 60 м и высоте подъёма 3 м, при подаче двух стволов с расходом 7,4 л/с для устойчивой работы системы необходимо поддерживать давление в насосе не менее 9 атм.

Литература

1. Информационно-методический конструктор объектов защиты, расположенных на территории местного гарнизона пожарной охраны: а.с. 2015620080 / Харько С. Л., Бараковских С. А., Карама Е. А.; заявл. 20.11.2014; 2014621631; опубл. 15.01.2015.
2. Пожарная и аварийно-спасательная техника. Ч. 1 / М. Д. Безбородько и др.; под ред. М. Д. Безбородько. М., 2012. 353 с.
3. Пожарно-тактический практикум: а.с. 2016621702 / Харько С. Л., Бараковских С. А., Карама Е. А.; заявл. 23.12.2016; 2014621631; опубл. 21.02.2017.
4. Расчет параметров тушения пожаров при разных геометрических формах его развития на момент прибытия первых пожарных подразделений: а.с. 2013618712 / Харько С. Л., Бараковских С. А., Карама Е. А.; заявл. 18.07.2013; 2013616172; опубл. 17.09.2013.
5. Электронный помощник в решении пожарно-тактических задач: а.с. 2017612238 / Харько С. Л., Бараковских С. А., Карама Е. А.; заявл. 23.12.2016; 20146664115; опубл. 17.02.2017.

References

1. Information-methodical designer protection, located on the territory of the local garrison of fire protection: а.с. 2015620080 / Kharko C. L., Barakovskikh S. A., Karama, E. A.; statement 20.11.2014; 2014621631; publ. 15.01.2015.
2. Fire and rescue equipment: textbook. H. 1 / M. D. Bezborodko etc.; ed. by M. D. Bezborodko. Moscow, 2012. 353 p.
3. Fire tactics workshop: а.с. 2016621702 / Kharko C. L., Barakovskikh S. A., Karama, E. A.; statement 23.12.2016; 2014621631; publ. 21.02.2017.
4. Calculation of parameters of extinguishing fires in different geometric forms of its development at the time of arrival of the first fire departments: а.с. 2013618712 / Kharko C. L., Barakovskikh S. A., Karama, E. A.; statement 18.07.2013; 2013616172; publ. 17.09.2013.
5. Electronic assistant in the solution of fire and tactical tasks: а.с. 2017612238 / Kharko C. L., Barakovskikh S. A., Karama, E. A.; statement 23.12.2016; 20146664115; publ. 17.02.2017.

УДК 614.84:519

kaibitchev@mail.ru

**АППРОКСИМАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ПОЖАРОВ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОТ ВОЗРАСТА ВИНОВНИКА****ACCOUNTING ERRORS OF PREVIOUS PERIOD IN PREDICTING
THE MAIN PARAMETERS OF THE OPERATIONAL RESPONSE OF EMERCOM
OF RUSSIA**

*Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Барбин Н. М., доктор технических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Kaibichev I. A., Barbin N. M.,
The Ural Institute of State Firefighting Service
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Объектом исследования является аппроксимация зависимости количества пожаров в Российской Федерации от возраста виновника. Цель исследования определить функциональный тип связи количества пожаров от возраста виновника. Для аппроксимации использованы три разновидности модели Ферхюльста: классическая, модернизированная и с переменной скоростью роста. Абсолютно точно фактические результаты описывает модель Ферхюльста с переменной скоростью роста.

Ключевые слова: количество пожаров, Российская Федерация, возраст виновника пожара, аппроксимация зависимости.

The Object of the study is an approximation to dependencies amount fire in Russian Federation from age of the perpetrator. The Purpose of the study to define the functional type a relationship amount fire from age of the perpetrator. For approximation are used three varieties to models Ferhyulista: classical, modernized and with variable velocity of the growing. Absolutely exactly, the actual results describes the model Ferhyulista with variable velocity of the growing.

Keywords: the amount fire, Russian Federation, age of the perpetrator of the fire, approximation to dependencies.

К данному времени нет математической аппроксимации имеющихся данных [1] о зависимости количества пожаров в Российской Федерации от возраста виновника. Первая трудность проведения исследования состоит в том, что данных по количеству пожаров в России для различных конкретных значений возраста виновника в статическом сборнике [1] нет. Однако есть данные по количеству пожаров с возрастом виновника, попадающего в определенные интервалы (табл. 1). Количество пожаров дано по 7 интервалам возраста виновника.

Исследовать данные, сгруппированные по интервалам, неудобно. Попытка получить на основе имеющихся данных по 7 интервалам возраста виновника какое-то непрерывное распределение количества пожаров (Y) от возраста виновника (X) связана с математическими трудностями. Кроме этого, полученное таким образом распределение может не совпасть с имеющимися с данными, которые представлены в виде группировки по 7 интервалам возраста виновника.

Самый простой подход к решению задачи состоит в введении ранговой переменной. Эту переменную (номер) мы ис-

пользуем для идентификации интервала возраста виновника.

Таблица 1
Количество пожаров в РФ по возрасту виновника

№	Возраст виновника	2015	2016	2017	2018
1	0–6	881	700	574	535
2	7–13	1052	1002	940	936
3	14–15	183	132	137	154
4	16–19	358	329	830	303
5	20–40	15693	14006	12987	12326
6	41–59	23486	21831	20139	19902
7	>60	12844	12802	12572	12795

Например, номер 1 используем для возраста виновника в интервале от 0 до 6 лет, 2 – для диапазона от 7 до 13 лет, 3 – для интервала от 14 до 15 лет, 4 – для диапазона от 16 до 19 лет, 5 – для интервала от 20 до 40 лет, 6 – для диапазона от 41 до 59 лет, 7 – для лиц, старше 60 лет. Приведенные возрастные интервалы не равномерны, имеют различную временную ши-

рины. Однако именно они приведены в сборнике [1]. Поэтому вынуждены использовать их.

Зависимость количества пожаров в России от возраста виновника (рис. 1) нелинейна. По виду она напоминает рост популяции животных [2–4], а также нелинейные социальные процессы [5, 6].

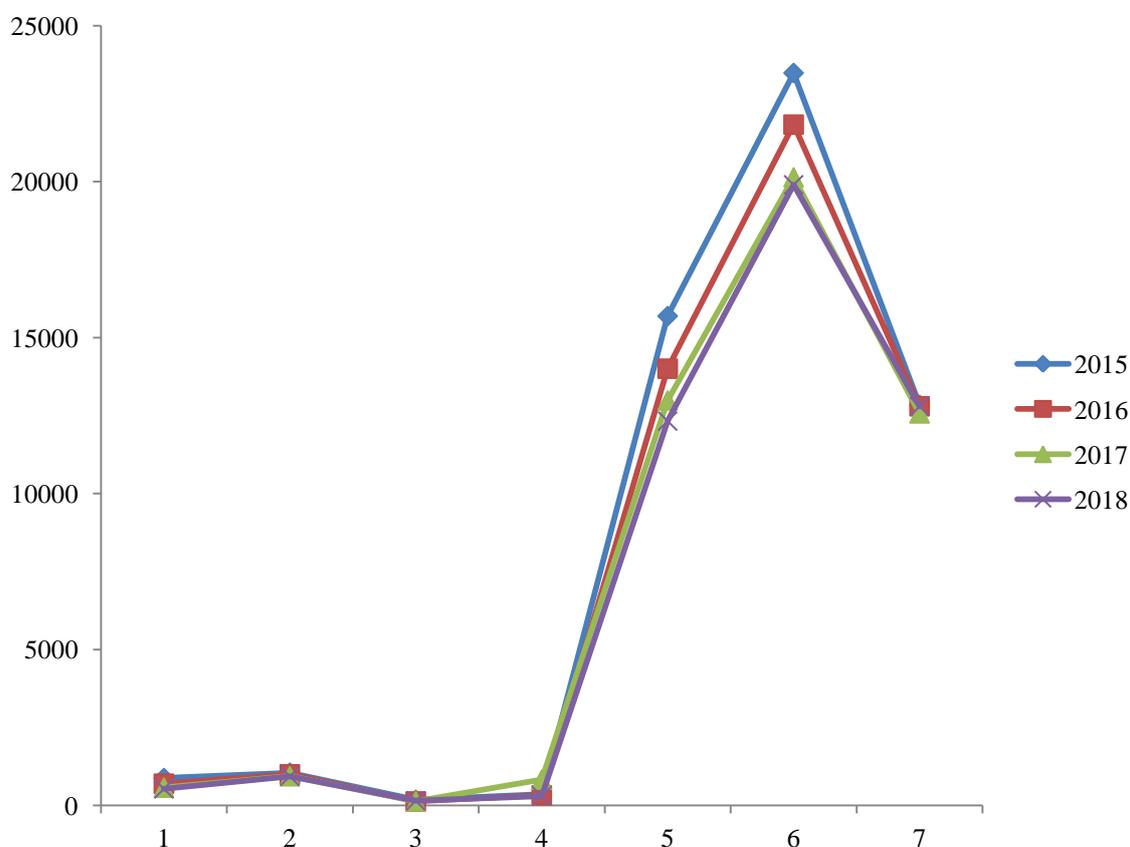


Рисунок 1. Количество пожаров в России по возрасту виновника

Поэтому на первом этапе исследуем возможность аппроксимации с помощью модели Ферхюльста [2–6].

Модель Ферхюльста

Количество особей $P(t)$ в популяции описывается функцией Ферхюльста

$$P(t) = \frac{KP_0G}{K+P_0[G-1]}, G = \exp(rt), \quad (1)$$

где P_0 – начальная численность популяции; K – емкость среды (максимальная численность популяции); r – скорость размножения.

При аппроксимации количества пожаров смысл констант в уравнении (1) меняется. Так P_0 – минимальное количество пожаров. Полагаем $P_0 = 1$. Если положить $P_0 = 0$, то и все остальные значения $P(t) = 0$, а этого не наблюдается. Далее K – максимальное количество пожаров. Можно ожидать, что K равно или больше мак-

симального из имеющихся фактических количеств пожаров. Параметр r – скорость изменения количества пожаров по мере возрастания возраста виновника. Параметры K и r будут определены подбором. По результату подбора для количества пожаров будем использовать аппроксимацию

$$Y_M = \frac{KP_0G}{K+P_0(G-1)}, G = \exp(rX). \quad (2)$$

Между фактическим (табл. 2) и модельным (2) значением есть разница, называемая ошибкой $e = Y_M - Y$. В качестве критерия оптимальности использовали условие минимума среднего значения квадрата ошибки. Минимум находили с помощью средства Поиск решения программы Microsoft Excel. Минимум был обнаружен при значениях параметров $K = 19917,66$ и $r = 2,040954$, $P_0 = 1$.

Таблица 2
Модель Ферхюльста для 2018 года

X	Y	Y _м	e	e ²
1	535	8	-527	278050
2	936	59	-877	768979
3	154	446	292	85250
4	303	2985	2682	7195122
5	12326	11468	-858	735983
6	19902	18178	-1724	2972784
7	12795	19673	6878	47307701
среднее			838	8477696

Среднее значение ошибки для 2018 г. составило 838, а среднее значение квадрата ошибки – 8477696 (табл. 2).

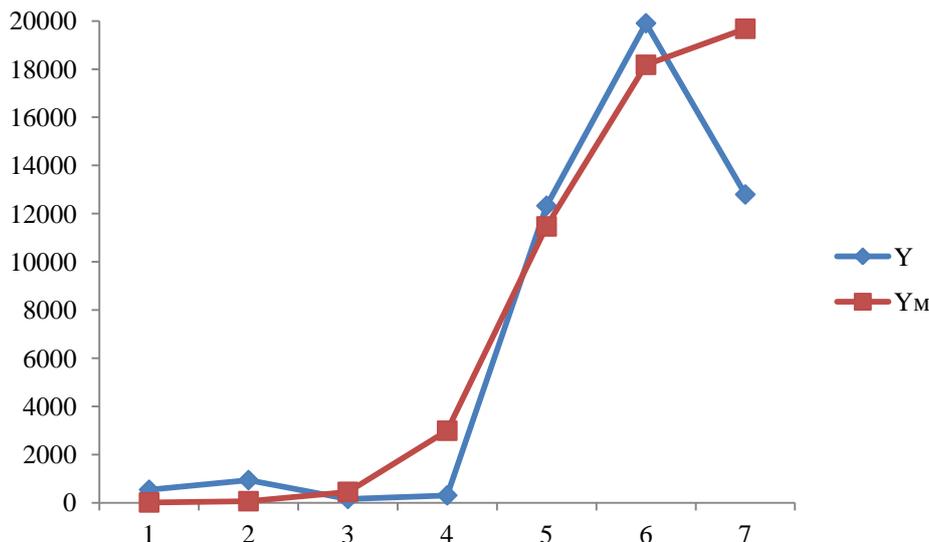


Рисунок 2. Сравнение фактических показателей (Y) с результатом аппроксимации моделью Ферхюльста (Y_м)

Аппроксимация данных 2018 г. моделью Ферхюльста показывает наличие некорректного описания количества пожаров для людей пожилого возраста (рис. 2).

Коэффициент линейной корреляции Пирсона между фактическими и модельными количествами пожаров $R = 0,939$. Качество модели принято оценивать по значению коэффициента детерминации, он равен квадрату коэффициента линейной корреляции Пирсона между фактическими и модельными значениями. В нашем случае коэффициент детерминации $R^2 = 0,882$.

Модернизация модели Ферхюльста

Попробуем использовать аппроксимацию

$$Y_m = \frac{KP_0 G}{K + P_0(G-1)}, G = \exp(rX + b). \quad (3)$$

Формула (3) отличается от выражения (2) наличием дополнительной константы b в экспоненте, этот дополнительный член от возраста виновника пожара не зависит.

Минимум среднего значения квадрата ошибки был обнаружен при значениях параметров $K = 19917,66$, $r = 1,363567$, $P_0 = 1$, $b = 3,386931$.

Среднее значение ошибки для 2018 г. в этом случае составило 1085, а среднее значение квадрата ошибки – 10719845 (табл. 3).

Таблица 3
Модернизированная модель Ферхюльста

X	2018	Y _m	e	e ²
1	535	115	-420	176417
2	936	442	-494	243880
3	154	1624	1470	2160828
4	303	5132	4829	23321114
5	12326	11468	-858	735983
6	19902	16760	-3142	9874499
7	12795	19002	6207	38526197

среднее	1085	10719845
---------	------	----------

Заметим, что среднее значение квадрата ошибки модернизированной модели Ферхюльста на 26,45 % больше значения аналогичной величины в обычной модели Ферхюльста.

Аппроксимация данных 2018 года модернизированной моделью Ферхюльста показывает наличие некорректного описания количества пожаров для подростков и людей пожилого возраста (Рис. 3).

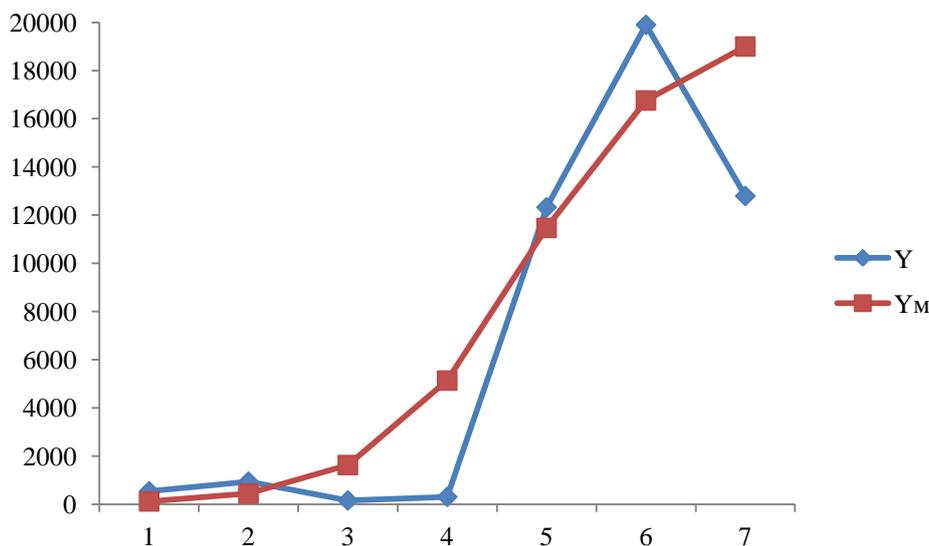


Рисунок 3. Сравнение фактических (Y) с результатом аппроксимации модернизированной моделью Ферхюльста (Y_м)

Коэффициент линейной корреляции Пирсона между фактическими и модельными количествами пожаров $R = 0,914$. Качество модели принято оценивать по значению коэффициента детерминации, он равен квадрату коэффициента линейной корреляции Пирсона между фактическими и модельными значениями. В нашем случае коэффициент детерминации $R^2 = 0,836$. Это значение на 5,20 % меньше коэффициента детерминации модели Ферхюльста.

В целом, модернизация модели Ферхюльста, состоящая в добавлении в экспоненту слагаемого, не зависящего от возраста виновника пожара, не улучшила качество. Поэтому использовать модернизированную модель Ферхюльста в нашем случае нецелесообразно.

Модель Ферхюльста с непостоянной скоростью размножения

Попробуем использовать аппроксимацию [3]:

$$Y_m = \frac{K P_0 G}{K + P_0(G-1)}, G = \exp\left(\int_0^x a(z) dz\right). \tag{4}$$

Величина $a(z)$ имеет смысл ускорения для числа пожаров. Допустим, что ускорение постоянно на каждом из возрастных интервалов.

Абсолютно точное воспроизведение фактических показателей (табл. 4) происходит при константах $K = 19917,66$, $P_0 = 1$ и ускорении, задаваемого константами на каждом возрастном интервале (табл. 5).

Таблица 4

Модель Ферхюльста с непостоянной скоростью размножения

X	2018	Y _m	e
1	535	535	0
2	936	936	0
3	154	154	0
4	303	303	0
5	12326	12326	0
6	19902	19902	0
7	12795	12795	0

Таблица 5

Ускорение для различных возрастных интервалов

X	a
1	6,309444
2	0,580254
3	-1,84503
4	0,684348
5	4,65496
6	6,662554
7	-6,56144

В этом случае ошибка модели равна нулю. Следовательно, из всех рассмотренных нами моделей абсолютно точное описание зависимости количества пожаров в Российской Федерации от возраста виновника дает модель Ферхюльста с непостоянной скоростью роста количества пожаров. При этом ускорение роста коли-

чества пожаров в каждом возрастном интервале считали постоянной величиной.

Таким образом, представления биологии о росте популяции оказались продуктивными при поиске аппроксимации зависимости количества пожаров в Российской Федерации от возраста виновника.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: стат. сб. / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.
2. Verhulst P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // Corresp. Math. et Phys., 1938. V. 10. P. 113–121.
3. Соколов С. В. Модели динамики популяций. СПб., 2018. 61 с.
4. Pearl R. The Biology of Population Growth: N.Y., Alfred A. Knof., 1925. 260 p.
5. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов / под ред. И. В. Ильина, Д. И. Трубецкова. М., 2010. 412 с.
6. Плотницкий Ю. М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. М., 1998. 279 с.

Referenses

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 godu: stat. sb. / pod obshchej redakciej D. M. Gordienko. M., 2019. 125 s.
2. Verhulst P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // Corresp. Math. et Phys., 1938. V. 10. P. 113–121.
3. Sokolov S. V. Modeli dinamiki populyacij. SPb., 2018. 61 s.
4. Pearl R. The Biology of Population Growth: N.Y., Alfred A. Knof., 1925. 260 p.

5. Modelirovanie nelinejnoj dinamiki global'nyh processov / pod red. I. V. Il'ina, D. I. Trubeckova. M., 2010. 412 s.
6. Plotnickij YU. M. Teoreticheskie i empiricheskie modeli social'nyh processov. M., 1998. 279 s.

УДК 614.849

s_sharhun@mail.ru

**ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ
СТРУЙНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ
В РЕЖИМЕ ДЫМОУДАЛЕНИЯ**

**EXPERIENCE OF SIMULATION OF UNIDIRECTIONAL SYSTEM
OF JET VENTILATION OF UNDERGROUND CAR PARK
IN SMOKE REMOVAL MODE**

*Шархун С. В., кандидат технических наук,
Ожегов Э. А., кандидат технических наук, Франкевич А. Е.,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Седов Д. В., кандидат технических наук,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет, Иркутск,
Шубкин Р. Г., кандидат технических наук,
Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск,
Колбин Т. С., главный специалист ООО «Байер», Москва*

*Sharhun S. V., Ozhegov E. A., Frankevich A. E.,
Urals Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Sedov D. V., Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk,
Shubkin R. G., East Siberian Institute of the Ministry
of Internal Affairs of Russia, Irkutsk,
Kolbin T. S., Chief Specialist of Bayer LLC, Moscow*

В статье представлены результаты моделирования системы струйной вентиляции для подземной автостоянки жилого дома. Рассмотрен вопрос о возможности использования элементов вентиляции и кондиционирования, реализованных в программном комплексе Fire Dynamics Simulator, при моделировании систем струйной вентиляции. Выявлены пороги значений размера ячейки, использование которых допустимо при моделировании подобных систем и протекающих в них процессов.

Ключевые слова: вентилятор, струйная вентиляция, система автоматического дымоудаления при пожаре, моделирование, подземная автостоянка, размер ячейки сетки, расчетные домены.

The article presents the results of modeling of the jet ventilation system for the underground parking lot of the residential building. The possibility of using ventilation and air conditioning elements implemented in the Fire Dynamics Simulator software complex in modeling jet ventilation systems was considered. Thresholds of cell size values are identified, the use of which is permissible in modeling of similar systems and processes going on in them.

Keywords: Fan, jet ventilation, automatic smoke removal system in case of fire, simulation, underground parking, mesh cell size, design domains.

В условиях развития мегаполисов преимущественно применяется точечная застройка. Для увеличения полезного объема здания, а также повышения уровня

комфорта граждан уже невозможно представить современный жилой дом без подземной парковки, в большинстве случаев которая проектируется с открытой въездной рампой. Однако, несмотря на очевидные технико-экономические преимущества такого решения, существует ряд серьезных недостатков, связанных с обеспечением безопасности на подобных объектах, главным из которых является сложность ведения действий по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ в подземных этажах.

Упростить задачи тушения пожаров и обеспечения безопасной эвакуации людей призваны системы противопожарной защиты:

- 1) системы пожарной сигнализации;
- 2) системы оповещения и управления эвакуацией;
- 3) системы автоматического пожаротушения;
- 4) системы автоматического дымоудаления при пожаре.

В настоящее время параметры расчета систем дымоудаления определяются в соответствии с СП 7.13130 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» [1]. Система дымоудаления по этому нормативному документу представлена в виде архаичной схемы, реализация которой на объекте защиты сопряжена со сложностями инженерного и экономического характера, связанными с прокладкой большой протяженности вентиляционных каналов с нормируемым пределом огнестойкости.

В работе [2] указывается, что применение полноценной приточно-вытяжной системы воздухообмена считается наилучшим вариантом вентиляции на подземной парковке, что подтверждается большим опытом применения подобных систем. Однако в настоящее время в зарубежной практике широко используются системы струйной вентиляции в подземных паркингах. Основное назначение струйной вентиляции – это обеспечение

заданного качества воздуха в паркинге и удаление продуктов горения в случае возгорания.

Струйная вентиляционная система включает собственно струйные вентиляторы, размещенные на потолочных перекрытиях, и приточно-вытяжную (аварийную и штатную) вентиляцию. В настоящее время вентиляторы приточной и вытяжной вентиляции часто совмещают функции противодымной и штатной вентиляции. В этом случае дымоудаление при пожаре является для них режимом максимальной нагрузки, а штатный режим обычно требует мощности вентиляторов равной около 25 % от максимальной [3].

Аварийный режим (пожар) является наиболее ответственным и тяжелым для вентиляционной системы автостоянки, определяющий уровень мощности противодымных приточных и вытяжных вентиляторов, количество и тип струйных вентиляторов [3]. В настоящее время приточно-вытяжная и струйная вентиляция, используемая как в режиме штатной общеобменной вентиляции, так и в аварийном режиме, часто использует реверс воздушного потока [5].

Разработка систем вентиляции в целом является сложным инженерным изысканием, от правильности которого будет зависеть жизнь и здоровье людей, а также сохранность их имущества в виде автомобилей. Как указано в работе [6], основным инструментом, применяемым для проектирования струйных систем вентиляции автостоянок, является численное моделирование, базирующееся на фундаментальных закономерностях механики жидкости и газов.

Облегчить задачу расчета параметров систем призвано различное программное обеспечение, одним из которых является программа Fire Dynamics Simulator (далее FDS), которая реализует гидродинамическую модель (далее CFD) тепло-массопереноса при горении, численно решает уравнения Навье – Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых

потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре.

В 6-й версии программы разработчиками добавлена возможность моделирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования, так называемые устройства класса Heating Ventilation Air-Conditioning (далее HVAC), а также алгоритмы переноса опасных факторов пожара через эти системы. Помимо всего прочего при помощи устройств класса HVAC представляется возможным задать непосредственно сам струйный вентилятор и, как следствие, смоделировать работу всей системы в целом в условиях пожара.

Однако открытыми остаются некоторые вопросы, связанные с заданием самого вентилятора, в частности вопрос размера ячейки сетки. Опытным путем установлено, что размер ячеек, необходимый для точного соответствия экспериментальным данным для свободной струи из воздуховода, меньше, чем представляется возможным задать на имеющихся вычислительных мощностях, учитывая

линейные размеры подземных парковок. Отсюда следует логичный вопрос: каков максимально-возможной размер ячейки сетки, позволяющий разумно моделировать струйный вентилятор, но при этом не сказывающийся на результатах моделирования?

Практика проведения моделирования пожара с учетом работы систем противопожарной защиты в зданиях [7] показала, что при моделировании пожара с помощью полевой модели FDS (Fire Dynamics Simulator) требуется значительное время на проведение расчетов, в связи с чем вопрос выбора размера ячейки сетки является одним из важных на начальном этапе построения модели.

Для решения этой задачи была задана упрощенная модель вентилятора в виде отверстия в домене сетки с размерами $0,25 \times 0,25$ м и скоростью подачи струи 18 м/с. Расчет проводился в 5 сетках. При этом размер ячейки сетки был одинаков для всех расчетных доменов, число ячеек сетки варьировалось от 10^{-3} до 10^{-6} м. Расчетная модель представлена на рис. 1.

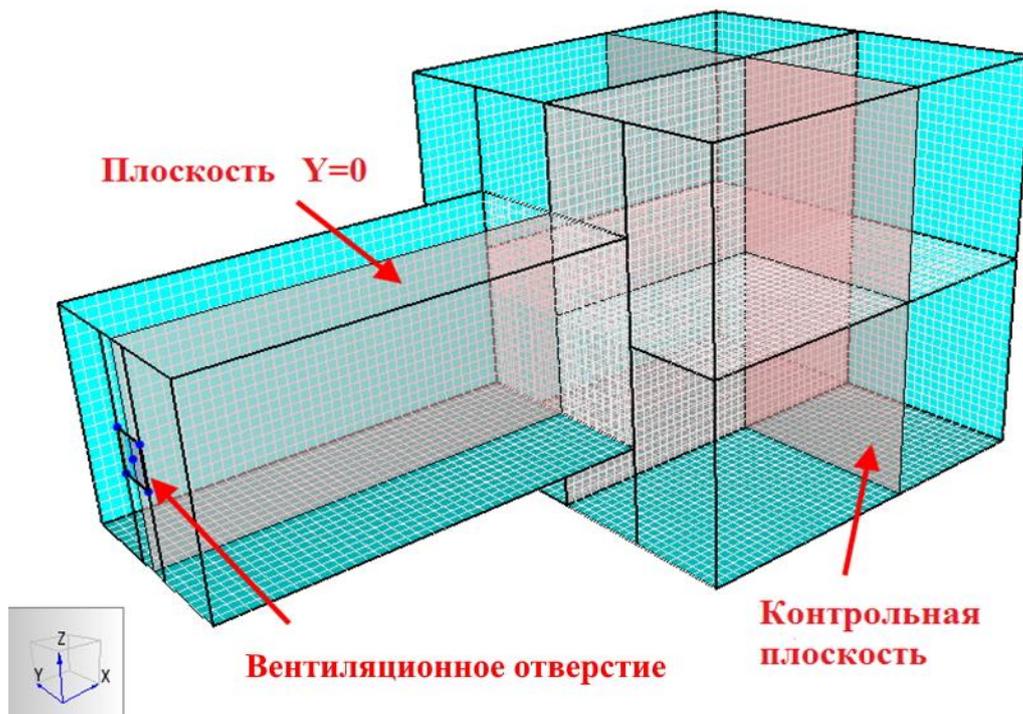


Рисунок 1. Расчетная модель

Поскольку FDS является решением для моделирования больших вихрей (LES), результаты меняются со временем. Все модели были запущены в течение 10 с. Начальный переходный процесс завершается через 2 с, а частоты первичной турбулентности достаточно высоки, поэтому усреднение результатов от 2 до 10 с дает значение, которое представляет собой измерение в устойчивом состоянии. На рис. 1 показано расположение плоскостей $Y=0$ и контрольной плоскости, в ко-

торых будут представлены контуры скорости.

Чтобы визуализировать влияние размера сетки на решение, представим две пары контуров скорости на плоскостях за 5 с. Очевидно, что мелкая сетка показывает наиболее реалистичное развитие слоя сдвига, в то время как результат грубой сетки показывает минимальную турбулентность. На рис. 2 представлена визуализация полученных результатов при различных размерах ячейки сетки.

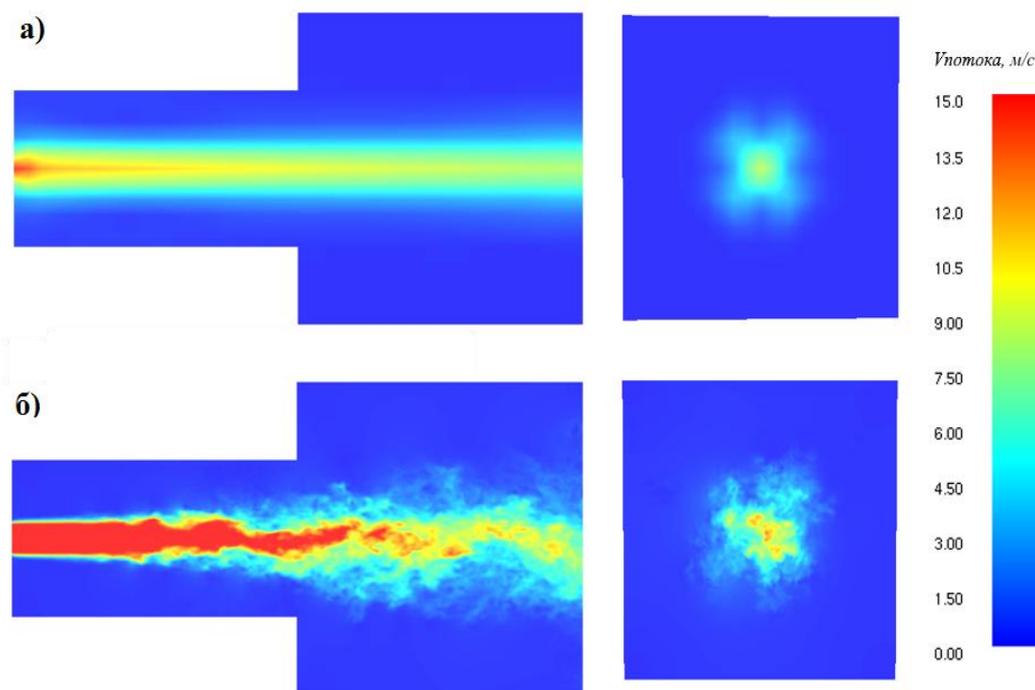


Рисунок 2. Визуализация результатов моделирования:
 а – визуализация потока при размере ячейки сетки 0,125 м,
 б – визуализация потока при размере ячейки сетки 0,0125 м

Таким образом, если использовать «мелкую» сетку, то FDS достаточно точно моделирует струю воздуха, а если размер ячейки сетки будет слишком грубым, результат моделирования не уловит турбулентность в слое сдвига и предсказанная скорость центральной линии не будет уменьшаться.

Для примера произведен расчет системы однонаправленной струйной вентиляции в режиме дымоудаления подземной автостоянки площадью

$A_{см}=2\ 100,6\ м^2$, расположенной в подвальной этаже жилого дома и отделённой от жилой части противопожарными преградами с нормируемым пределом огнестойкости, размеры в плане 35×60 метров, въезд на парковку осуществляется через открытую въездную рампу.

В соответствии с методикой расчета системы струйной вентиляции подземной автостоянки, выполнен расчет воздухообмена в режиме дымоудаления, приняв проектную тепловую мощность

очага горения Q_n равной 5 МВт (пожар одного автомобиля).

По формуле 7.8 в [8] определена температура газовой смеси:

$$t_m = (t_0 + 273) \left(1 + \frac{D}{V_{кр}} \right) - 273 = (15 + 273) \left(1 + \frac{0,000215}{0,097782} \right) - 273 = 15,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

По формуле в [8] вычислена производительность вентиляторов дымоудаления:

$$V_x = 3600 v_1 B Y \frac{(t_m + 273)}{(t_0 + 273)} = \\ = 3600 \cdot 0,097782 \cdot 27 \cdot 2 \cdot \frac{(15,6 + 273)}{(15 + 273)} = 19\,050,71 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Основываясь на проделанные расчёты, сделаем вывод о необходимости установки четырех одноструйных вентиляторов дымоудаления.

Для дальнейшего моделирования в программе FDS построена модель подземной автостоянки, показанная на рис. 3.

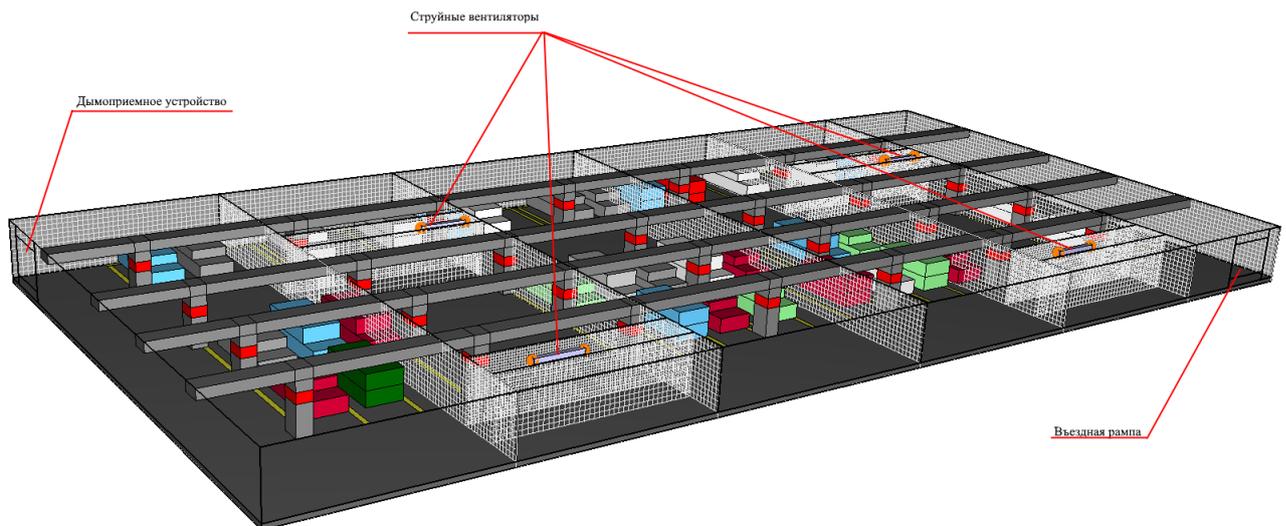


Рисунок 3. Общий вид модели, используемый при моделировании

Для адекватного воспроизведения результатом задано 14 расчетных доменов, различающихся величиной ячейки сетки. Домены, в которых располагался струйный вентилятор, имеют величину ячейки сетки 0,0125 м, прочие домены

0,125 м. Общее число расчетных ячеек сетки – 49 080 000 единиц.

На рис. 4 показаны результаты моделирования работы вентиляции с интервалом времени 20 с.

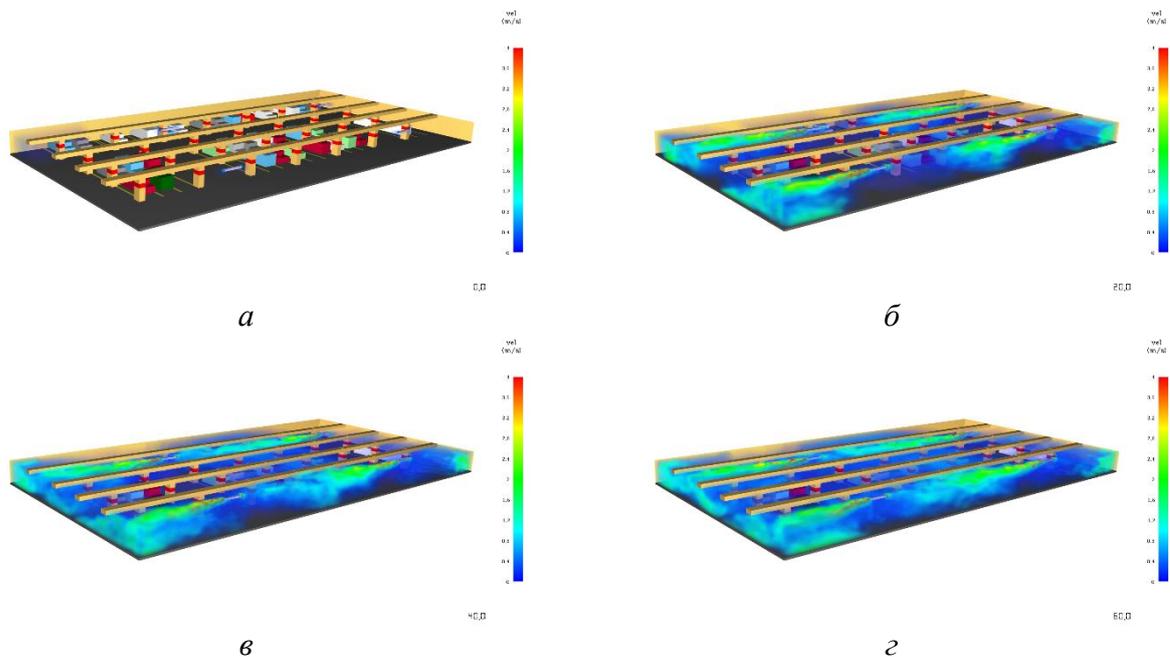


Рисунок 4. Визуализация работы вентиляции в режиме «пожар»:
 а – начальный момент времени; б – 20 секунд с момента начала моделирования;
 в – 40 секунд с момента начала моделирования; г – 60 секунд с момента начала моделирования

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод, что рассмотренная система струйной однонаправленной вентиляции в данном случае справляется со своими задачами, в том числе поддерживает высоту рабочей зоны, не позволяя дыму скапливаться, и переносит продукты горения к дымоприемному устройству.

Следовательно, грамотное применение специального программного обес-

печения позволит провести предварительное моделирование работы систем струйной вентиляции и существенно облегчить задачу расчета параметров систем, и что не менее важно, этот подход позволит визуализировать процесс работы системы, учесть возможное наличие различных инженерных сетей и препятствий, расположенных в припотолочном пространстве.

Литература

1. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности: СП 7.13130: утв. приказом МЧС РФ от 21 февраля 2013 г. № 116: официальное издание. М., 2013.
2. Садохина Н. А. К вопросу о канальной и струйной системе вентиляции подземных автостоянок // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 4 URL: <http://web.snauka.ru/issues/2019/04/89096>.
3. Свердлов А. В. и др. Расчетные методы проектирования продольных струйных систем вентиляции автостоянок закрытого типа // Холодильная техника и кондиционирование. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetnye-metody-proektirovaniya-prodolnyh-struynyh-sistem-ventilyatsii-avtostoyanok-zakrytogo-tipa>.
4. Волков А. П. Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. 2013, № 8. С. 82–88.
5. Волков А. П., Свердлов А. В. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок // АВОК Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. 2015. № 1. С. 34–38.
6. Ден Г. Н. Введение в термогазодинамику реальных газов. Курс лекций. СПб., 1998.

7. Колбин Т. С., Казаринов П. В., Шархун С. В. Моделирование пожара с учетом работы систем противопожарной защиты // Техносферная безопасность. 2014. № 4 (5). С. 10–20.

8. Свод правил. Системы струйной вентиляции и дымоудаления подземных и крытых автостоянок. Правила проектирования: СП 300.1325800.2017: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 21 августа 2017 г. № 1145/пр: официальное издание. М., 2017.

References

1. Svod pravil. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. Trebovanija požarnoj bezopasnosti: SP 7.13130: utv. prikazom MChS RF ot 21 fevralja 2013 g. №116: oficial'noe izdanie. M., 2013.

2. Sadohina N. A. K voprosu o kanal'noj i strujnoj sisteme ventiljicii podzemnyh avtostojanok // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. 2019. № 4. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2019/04/89096>.

3. Sverdlov A. V. et al. Raschetnye metody proektirovanija prodol'nyh strujnyh sistem ventiljicii avtostojanok zakrytogo tipa // Holodil'naja tehnik i kondicionirovanie. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschetnye-metody-proektirovaniya-prodolnyh-strujnyh-sistem-ventilyatsii-avtostojanok-zakrytogo-tipa>.

4. Volkov A. P. Prodol'naja sistema dymoudalenija v podzemnyh sooruzhenijah, osnashennyh strujnymi ventiljacionnymi sistemami // S.O.K. Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie. 2013. № 8. S. 82–88.

5. Volkov A. P., Sverdlov A. V. Revers vozdušnogo potoka pri prodol'noj ventiljicii i dymoudalenii podzemnyh i krytyh avtostojanok // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie. 2015. № 1. S. 34–38.

6. Den G. N. Vvedenie v termogazodinamiku real'nyh gazov. Kurs lekcij. SPb., 1998.

7. Kolbin T. S., Kazarinov P. V., Sharhun S. V. Modelirovanie požara s uchetom raboty sistem protivopozharnoj zashhity // Tehnosfernaja bezopasnost'. 2014. № 4(5). S. 10–20.

8. Svod pravil. Sistemy strujnoj ventiljicii i dymoudalenija podzemnyh i krytyh avtostojanok. Pravila proektirovanija.: SP 300.1325800.2017: utv. prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 21 avgusta 2017 g. №1145/pr : oficial'noe izdanie. M., 2017.

УДК 614.844.2

fireman87@bk.ru

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ С ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ
ПОДАЧЕЙ ЖИДКОСТИ****SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM FOR EXPERIMENTAL STUDY
OF PARAMETERS OF DEVICES WITH HIGH-SPEED LIQUID SUPPLY**

*Пахомов Г. Б., кандидат химических наук,
Дульцев С. Н., Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Pakhomov G. B., Dultsev S. N., Tuzhikov E. N.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Создан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости. Проведено экспериментальное определение: расхода, тяги, создаваемой потоком жидкости, скорости подачи и числа Re для коноидальных сопел. Анализ полученных данных показал, что предложенная методика и разработанное программно-аппаратное оформление обеспечивают высокую точность и воспроизводимость проведения измерений. Результаты настоящих исследований позволяют использовать созданный комплекс при разработке и испытаниях устройств распыления жидкости, предназначенных для выполнения работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, распыление жидкости, скорость подачи жидкости, реактивная тяга, сопло.

A software and hardware complex has been created for experimental research of parameters of devices with high-speed liquid supply. An experimental determination of the flow rate, thrust created by the fluid flow, feed rate and Re number for conoidal nozzles was performed. Analysis of the data obtained showed that the proposed method and the developed hardware and software design provide high accuracy and reproducibility of measurements. The results of these studies allow us to use the created complex in the development and testing of liquid spraying devices intended for performing works on prevention and elimination of the consequences of emergencies.

Keywords: software and hardware system, liquid atomization, liquid feed rate, jet thrust, nozzle.

Распыление жидкостей является одним из наиболее распространенных процессов в современной технике [1]. Процессы распыления широко применяются при выполнении работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС в целях: пожаротушения, дегазации, дезинфекции, дезактивации, противоэпиде-

мической, санитарной и другой обработки.

Повышение эффективности применения распыленной жидкости, особенно для указанных целей, требует распыления с высокой дисперсностью значительных количеств жидкости за возможно короткое время, с образованием направленного

высокоскоростного потока. Из многочисленных исследований следует, что степень дисперсности симбатно зависит от скорости подачи жидкости, это объясняется интенсификацией процессов дробления быстролетающей жидкости за счет процессов волнообразования и при ее взаимодействии с газовой средой [2]. Так, например, огнетушащая эффективность воды может быть значительно повышена за счет увеличения ее дисперсности. Однако уменьшение размера капель приводит к необходимости применения более высоких скоростей доставки тонкораспыленной воды к очагу горения, иначе капли просто не успеют достичь горящего материала из-за уноса и испарения в конвективной колонке вблизи очага пожара [3, с. 13]. Таким образом, скорость подачи является одним из важнейших критериев эффективности устройств для распыления жидкости в указанных выше областях применения.

Создание и повышение эффективности устройств для распыления жидкости требует оптимизации многих параметров, зачастую имеющих обратную взаимосвязь, что еще более усложняет эту задачу. Отсюда следует актуальность разработки приборов и методик экспериментального исследования параметров устройств для высокоскоростного распыления жидкостей.

Обзор методов

К настоящему времени имеется много публикаций, посвященных математическому моделированию процессов распыления жидкостей, большинство из которых используют классические положения теории механики сплошных сред [3, с. 58].

Различия в подходах к моделированию заключаются в количестве и качестве учитываемых условий и особенностей процессов распыления. Разнообразие условий и режимов распыления, вклад которых трудно учесть при математическом моделировании, не позволяет с достаточной достоверностью прогнозировать па-

раметры создаваемых устройств без проведения физических экспериментов, особенно это касается сложных и многообразных процессов, протекающих при высокоскоростном двухфазном распылении жидкостей.

В отличие от аналитических методов исследований закономерностей и описания режимов распыления жидкостей, экспериментальным исследованиям посвящено не так много работ. В первую очередь это связано с тем, что определение параметров высокоскоростных потоков в газовых средах, осложненное массообменными процессами и другими факторами, в лабораторных условиях реализовать достаточно сложно; это в полной мере относится и к экспериментальному определению такого важнейшего параметра, как скорость подачи жидкости при ее распылении. Определение скорости подачи жидкости особенно актуально для распылительных устройств с высокой интенсивностью подачи и образованием направленного высокоскоростного потока.

В ГОСТ Р 53291–2009 «Техника пожарная. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Общие технические требования. Методы испытаний» для определения скорости подачи огнетушащей жидкости, «измеряемой на срезе насадка (распылителя)» предлагается использовать видеосъемку с фиксацией времени прохождения струей жидкости расстояния в 1 м [4, с. 13]. Указанный метод не обладает приемлемой достоверностью. Скорость распространения начального фронта струи не соответствует скорости подачи жидкости на выходе из устройства при установившемся режиме распыления. Кроме того, с помощью обычной видеосъемки в высокоскоростном непрерывном потоке невозможно даже оценить скорость подачи.

В других публикациях для определения параметров распыления, включая скорость подачи, используются зондовые и другие методы, в которых общим явля-

ется введение в поток какого-либо регистрирующего устройства [5, 6]. При реализации указанных методов вносятся значительные возмущения в исследуемый поток и зачастую измерения затрагивают только небольшую часть потока, что не позволяет с достаточной степенью точности определить интегральные характеристики всего потока. Последнее замечание справедливо и для различных оптических методов измерения параметров потока распыленной жидкости [7].

Из многочисленных исследований реактивного движения известно, что на расчетном режиме работы реактивного двигателя, интегральная скорость реактивной струи на выходе из сопла двигателя – V (м/с) совпадает с его удельным импульсом – I , также выраженным в м/с. Удельный импульс может быть определен как отношение реактивной тяги – H (Н) к секундному массовому расходу рабочего тела – G (кг/с). Реактивную тягу можно выразить как:

$$H = V \cdot G . \quad (1)$$

Таким образом, удельный импульс как отношение реактивной тяги к массовому расходу определяется как:

$$I = \frac{H}{G} = V . \quad (2)$$

Определение реактивной тяги и удельного импульса по измерению тяги работающего двигателя является одним из самых распространенных методов измерений в реактивной технике [8].

Соотношения (1, 2) следуют из 3-го закона Ньютона и полностью применимы к устройствам для направленного распыления жидкостей.

Экспериментальные исследования по определению скорости потока распыляемой жидкости путем измерения тяги, создаваемой этим потоком немногочисленны, нам удалось найти работу, посвященную непосредственно этому методу измерения, опубликованную в 1975 г. [9].

Экспериментальная часть

Для исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости был создан программно-аппаратный комплекс с компьютерным управлением и регистрацией результатов измерений, основой которого является тензометрический стенд (рис. 1). Работа стенда основана на измерении и передачи в компьютер в режиме реального времени данных: по тяге, создаваемой потоком распыленной жидкости; изменению веса устройства (или количества распыленной жидкости) и количества газа, используемого для распыления; измерению давления перед распылительным соплом и в баке с распыляемой жидкостью.



*Рисунок 1. Часть тензометрического стенда
с установленным на нем устройством для распыления*

Принципиальная схема измерительного комплекса приведена на рис. 2.

В режиме измерений, когда сжатый газ для работы устройства подается от баллона высокого давления (условно не показан на рис. 2), емкость для жидкости устройства соединена рукавом с газовым редуктором, установленным на баллоне высокого давления, стоящем на платформе весов 12, которые соединены дата кабелем с компьютером. Расход газа определяется по изменению веса баллона.

Во время измерений, для исключения влияния переменной жесткости гибких рукавов, идущих к стволу устройства, использовано следующее решение – разместить весы и само устройство непосредственно на вращающейся панели, тем самым влияние изменения жесткости рукавов, ведущих от емкости с жидкостью к стволу устройства, никак не сказывалось на измерениях тяги.

В случае невозможности разместить и взвешивать устройство в процессе измерения, из-за его веса и/или габаритов, рукава, ведущие к стволу устройства, закреплялись в центре вращения панели; тем самым минимизировалось их влияние на измерение тяги. В последнем случае изменение количества распыленной жидкости измерялось в режиме реального времени путем взвешивания приемной емкости 14, в которую собиралась жидкость после распыления.

Для определения влияния жесткости рукавов на измеряемые величины проводились «холостые» опыты – без подачи распыляемой жидкости через ствол, при этом статическое давление перед распылительным соплом устанавливалось равным давлению, которое регистрировалось во время работы устройства на распыление. В диапазоне применяемых избыточных давлений – от 0,13 до 1,03 МПа – влияние изменения жесткости рукавов на измеряемые величины было пренебрежимо мало.

Работа тензометрического стенда

После открытия ствола распылительного устройства, тяга работающего ствола через рычаг и стержень передается

на тензодатчик, который преобразует его в электрические сигналы и передает на компьютер. В процессе измерения на компьютер также передаются сигналы с датчика давления и весов. Все сигналы регистрируются в режиме реального времени.

Благодаря минимальным деформациям тензодатчика – не более 0,5 мм, при его работе в штатном диапазоне измерений, а также настройке всей кинематической системы стенда на максимальную жесткость и отсутствие свободных ходов; механические потери при передаче усилия от работающего ствола на тензодатчик пренебрежимо малы. Для проверки справедливости последнего допущения, а также определения точного значения плеча рычага, периодически проводится калибровка тензоизмерительной системы с помощью эталонных поверенных электронных весов.

Все измерительные средства и приборы, входящие в комплекс, проходят метрологическую поверку, а сам комплекс периодически проходит аттестацию в соответствии с технической документацией.

Ниже приведены основные технические характеристики измерительного оборудования:

- 1) датчик давления MBS 3000. Диапазон измерения от 0 до 60 МПа; погрешность измерения $\leq \pm 0,5 \%$;
- 2) весы ПВ 15/30. Диапазон измерения от 0 до 32 кг; погрешность измерения ≤ 30 г;
- 3) весы ВК-3000. Диапазон измерения от 0 до 5 кг; погрешность измерения $\leq 0,1$ г;
- 4) тензодатчик DLC-S. Диапазон измерения от 0 до 25 кг; погрешность измерения $\leq \pm 1 \%$.

Программная оболочка

Для управления, регистрации параметров распыления и математической обработки результатов была создана специальная программная оболочка. В процессе работы программа анализирует состояние входных сигналов, поступающих в компьютер по интерфейсам RS232. При регистрации на каком-либо из входов значимого события (номер входа и уровень

значимого события программно настраиваются) начинается запись поступающих сигналов с частотой 10 Гц.

На рис. 3 приводится вид основных окон программы после окончания регистрации параметров. Приведенное изображение соответствует режиму распыления, когда сжатый газ для работы устройства подается от ресивера компрессора. Интерфейс программы состоит из описанных ниже основных элементов.

Блоки «Тензодатчик DLC-S», «Весы ПВ 15/30», «Весы ВК-3000», служат для показа состояния измерительных устройств. Зеленый цвет индикатора означает, что устройства подключены и с них штатно принимаются данные. Кнопка «Калибровка» служит для калибровки и выставления «0» тензодатчика. Синие окна показывают текущие значения, регистрируемые измерительными устройствами. Кнопки «т...» служат для занесения в память начальных и конечных показаний весоизмерительных устройств, показания отображаются в соответствующих окнах.

Блок «Измерение» служит для переключения режимов работы – «С ресивером» или «С воздушным баллоном».

Блок «Чувствительность запуска измерения» служит для установки ползунком уровня сигнала тензодатчика. Этот уровень служит для автоматической регистрации и обозначения на графиках временной метки начала процесса распыления – вертикальные желтые линии на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Поле ввода «Время измерения, сек:» служит для ввода предельной длительности измерений по достижении которой запись данных прекращается.

Кнопка «Готовность» служит для начала отсчета времени эксперимента, записи показаний измерительных устройств, построения графиков регистрируемых величин во времени.

Кнопка «Стоп» служит для принудительной остановки: отсчета времени эксперимента, записи показаний измери-

тельных устройств, построения графиков регистрируемых величин во времени.

Кнопка «Сохранить табл» служит для сохранения в файл всего массива данных, зарегистрированных в процессе текущего эксперимента. Файл сохраняется в формате Excel.

Блок «Коэффициенты» служит для ввода и отображения различных параметров эксперимента и постоянных коэффициентов:

Поле ввода «Коэффициент плеча:» служит для ввода плеча рычага, определяемого при калибровке тензоизмерительного стенда.

Поле ввода «Постоянная ресивера:» служит для ввода коэффициента пропорциональности равному отношению объемов основного и измерительного ресиверов.

Окно «Масса воды в баке, г:» показывает общее количество жидкости, находящейся в баке распылительного устройства.

Окно «Время измерения, с:» показывает промежуток времени между началом и завершением процесса распыления, что соответствует расстоянию по оси времени между вертикальными желтой и белой линиями на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Поле ввода «Отсечка, г» служит для ввода уровня сигнала тензодатчика, ниже которого происходит автоматическая регистрация и обозначение на графиках временной метки окончания процесса распыления – вертикальные белые линии на графиках «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30».

Окно «Pn, атм:» показывает начальное давление перед распылительным соплом или в баке устройства.

Окно «Pk, атм:» показывает конечное давление перед распылительным соплом или в баке устройства.

Окно «H, г:» показывает максимальное значение тяги, создаваемой потоком жидкости за все время эксперимента.

Кнопка «Отчет» служит для математической обработки и вывода на экран основных результатов определения параметров распыления.

Кнопки «Настроить» и «Подключить» служат для настройки и подключения измерительных устройств с выводом соответствующих окон.

Для текущего режима отображения в окнах «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30» выводятся графики зависимости тяги и веса устройства от времени. Для других режимов возможно отображение зависимостей других параметров от времени.

Блок «Время измерения в секундах (данные DLC-S)» служит для отображения

и, при необходимости, установки начальной и конечной меток времени, отображаемых на графиках в виде вертикальных сплошных линий. Здесь же имеются кнопки для автомасштабирования и вывода графиков на печать.

Блок «Интервал усреднения в секундах (данные DLC-S)» служит для отображения и, при необходимости, установки начальной и конечной меток временного интервала, внутри которого после математической обработки происходит определение параметров распыления. Указанные метки отображаются на графиках в виде вертикальных пунктирных линий.

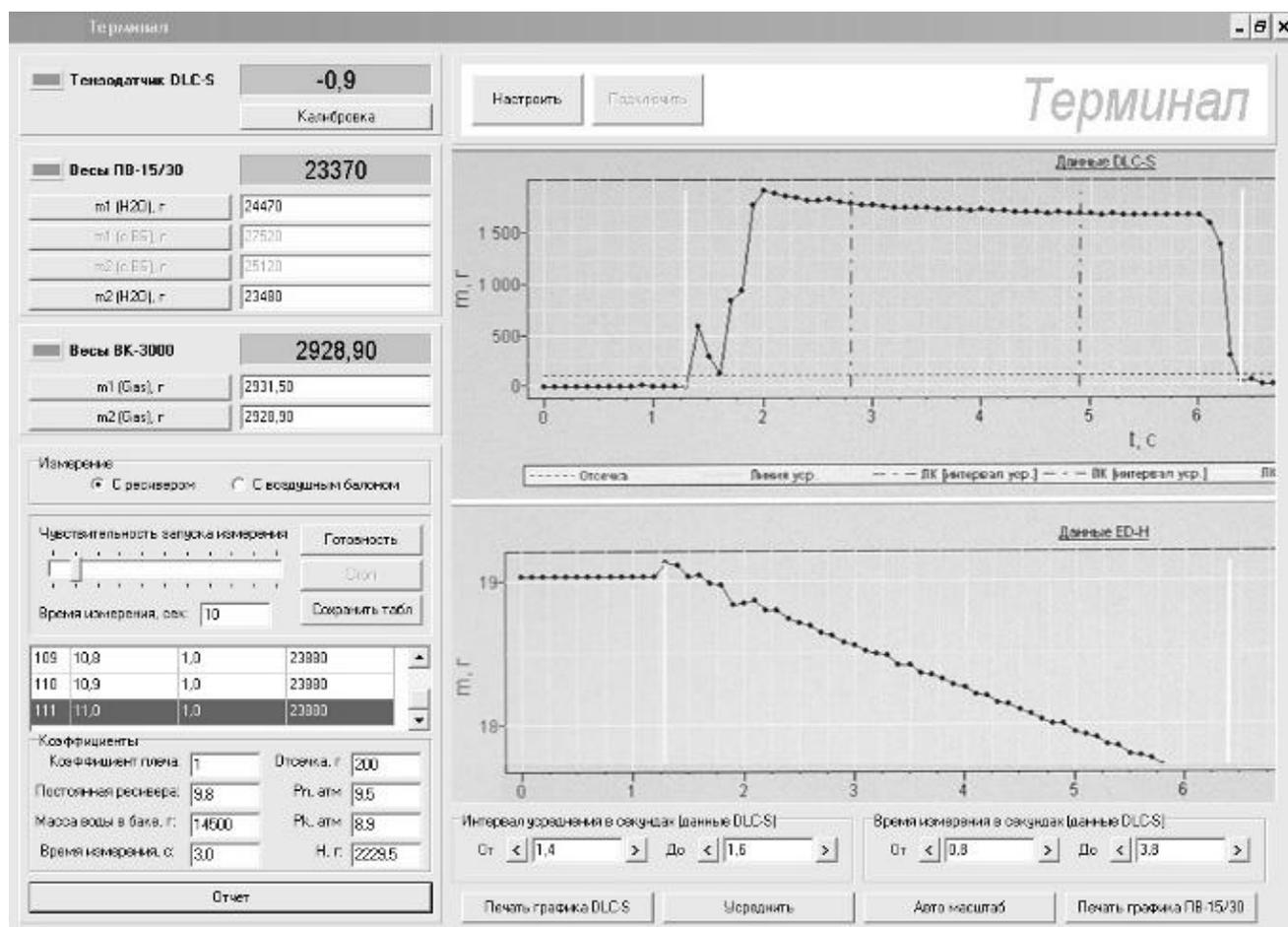


Рисунок 3. Вид основных окон программы для управления и измерения параметров

Наличие настраиваемого интервала усреднения позволяет проводить определение «мгновенных» параметров распы-

ления в любом временном интервале эксперимента, что особо значимо для случаев исследования распылительных устройств

с изменяемыми в процессе работы условиями распыления; например, для двухфазных устройств, устройств закачного типа или устройств с газогенерирующим элементом.

Пример последовательности работы комплекса для режима измерений с воздушным ресивером

В бак для жидкости устройства заливается вода. На компьютере запускается программная оболочка управления и регистрации (рис. 3). Нажатием кнопки «m1 (H₂O), г» в окне программы регистрируется вес заполненного устройства. Включается компрессор, который повышает давление в установке до необходимого значения и затем автоматически отключается. Нажатием кнопки «m1 (Gas), г» регистрируется вес заполненного измерительного ресивера 11. Нажатием кнопки «Готовность» запускают измерение, после чего фиксируют пусковой рычаг ствола 7 в нажатом положении. По окончании требуемого времени измерения освобождают пусковой рычаг ствола. В окне программы отобразятся графики измерения тяги и веса устройства от времени – окна: «Данные DLC-S» и «Данные ПВ 15/30», при этом время начала и окончания работы устройства фиксируется автоматически и выводится на графиках в виде вертикальных сплошных линий. Нажатием кнопки «m2 (H₂O), г» регистрируется вес устройства после работы. Нажатием кнопки «m2 (Gas), г» регистрируется вес измерительного ресивера 11 после работы. При необходимости устанавливаются интервалы времени измерения и усреднения в полях ввода блоков «Время измерения в секундах (данные DLC-S)» и «Интервал усреднения в секундах (данные DLC-S)». После подтверждения интервала усреднения нажатием кнопки «Усреднить» нажимается кнопка «Отчет», по которой после математической обработки выводятся на экран основные результаты определения параметров распыления: расход жидкости;

расход воздуха; скорость потока на срезе сопла и т. д. Эти значения можно сохранить в таблице результатов измерений нажав кнопку «Сохранить».

Объекты и условия исследований

С целью определения применимости созданного комплекса для исследований распылительных устройств и адекватного сопоставления полученных результатов с данными, полученными в других работах, был выбран наиболее простой и воспроизводимый объект исследования: подача воды под давлением, создаваемым сжатым газом, из бака через гибкий рукав и коноидальное сопло в атмосферу.

Выбор однофазного истечения из коноидального сопла в атмосферу был сделан из-за того, что коноидальные сопла обладают наименьшими гидравлическими потерями и у них практически отсутствует эффект сжатия струи, следовательно их параметры истечения наиболее легко определяются расчетным путем [6; 10, с. 216].

Сопла, для снижения сопротивления потоку, изготавливались методом 3D-принтинга из полимера с тщательной полировкой внутренней поверхности. Сопла выполнены геометрически подобными. Было изготовлено два сопла с выходными диаметрами – 4 и 6 мм.

Профиль сопла в соответствии с [11, с. 67] выполнен в виде двух сопряженных дуг окружностей, одна из которых – на входе в сопло имеет радиус, равный радиусу выходного отверстия сопла, другая – при переходе к выходному участку сопла имеет радиус, равный диаметру выходного отверстия сопла (рис. 4).

Использованный профиль получен при отношении диаметра выходного отверстия к длине сопла – меньше 0,7, что соответствует предположению об одномерности течения в соплах рассматриваемой формы [12].

На рис. 4 приведен разрез изготовленного сопла с выходным диаметром – d.

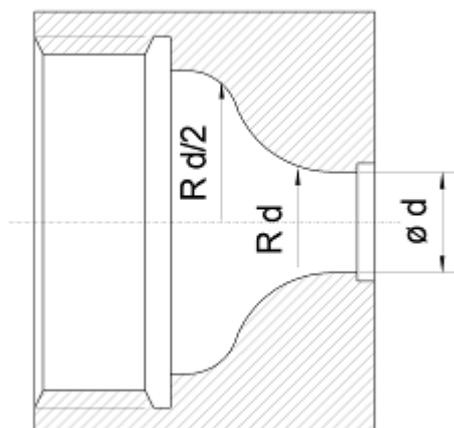


Рисунок 4. Геометрические характеристики исследованных сопел, где d – выходной диаметр

Устройство для подачи воды (рис. 1) представляет собой бак из нержавеющей стали вместимостью 14 л, который соединен с перекрываемым стволом гибким рукавом с внутренним диаметром 18 мм и длиной 1 м. Внутри гибкий рукав имеет гладкую поверхность и, при скоростях водяного потока применяемых в измерениях, может характеризоваться как гидравлически гладкая труба, т. е. толщина ламинарного приповерхностного слоя воды больше высоты выступов шероховатости. В этом случае шероховатость стенок не влияет на характер движения воды и, соответственно, потери напора не зависят от шероховатости [13, с. 154].

Сжатый воздух с регулируемым давлением поступает в бак от газового редуктора через гибкий рукав длиной 1,5 м с внутренним диаметром 10 мм. Коноидальное сопло установлено на выходе из ствола, а сам ствол закреплен на внешнем плече рычага тензометрического стенда. Измерение давления проводится непосредственно перед входом в коноидальное сопло.

Была проведена серия из 60 экспериментов, в которых варьировались давление перед соплом и выходной диаметр сопла. Для каждого давления и диаметра сопла проводилось по 5 измерений. Отклонение результатов определения скорости подачи от средних значений в параллели не превышало $\pm 2\%$.

Все измерения проводились на воде при температуре от 22 до 25 °С и атмосферном давлении от 97,7 до 99,3 кПа. Избыточное давление на входе в сопло изменяли от 0,13 до 1,03 МПа. Диаметры сопел были 4 и 6 мм.

Результаты и обсуждение

Обозначения и исходные данные:

ΔP – избыточное давление на входе в сопло, Па.

G – расход воды, кг/с.

H – тяга создаваемая потоком воды при выходе из сопла, Н.

d – диаметр сопла, м.

S – площадь сопла, м².

V – скорость струи воды на срезе сопла, м/с.

ρ – плотность воды ($\rho = 1000$ кг/м³).

ν – кинематическая вязкость воды ($\nu = 1$ м²/с²).

Re – число Рейнольдса. При определении Re применялась общеизвестная формула:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}. \quad (3)$$

В данном случае область чисел $Re > 5,9 \cdot 10^4$ (числа Re для исследуемых сопел приведены в таблицах 1, 2).

ϕ – коэффициент скорости истечения ($\phi = 0,98$; значение определяется из рис. 5, что соответствует значениям ϕ для

коноидальных сопел, приведенным в других источниках).

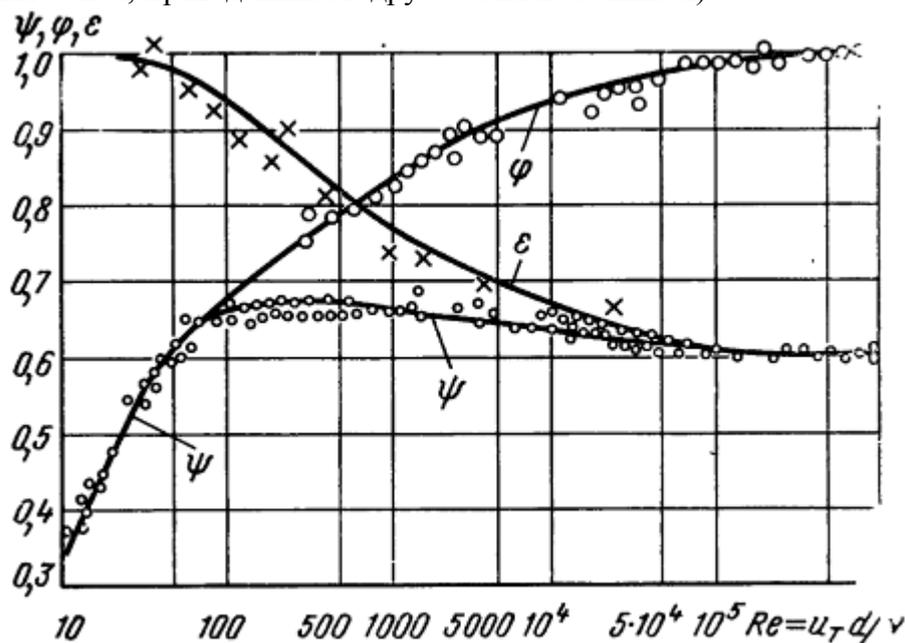


Рисунок 5. Зависимость коэффициентов истечения воды от числа Re [13, с. 166]

Аналитическая зависимость скорости струи – V от избыточного давления на входе в сопло – ΔP может быть получена из уравнения Бернулли в одномерном представлении и является выражением закона Торричелли с учетом коэффициента скорости истечения – φ для применяемых сопел.

$$V = \varphi \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

Другая зависимость скорости струи от избыточного давления на входе в сопло может быть получена из измеренного расхода – G и диаметра сопла – d (таблицы 1,

2) при условиях: несжимаемости жидкости; отсутствия сжатия струи; неразрывности и непрерывности течения. Отсутствие сжатия струи является одной из характеристик коноидальных сопел.

$$V = \frac{4G}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} \quad (5)$$

В таблицах 1 и 2 приведены результаты экспериментального определения: расхода – G, тяги, создаваемой потоком жидкости – H, скорости истечения – V и числа Re для коноидальных сопел различного диаметра – d в зависимости от давления перед соплом – ΔP.

Таблица 1. Результаты определения параметров для сопла с d=4 мм

ΔP, Па	d, м	S, м ²	G, кг/с	H, Н	V, м/с по тяге (ф. 2)	V, м/с по формуле (5)	Re по формуле (3)
131600	4·10 ⁻³	1,26·10 ⁻⁵	0,190	2,95	14,8	15,1	59144
329300	4·10 ⁻³	1,26·10 ⁻⁵	0,326	8,11	25,7	25,9	102612
458300	4·10 ⁻³	1,26·10 ⁻⁵	0,350	10,73	28,8	27,9	115119

681600	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	0,450	16,95	37,3	35,8	149074
817100	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	0,523	19,13	38,4	41,6	153713
1011100	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-5}$	0,548	26,11	47,2	43,6	188617

Таблица 2.
Результаты определения параметров для сопла с $d=6$ мм

ΔP , Па	d , м	S , m^2	G , кг/с	H , Н	V , м/с по тяге (ф. 2)	V , м/с по формуле (5)	Re по формуле (3)
146500	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	0,460	8,10	17,6	16,3	105682
291800	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	0,676	16,64	24,9	23,9	149150
491700	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	0,799	26,97	31,0	28,3	186236
639600	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	0,991	35,08	35,4	35,1	212407
832400	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	1,164	47,92	42,4	41,2	254310
1025700	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	1,268	53,48	42,6	44,8	255666

На рис. 6 для исследуемых сопел диаметром – d приведены эксперимен-

тальные зависимости расхода – G от давления перед соплом – ΔP .

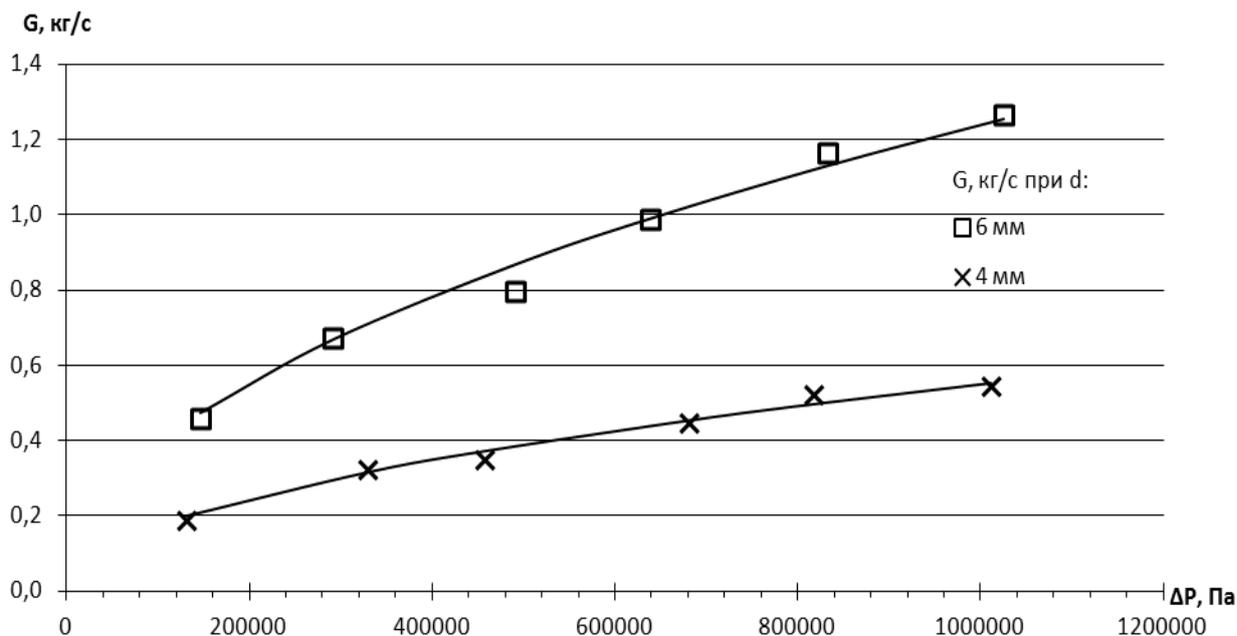


Рисунок 6. Экспериментальные зависимости расходов воды от давления перед соплами

На рис. 7 для исследуемых сопел диаметром – d приведены расчетные и экспериментальные зависимости скорости

струи воды – V от давления перед соплом – ΔP .

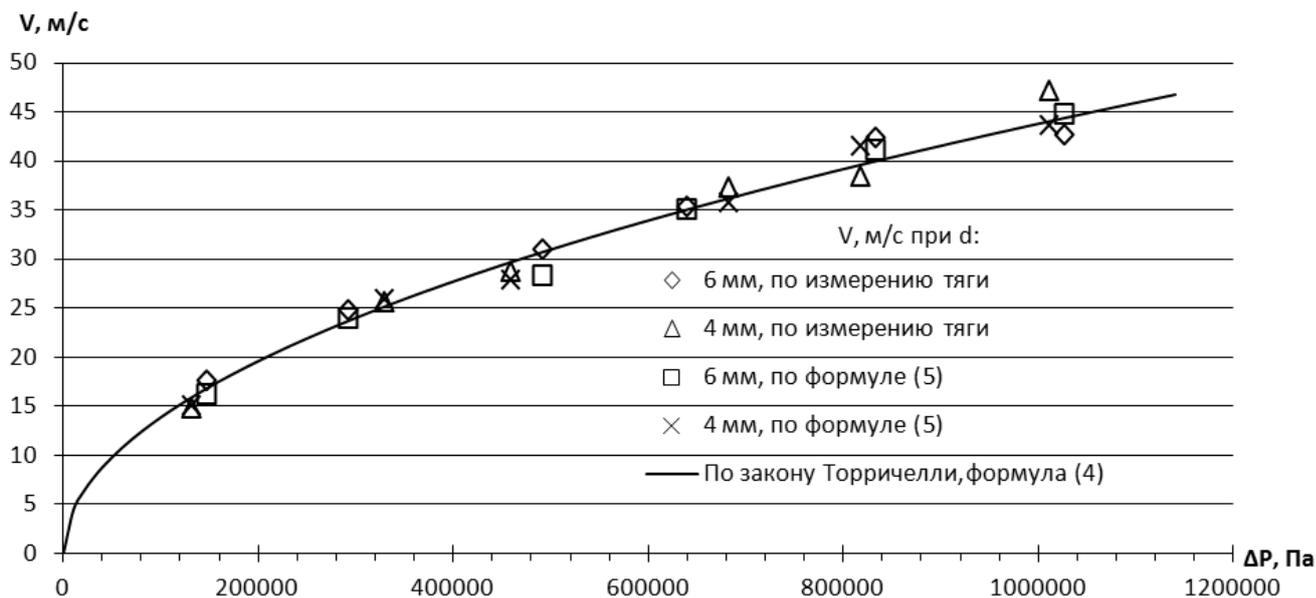


Рисунок 7. Расчетные и экспериментальные зависимости скорости струи воды от давления перед соплом

Сопоставление скоростей струй, определенных различными методами, показало хорошую сходимость между экспериментальными и расчетными данными. Отличие экспериментальных значений скорости струи от расчетных незначительно и находится в диапазоне погрешности измерений.

Из сравнения зависимостей скорости струи и тяги от давления, полученных

в настоящем исследовании (таб. 1 и 2, рис. 7) с данными, приведенными в других работах: кривые 3 и 4 из рисунка 8 [6], данные по силе реакции струи воды для круглых сопел [14, с. 56], можно заключить, что экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, хорошо согласуются с общеизвестными исследованиями и теоретическими зависимостями.

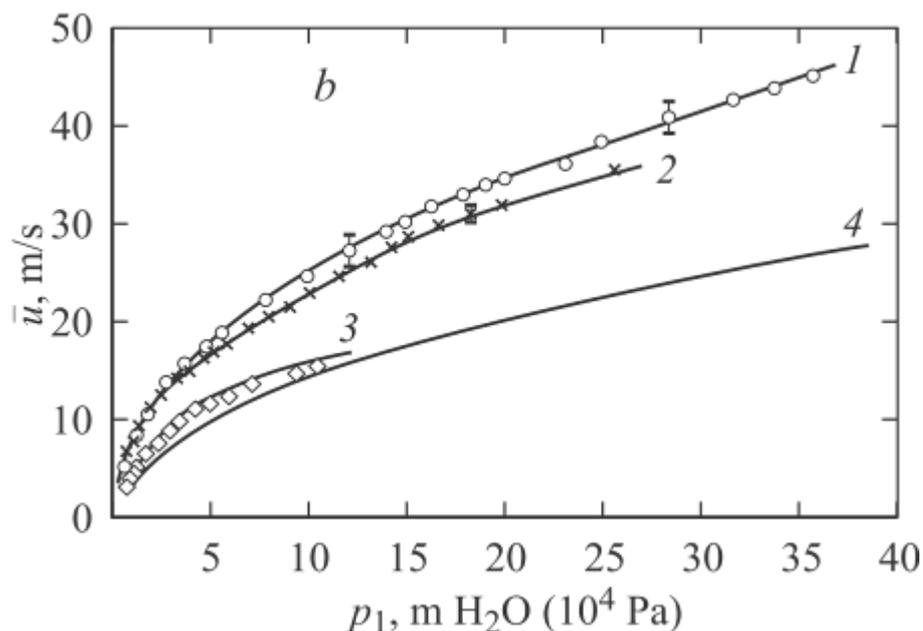


Рисунок 8 [6]. Расчетные и экспериментальные зависимости скорости струи воды от давления для коноидальных сопел: кривая 3 – по формуле (5); кривая 4 – по закону Торричелли (формула 4) без учета коэффициента скорости истечения – ϕ

Выводы

1. Создан программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования параметров устройств с высокоскоростной подачей жидкости.

2. Проведено экспериментальное определение: расхода, тяги, создаваемой потоком жидкости, скорости подачи и числа Re для коноидальных сопел различного диаметра в зависимости от давления перед соплом. Анализ полученных данных показал, что предложенная методика и

разработанное программно-аппаратное оформление обеспечивают высокую точность и воспроизводимость проведения измерений.

3. Результаты настоящих исследований позволяют использовать созданный комплекс при разработке и испытаниях устройств распыления жидкости, предназначенных для выполнения работ по предотвращению и ликвидации последствий ЧС.

Литература

1. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М., 1984. 256 с.
2. Душкин А. Л., Карпышев А. В., Сегель М. Д. Оптимизация параметров потоков тонкораспыленных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 1. С. 39–44.
3. Ципенко А. В. Теория и методы повышения эффективности противопожарных систем на воздушном транспорте: дис. докт. тех. наук: 05.26.02. М., 2006. 354 с.
4. ГОСТ Р 53291–2009 Техника пожарная. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2009. 26 с.
5. Воронцов А. В. Методология проведения зондовых измерений в высококонцентрированных газодисперсных потоках и обработка их результатов // Компрессорная техника и пневматика. 2003. № 1. С. 33–36.
6. Котоусов Л. С. Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией // Журнал технической физики. 2005. Т. 75, № 9. С. 8–14.
7. Баталов В. Г., Степанов Р. А., Сухановский А. Н. Оптические измерения размеров капель в факеле распыла топливной форсунки // Вестник Пермского университета. Физика. 2017. № 3 (37). С. 40–47.
8. Попов В. Г., Ярославцев Н. Л. Жидкостные ракетные двигатели. М., 2001. 171 с.
9. Zable J. L. A sensitive thrust-measuring device // Experimental Mechanics. 1975. No 15. P. 365–

368.

10. Иванов Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М., 1990. 384 с.
11. Лаврухин Г. Н. Аэрогазодинамика реактивных сопел. Т. 1. Внутренние характеристики сопел. М., 2003. 376 с.
12. Виноградов Л. В., Лотфулин Ш. Р. Исследование геометрических параметров сопла с контуром Витошинского // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. 2004, № 2 (9). С. 44–49.
13. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика. М., 1981. 374 с.
14. Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. М., 2013. 352 с.

References

1. Pazhi D. G., Galustov V. S. Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostej. M., 1984. 256 s.
2. Dushkin A. L., Karpyshev A. V., Segel' M. D. Optimizaciya parametrov potokov tonko-raspylennyh ognetchashchih veshchestv // Pozharovzryvobezopasnost'. 2010. T. 19, № 1. S. 39–44.
3. Cipenko A. V. Teoriya i metody povysheniya effektivnosti protivopozharnyh sistem na vozдушном transporte: dis. dokt. tekhn. nauk: 05.26.02. M., 2006. 354 s.
4. GOST R 53291–2009 Tekhnika pozhnaya. Perenosnye i peredvizhnye ustrojstva pozharotusheniya s vysokoskorostnoj podachej ognetchashchego veshchestva. Obschie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. M., 2009. 26 s.
5. Voroneckij A. V. Metodologiya provedeniya zondovyh izmerenij v vysokokoncentrirovannyh gazodispersnyh potokah i obrabotka ih rezul'tatov // Kompessornaya tekhnika i pnevmatika. 2003. № 1. S. 33–36.
6. Kotousov L. S. Issledovanie skorosti vodyanyh struj na vyhode sopel s razlichnoj geometriey // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. 2005. T. 75, № 9. S. 8–14.
7. Batalov V. G., Stepanov R. A., Suhanovskij A. N. Opticheskie izmereniya razmerov ka-pel' v fakele raspyla toplivnoj forsunki // Vestnik Permskogo universiteta. Fizika. 2017. № 3 (37). S. 40–47.
8. Popov V. G., YAroslavcev N. L. ZHidkostnye raketnye dvigateli. M., 2001. 171 s.
9. Zable J. L. A sensitive thrust-measuring device // Experimental Mechanics. 1975. No 15. P. 365–368.
10. Ivanov E. N. Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoj zashchity. M., 1990. 384 s.
11. Lavruhin G. N. Aerogazodinamika reaktivnyh sopel. T. 1. Vnutrennie harakteristiki sopel. M., 2003. 376 s.
12. Vinogradov L. V., Lotfulin SH. R. Issledovanie geometricheskikh parametrov sopla s konturom Vitoshinskogo // Vestnik RUDN, ser. Inzhenernye issledovaniya. 2004, № 2 (9). S. 44–49.
13. Sergel' O. S. Prikladnaya gidrogazodinamika. M., 1981. 374 s.
14. Gorban' YU. I. Pozharnye roboty i stvol'naya tekhnika v pozharnoj avtomatike i pozhar-noj ohrane. M., 2013. 352 s.