

**ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы МЧС России**

На правах рукописи

Сорокин Игорь Александрович

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ
НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Поляков Александр Степанович

Санкт-Петербург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1 Состояние вопроса, обоснование цели и научной задачи исследования ..	11
1.1 Виды огнетушителей, применяемых в Российской Федерации.....	11
1.2 Анализ разработок перспективных конструкций порошковых огнетушителей	19
1.3 Анализ методик сертификационных испытаний огнетушителей	29
1.4 Обоснование цели и научной задачи исследования	33
Выводы по Главе 1	34
Глава 2 Обоснование требований и разработка конструкции порошковых огнетушителей	35
2.1 Теоретические предпосылки экспериментального исследования	35
2.2 Требования к показателям назначения порошковых огнетушителей	37
2.2.1 Длина струи огнетушащего порошка.....	38
2.2.2 Остаток заряда в порошковом огнетушителе	42
2.2.3 Давление в корпусе порошкового огнетушителя	45
2.2.4 Огнетушащая способность порошкового огнетушителя	46
2.3 Конструкции сосудов для содержания порошка	47
2.3.1 Конструкции сосудов и систем транспортировки огнетушащего порошкового состава	49
2.3.2 Влияние параметров системы транспортировки ОПС на величину остатка порошка	52
2.3.3 Влияние энергии газа-вытеснителя на изменение массы остатка огнетушащего порошка	63
Выводы по Главе 2	65
Глава 3 Экспериментальное обоснование и разработка конструкции испытательного стенда для оценки эффективности порошковых огнетушителей	67

3.1 Выбор горючего для МОП стенда испытания огнетушителей	67
3.1.1 Размещение горючей нагрузки на объектах нефтегазовой отрасли	67
3.1.2 Обеспечение огнетушителями объектов нефтегазовой отрасли.....	69
3.2 Обоснование требований к стенду для испытаний	71
3.2.1 Форма и характеристики модельного очага пожара	74
3.2.2 Расход газа в МОП и распределение пламени по корпусу	80
3.3 Модель стенда для испытания порошковых огнетушителей	91
3.3.1 Описание авторской модели стенда для испытания порошковых огнетушителей.....	94
3.3.2 Подготовка стенда к испытаниям порошковых огнетушителей.....	97
3.3.3 Работа стенда для испытания порошковых огнетушителей.....	98
3.4 Экономическое обоснование характеристик стенда для испытаний порошковых огнетушителей	99
Выводы по Главе 3	104
Глава 4 Экспериментальное исследование эффективности полноразмерных порошковых огнетушителей	106
4.1 Модель порошкового огнетушителя.....	106
4.2 Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.	108
4.3 Результаты экспериментального сравнения эффективности порошковых огнетушителей при тушении нефтепродуктов.....	111
4.3.1 Тушение стандартного МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта, сертифицированными порошковыми огнетушителями	111
4.3.2 Тушение стандартного МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта, экспериментальными порошковыми огнетушителями	118

4.3.3 Тушение МОП-ЭГ на разработанной модели стенда для испытания огнетушителей	120
Выводы по Главе 4	127
Заключение	129
Список сокращений и условных обозначений	131
Список литературы	132
Приложение А	145
Приложение Б	150
Приложение В.....	152

Введение

Актуальность темы исследования. Пожарная безопасность объектов в обязательном порядке обеспечивают системами противопожарной защиты, которые направлены на защиту людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение его последствий, реализуемые, в том числе, применением объемно-планировочных решений, автоматических установок пожаротушения, систем коллективной защиты и первичных средств пожаротушения [1].

Обеспечение пожарной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли является одной из составных частей безопасности в целом. Объекты переработки нефти и газа (содержащие резервуарные парки, установки очистки, компрессорные станции), товарно-сырьевые базы (ТСБ) и автомобильные заправочные станции (АЗС), осуществляющие транспортировку и хранение нефтепродуктов и газа, также подлежат обязательной противопожарной защите.

Автоматическими установками пожаротушения защищают не каждый объект. В этих случаях защиту различного рода помещений или территорий осуществляют, в основном, огнетушителями [2]. Поэтому, они должны быть надежными и эффективными, так как тушение пожара на начальных стадиях его развития значительно сокращает материальный ущерб и снижает возможность предотвращения серьезных последствий. Нормативными документами [2, 3] не предусмотрен конкретный вид огнетушителей (в зависимости от заряженного огнетушащего вещества, которыми должны оснащаться АЗС), а определено лишь их количество и конструктивное исполнение (переносные или передвижные) в зависимости от количества топливораздаточных колонок и заправляемых транспортных средств.

Наиболее универсальными и самыми распространенными являются порошковые огнетушители, которые в России составляют более 50 % от общего количества сертифицированных видов. Несмотря на широкое распространение, одним из существенных недостатков порошковых огнетушителей является

большое количество порошка, остающегося в корпусе после применения. Наиболее частой причиной этого являются конструктивные недостатки системы транспортировки и выпуска огнетушащего вещества.

Более того, при оценке огнетушащей способности огнетушителей допускается принимать за положительный результат тушение двух модельных очагов пожара из трех [4]. Таким образом, изначально существует возможность недостаточно эффективной работы одного из трех огнетушителей. Необходимо признать, что стандартный метод определения огнетушащей способности нуждается в совершенствовании, в том числе, из-за возможного субъективного влияния оператора-испытателя на получаемые результаты. В совокупности, это указывает на актуальность совершенствования не только конструкции, но и метода испытаний порошковых огнетушителей.

Научная актуальность исследования вызвана несовершенством методов расчета и оценки эффективности элементов конструкции порошковых огнетушителей, многообразием модельных очагов различных классов и рангов, влиянием субъективного фактора на результаты испытаний.

Тема исследования приобретает особую актуальность в связи с реализацией «Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» (утверждены Указом Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2) [5], которыми предусмотрено повышение защищенности населения и объектов путем разработки эффективных технологий и средств тушения пожаров.

Степень разработанности темы. В работах ученых и специалистов в области пожарной безопасности (Абдурагимов И. М., Баратов А.Н., Куприн Г.Н., Пивоваров В.В. и др.) вопросы дальнейшего развития конструкции порошковых огнетушителей, необходимости совершенствования стенда для натурных огневых испытаний и методики оценки их эффективности не нашли специального рассмотрения [6-9].

В Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России с 2006 года ведутся теоретические [10, 11] и прикладные [12, 13] исследования в области разработки [14] и совершенствования [15, 16] конструкций порошковых огнетушителей. Опыт, знания и навыки, полученные при проведении многочисленных натурных испытаний огнетушителей, показали целесообразность продолжения исследований в области:

развития методов оценки характеристик порошковых огнетушителей, в том числе наиболее перспективных (с пористой емкостью для хранения огнетушащего вещества);

разработки методов огневых испытаний порошковых огнетушителей на основе универсального модельного очага пожара, обеспечивающего достоверность и стабильность результатов оценки, большее удобство в работе, снижение влияния субъективизма лиц, проводящих испытания;

совершенствования методики оценки эффективности порошковых огнетушителей в части их огневых испытаний.

Цель исследования – повышение достоверности оценки эффективности порошковых огнетушителей для защиты людей и имущества от пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.

Объект исследования – начальная стадия тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.

Предмет исследования – оценка эффективности применения первичных средств порошкового пожаротушения на объектах нефтегазовой отрасли.

В диссертационном исследовании поставлена и решена актуальная **научная задача**, заключающаяся в разработке методики оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.

Для достижения цели работы предполагалось решить следующие частные **задачи**:

исследовать особенности конструкций порошковых огнетушителей путем выявления параметров, влияющих на их эффективность при тушении пожаров;

разработать модель стенда для огневых испытаний и оценить путем моделирования очага пожара влияние параметров порошковых огнетушителей на эффективность процесса тушения;

разработать методику оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли позволяющую повысить достоверность и точность результатов.

Научная новизна результатов исследования:

определены закономерности организации движения огнетушащего порошкового состава, отличающиеся от других тем, что перемещение осуществляется несколькими отдельными изолированными параллельными потоками;

предложена модель стенда для испытания огнетушителей, отличающаяся от других применением единого типа модельного очага пожара, имеющего требуемую мощность тепловыделения;

предложена методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли, отличающаяся от других применением оригинального стенда для огневых испытаний огнетушителей.

Теоретическая значимость полученных научных результатов диссертации заключается в:

аналитически описанных изменениях величины остатка порошка в корпусе огнетушителя от характеристик его вытесняющего тракта (диаметра трубки, соединяющей коллектор и запорно-пусковое устройство, энергии газавытеснителя), позволяющих прогнозировать эффективность огнетушителя;

определении условий равенства моделируемого и реального тепловых потоков пожаротушения при огневых испытаниях огнетушителей;

введении комплексного показателя оценки эффективности порошковых огнетушителей на основе аналитических, экспериментальных и численных исследований.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов состоит в:

разработке конструкции порошковых огнетушителей, существенно уменьшающей возможности перемещения частиц огнетушащего порошкового состава в других направлениях, что исключает излишние затраты энергии;

разработке конструкции испытательного стенда для оценки соответствия огнетушителей установленным требованиям, обеспечивающего требуемую достоверность и точность измеряемых показателей;

подтверждении повышения эффективности порошковых огнетушителей путем применения методики оценки их эффективности при тушении пожаров на объектах нефтегазовой, позволяющей повысить достоверность и точность результатов.

Методы исследования: экспериментально–теоретическое представление процесса тушения пожара на основе общенаучных (аналогия, системный анализ, анализ размерностей) и специальных методов (испытания огнетушителей, математическая обработка результатов) познания.

Положения, вынесенные на защиту:

закономерности, комплексно характеризующие влияние конструкции порошкового огнетушителя на эффективность тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли;

характеристики и модель стенда огневых испытаний порошковых огнетушителей, повышающие достоверность и точность измеряемых показателей;

методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с учетом результатов стендовых огневых испытаний.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных результатов подтверждена существенным объемом экспериментальных исследований, математической обработкой результатов и обеспечена применением известных методов теоретического и экспериментального исследований (с доверительной вероятностью не менее 0,95 и относительной погрешностью не более $\pm 5\%$) с использованием средств измерений, прошедших метрологическую поверку, а также всесторонней общественной апробацией научных результатов.

Основные результаты работы внедрены:

в образовательный процесс Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России при изучении дисциплины «Пожарная техника»;

в научно-исследовательскую деятельность испытательной лаборатории «Независимый испытательный центр пожарной безопасности» Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России при проведении огневых испытаний сравнительных и оценочных характеристик огнетушителей;

в практическую деятельность испытательной лаборатории общества с ограниченной ответственностью «НОРМАТЕСТ» при оценке эффективности создаваемых конструкций порошковых огнетушителей, проведении предварительных испытаний и сравнительном анализе с существующими сертифицированными в области пожарной безопасности образцами.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 16 научных работ, из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента на полезные модели и 7 в материалах конференций.

Глава 1 Состояние вопроса, обоснование цели и научной задачи исследования

Обоснование цели и формулирование научной задачи исследования обоснованы после рассмотрения общей ситуации (состояния вопроса) с огнетушителями в России, поэтому они выполнены в указанной последовательности.

1.1 Виды огнетушителей, применяемых в Российской Федерации

Огнетушители, как первичные средства пожаротушения, должны иметь обязательное подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности на территории Российской Федерации, осуществляемое в форме обязательной сертификации по схемам 2с – 6с [1], которые включают в себя испытания типового образца продукции в аккредитованной испытательной лаборатории.

Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация) [17] осуществляет контроль деятельности аккредитованных лиц, в том числе испытательных лабораторий и центров, занимающихся проведением испытаний в области пожарной безопасности с целью подтверждения соответствия продукции предъявляемым требованиям.

Огнетушители являются самым распространенным типом первичных средств пожаротушения. Ежегодно процедуру подтверждения соответствия продукции предъявляемым требованиям проходят десятки различных образцов огнетушителей, как российских производителей, так и иностранных. Количество сертифицированных видов огнетушителей за период с 2012 по 2019 год представлено в Таблице 1.1 [17].

Таблица 1.1 – Количество сертифицированных видов огнетушителей

Вид огнетушителя	Количество видов сертифицированных огнетушителей за отчетный период (год), ед.								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Всего
порошковый	113	79	88	40	85	18	35	44	502
углекислотный	44	18	14	43	9	9	11	6	154
воздушно- пенный	16	2	17	8	18	43	15	9	128
хладоновый	4	2	0	0	4	6	2	0	18
воздушно- эмульсионный	0	9	17	1	0	34	9	10	80
прочие виды	1	1	3	0	2	1	0	4	12
Всего за год	178	111	139	92	118	111	72	73	894

Данные Таблицы 1.1 включают сведения о количестве сертифицированных огнетушителей, имеющих действующий сертификат соответствия. Огнетушители с другими статусами сертификатов соответствия (приостановлен, прекращен, продлен) не учтены. Сведения единого реестра сертификатов соответствия [17] о результатах общего количества сертифицированных огнетушителей, позволяют сделать вывод о наиболее востребованных видах. Процентное соотношение между видами огнетушителей показано на Рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 Соотношение сертифицированных огнетушителей
за период с 2012 по 2019 годы

Результаты анализа сертифицированных за данный период времени огнетушителей показали, что подавляющее большинство огнетушителей составляют: воздушно-пенные, углекислотные и порошковые. При этом количество сертифицированных порошковых огнетушителей более чем в три раза превышает количество воздушно-пенных и углекислотных.

Также определено, что основная часть от общего числа имеет следующее исполнение:

по принципу создания избыточного давления газа для вытеснения огнетушащего вещества – закачного типа;

по возможности перезарядки – перезаряжаемые (многократного использования).

Таким образом, при исследовании необходимо ориентироваться на виды и типы огнетушителей, получивших наибольшее распространение: перезаряжаемые воздушно-пенные, углекислотные и порошковые огнетушители закачного типа.

Воздушно-пенные огнетушители (Рисунок 1.2) до недавнего времени были самыми распространенным видом. Они обладают следующими преимуществами:

возможностью успешного тушения пожаров классов А, В, С;
 простотой и удобством применения;
 низкой стоимостью владения (низкая начальная цена огнетушителя и доступная стоимость обслуживания).

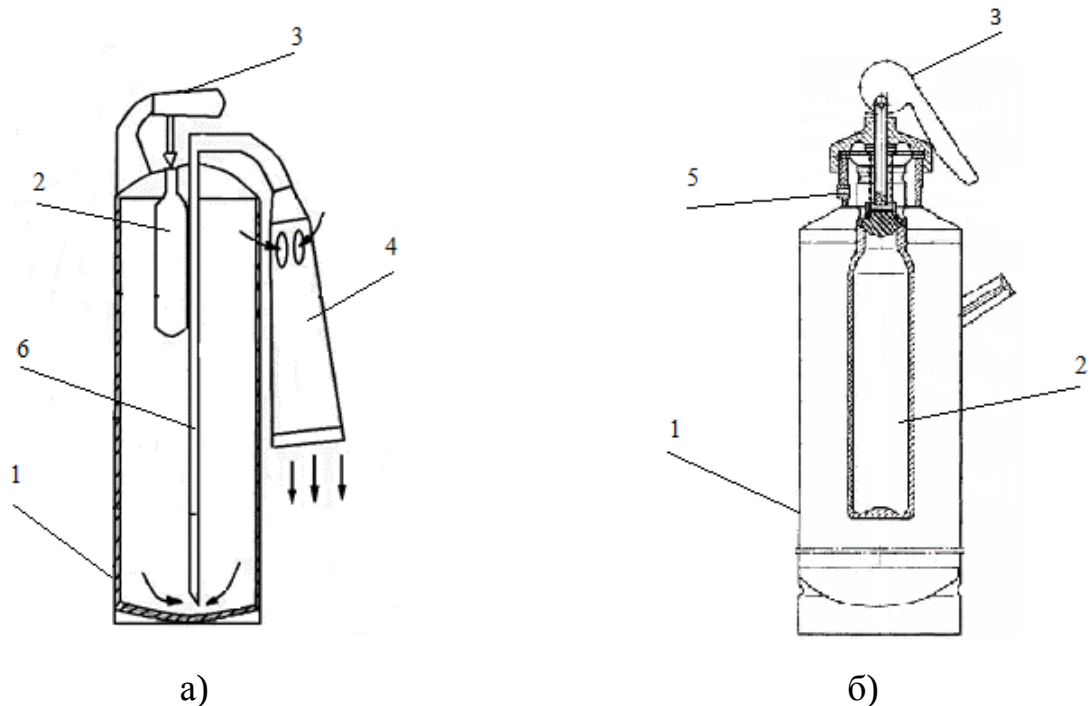


Рисунок 1.2 – Варианты исполнения воздушно-пенных огнетушителей:

- а) воздушно-пенный огнетушитель, оснащенный баллоном с рабочим газом;
 б) химически-пенный огнетушитель; 1 – корпус огнетушителя; 2 – пусковой баллон/кислотный стакан; 3 – рукоятка/рычаг; 4 – раструб; 5 – диффузор/спрыск; 6 – сифонная трубка

Наряду с очевидно выгодными моментами применения огнетушителей этого вида, существует целый ряд недостатков, которые привели к тому, что воздушно-пенные огнетушители становятся менее востребованными:

малый температурный диапазон хранения и применения (только при положительных температурах окружающей среды);

малый период между перезарядками огнетушащего вещества (большинство огнетушителей требуют перезарядки не реже одного раза в два года);

коррозия корпуса;

необходимость прочистки выпускного отверстия перед использованием;
значительная масса заряженного и готового к применению огнетушителя;
не подходят для тушения возгораний класса Е (электроустановки под напряжением) и щелочных металлов.

Однако продолжается интенсивное развитие этого направления, и осуществляется внедрение новых конструкций данного вида огнетушителей, лишенных части недостатков предыдущих моделей. Одним из перспективных и эффективных является огнетушитель твердопеноного тушения, использующий в качестве огнетушащего вещества водный раствор смеси силиката щелочного металла, пенообразующее поверхностно-активное вещество и водный раствор уксусной кислоты [18], разработанный ООО «НПО СОПОТ» [19]. Общий вид огнетушителя представлен на Рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Огнетушитель твердопеноного тушения: 1 – распределительное устройство; 2 – запорно-пусковой механизм; 3 – корпус огнетушителя; 4 – рукав подачи компонентов

Углекислотные огнетушители (Рисунок 1.4) являются одним из самых распространенных видов огнетушителей, его можно считать универсальным за счет достоинств:

возможность тушения пожаров классов А, В, С и Е, включая возгорания электрооборудования под напряжением до 1000 В;

тушение возгорания не приводит к загрязнению объектов и помещений;

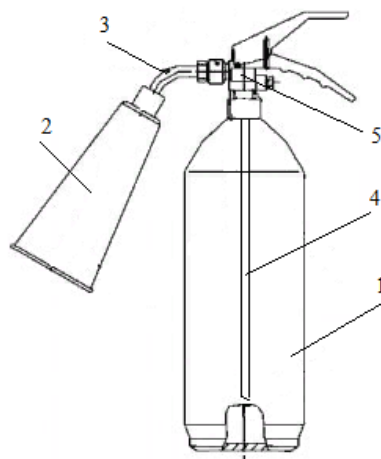
широкий температурный диапазон хранения и применения;

высокая эффективность тушения пламени очага горения;

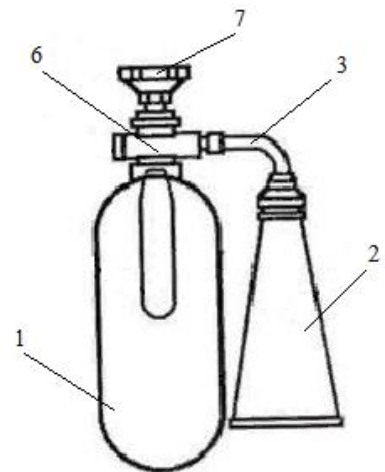
длительный период между перезарядками огнетушащего состава (один раз в пять лет или после использования);

простота и удобство применения;

доступная стоимость владения (низкая начальная цена огнетушителя и доступная стоимость обслуживания).



а)



б)

Рисунок 1.4 – Варианты исполнения углекислотных огнетушителей:

а) углекислотный огнетушитель закачного типа; б) углекислотный огнетушитель, оснащенный баллоном с рабочим газом; 1 – корпус огнетушителя; 2 – раструб; 3 – выкидная трубка; 4 – сифонная трубка; 5 – запорно-пусковое устройство; 6 – предохранительная мембрана; 7 – вентиль

Как и в случае с воздушно-пенными огнетушителями, для углекислотных также есть нюансы в использовании и эксплуатации:

ограниченные возможности при тушении пожаров класса А (горение твердых веществ, сопровождаемое тлением, например, дерева, угля, бумаги);

температурный диапазон применения может быть ограничен за счет невозможности их применения для тушения оборудования, имеющего высокие рабочие температуры (выход из строя оборудования, возможное загорание вследствие резкого перепада температур);

возможность обморожения открытых участков кожи человека элементами огнетушителя (также нельзя тушить горящую одежду на человеке);

при отрицательных температурах окружающей среды снижается эффективность;

применение в помещениях с малым объемом может привести к кислородному голоданию из-за резкого повышением уровня углекислого газа в окружающей среде;

значительная масса заряженного и готового к применению огнетушителя.

Порошковые огнетушители (Рисунок 1.5) заслуженно получили наибольшее распространение в России [17] из-за большого спектра достоинств, относительно других видов, заключающихся в следующем:

универсальность (обеспечивается возможность успешного тушения пожаров классов А, В, С и Е, в том числе, возгораний электрооборудования под напряжением до 1000 В);

высокая эффективность тушения пламени очага горения;

широкий температурный диапазон хранения и применения;

длительный период между перезарядками огнетушащего порошка (большинство огнетушителей требуют перезарядки один раз в пять лет или после срабатывания);

простота и удобство применения;

доступная стоимость владения (относительно низкая начальная цена огнетушителя и доступная стоимость обслуживания).

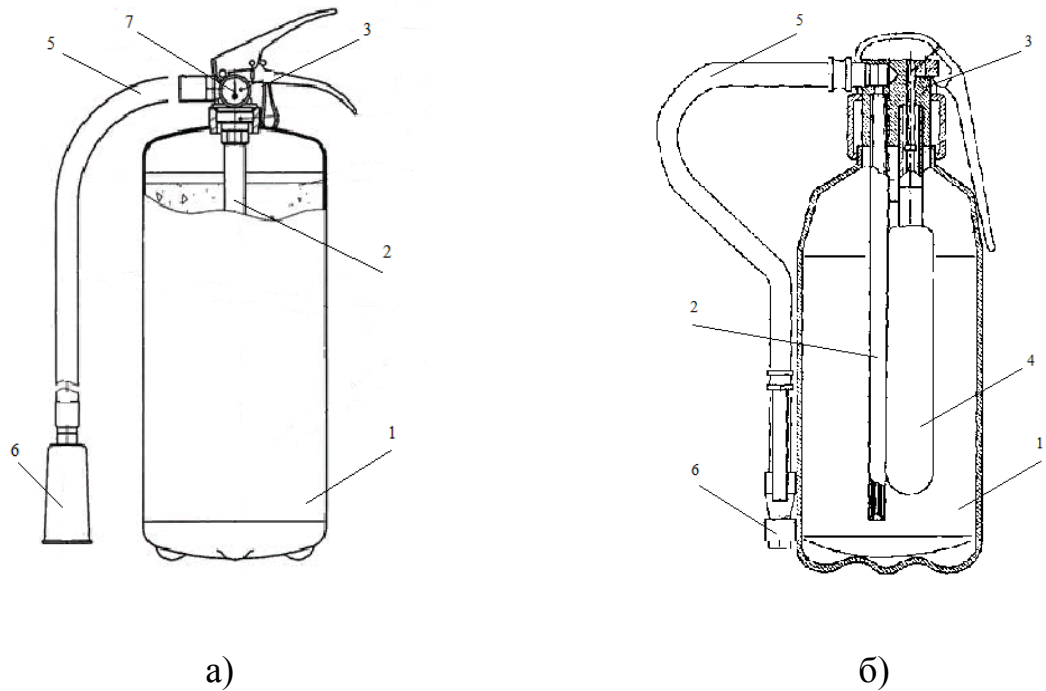


Рисунок 1.5 – Варианты исполнения порошковых огнетушителей:

а) порошковый огнетушитель закачного типа; б) порошковый огнетушитель, оснащенный баллоном с рабочим газом; 1 – корпус огнетушителя; 2 – сифонная трубка; 3 – запорно-пусковое устройство; 4 – баллон с газом; 5 – гибкий рукав; 6 – распылитель; 7 – манометр

Данный вид огнетушителя не лишен, конечно, и недостатков, выражающихся в склонности к слеживаемости порошка, наличии сложноудаляемых мелкодисперсных частиц порошка с поверхностей объектов тушения и ухудшении видимости при применении из-за образовавшегося облака огнетушащего вещества.

Однако в настоящее время у порошковых огнетушителей выявлен еще один недостаток – в подавляющем большинстве огнетушащий состав (порошок) не полностью используется при разрядке огнетушителя. В некоторых случаях масса оставшегося порошка составляет до 40 % и выше от начального заряда (допустимо – не более 15%) [4]. Большое количество остатка порошка является следствием несовершенства существующих конструкций порошковых

огнетушителей (расположение, форма и размеры сифонной трубки, давление в корпусе, направление потоков вытесняющего газа и т.д.).

1.2 Анализ разработок перспективных конструкций порошковых огнетушителей

Исследования конструкций порошковых огнетушителей и их модернизация ведутся постоянно. Основываясь на предыдущих познаниях и опыте, специалисты в области пожарной безопасности предлагают новые и усовершенствованные конструкции порошковых огнетушителей.

Одной из таких отправных точек в развитии данного вида огнетушителей стала конструкция порошкового огнетушителя, в которой его работоспособность обеспечивалась независимо от ориентации в пространстве за счет наличия в коммуникации выдавливания не менее двух открытых входов для порошка и размещенной между клапанной коробки [14].

Этот вариант конструкции порошкового огнетушителя (Рисунок 1.6) решил проблему, которая возникала в других огнетушителях при отклонении их в любую сторону от строго вертикально ориентированного положения в пространстве. При больших углах наклона (более 45°), горизонтальном или перевернутом положении, огнетушащий порошок в корпусе огнетушителя сыпался вниз, тем самым, образуя возможность свободного беспрепятственного выхода газа-вытеснителя. Основная часть огнетушащего порошка при этом оставалась внутри корпуса огнетушителя и не участвовала при тушении очага возгорания. Решение проблемы выхода огнетушащего вещества из порошкового огнетушителя при различных вариантах его пространственной ориентации оказалось важным моментом, который удалось устранить.

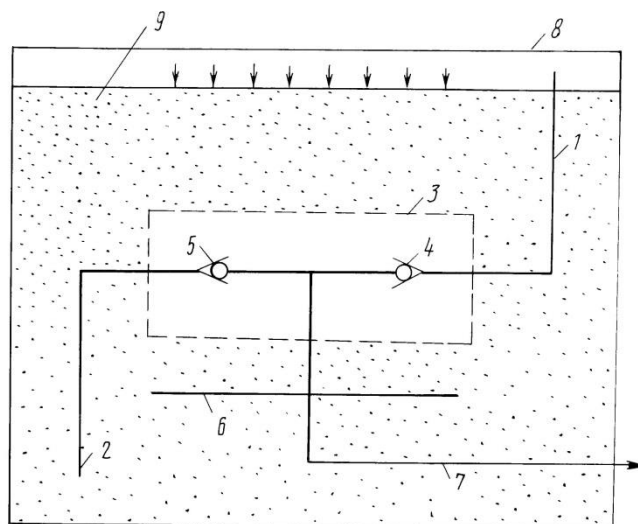


Рисунок 1.6 – Схема порошкового огнетушителя: 1, 2 – входы; 3 – клапанная коробка; 4, 5 – клапаны; 6, 7 – трубопроводы; 8 – корпус; 9 – огнетушащее вещество

Однако эта проблема является не единственной, возникающей при использовании огнетушителей этого вида. Для порошковых огнетушителей, не менее важной задачей в случае его применения, является полнота выхода огнетушащего вещества, напрямую влияющего на эффект тушения. Большая часть предлагаемых технических решений по снижению количества порошка, оставшегося после срабатывания порошкового огнетушителя, сводится к нескольким предложениям:

изменение длины, диаметра и (или) угла среза сифонной трубки, а также различные комбинации их сочетаний;

увеличение объема газа-вытеснителя в корпусе огнетушителя за счет создаваемого давления.

Однако, за редким исключением, масса оставшегося огнетушащего порошка в корпусе огнетушителя составляет значения, близкие к допустимым 15% [4].

Специалистами Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России предложена конструкция порошкового огнетушителя (Рисунок 1.7), содержащая в корпусе отдельный сосуд для хранения огнетушащего порошка [20].

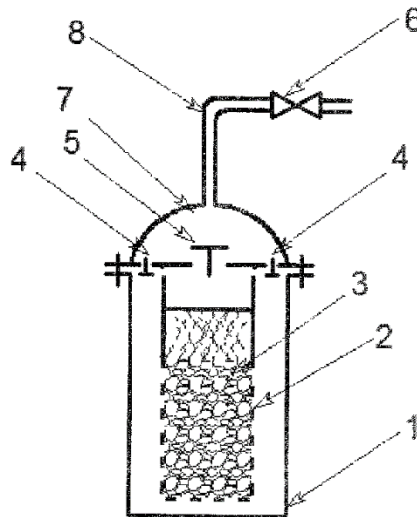


Рисунок 1.7 – Вариант исполнения порошкового огнетушителя с пористой емкостью: 1 – корпус огнетушителя; 2 – сосуд для хранения порошка; 3 – огнетушащий порошок; 4 и 5 – обратные клапаны; 6 – вентиль; 7 – клапанная коробка; 8 – трубка

Такое конструктивное решение позволило применить принципиально иной подход к полноте выхода огнетушащего порошка. За счет того, что оболочка сосуда для хранения порошка состоит из пористого материала, она удерживает и не позволяет высыпаться огнетушащему веществу. Также при этом снижается гидравлическое сопротивление системы транспортировки, что позволяет снизить начальное значение рабочего давления в корпусе огнетушителя. Данные характеристики стали основой исследований предлагаемых конструкций порошковых огнетушителей.

Дальнейшие исследования систем пневматического транспортирования огнетушащего порошка в применяемых и вновь предлагаемых конструкциях порошковых огнетушителей, показали, что между ними имеются принципиальные различия [15] и использование сифонной трубки в существующем виде нецелесообразно [15, 21].

По результатам исследований и анализа предложена конструкция порошкового огнетушителя (Рисунок 1.8), в котором уменьшение остатка

порошка достигается за счет изготовления сосуда для хранения огнетушащего вещества из эластичного упруго-деформируемого материала [22].

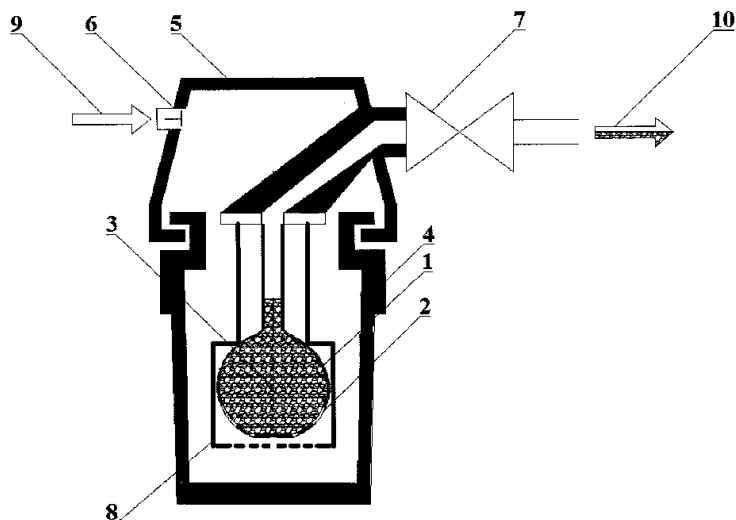


Рисунок 1.8 – Вариант исполнения порошкового огнетушителя с пористой емкостью: 1 – сосуд; 2 – поры сосуда; 3 – огнетушащий порошок; 4 – корпус огнетушителя; 5 – колпак огнетушителя; 6 – заправочный штуцер с обратным клапаном; 7 – выпускной кран; 8 – кожух; 9 – рабочий газ от зарядного устройства; 10 – порошково-воздушная взвесь (аэрозоль)

Все предлагаемые конструкции порошковых огнетушителей разрабатывались на основе обработки статистических данных, анализа различных параметров, испытаний некоторых показателей, а также с учетом устранения недостатков предыдущих моделей.

В конечном результате исследования и разработки конструкции огнетушителя необходимо осуществить оценку его эффективности. В применяемых методах оценки эффективности порошковых огнетушителей, использовавшихся при разработке представленных конструкций порошковых огнетушителей, использовалось разделение проводимого исследования на две составляющие: техническую и экономическую.

При решении технических задач, используются различные методы экспертных оценок [23-26].

Техническая задача для предлагаемых конструкций огнетушителей решалась методом экспертной оценки, используя мультипликативную и аддитивную свертки [12, 13].

Вместе с этими методами, для оценки различных технических устройств использовались объективные физические методы анализа размерностей [27] и аналогии [28, 29]. Анализ размерностей схематизировал проблему и зафиксировал общее моделирование явлений и свойств рассматриваемых объектов. Эта схематизация связана с рядом рабочих гипотез. В рамках некоторых моделей определена система характеристик, которые связаны между собой физическим соотношением и которые согласно π -теореме представляются как соотношения между безразмерными параметрами. Таким образом, ввели систему определяющих параметров постоянных или переменных, вытекающую из постановки выделяемого класса задач и характеризующую, полностью для данной среды каждую отдельно взятую задачу [12, 10].

На основе анализа состава единичных показателей эффективности огнетушителей, их многообразие сведено к основным теплотехническим и конструкционным параметрам [12]. Сформированные безразмерные комплексы из единичных показателей, объединенных в группы, представлены в Таблице 1.2, где определяющими величинами являются:

эквивалентная площадь распыла огнетушащего вещества (далее ОТВ), $[F] = \text{м}^2$;

площадь пожара, $[S] = \text{м}^2$;

масса горючего вещества, $[m_{\text{гор}}] = \text{кг}$;

масса ОТВ, $[m_{\text{зав}}] = \text{кг}$;

флегматизирующая концентрация ОТВ, $[C_{\text{ф}}] = \text{кг}/\text{м}^3$;

низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, $[Q] = \text{Дж}/\text{кг} = (\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2)/\text{кг} = \text{м}^2/\text{с}^2$;

теплопоглощение ОТВ, $[q] = \text{Дж}/\text{кг} = (\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2)/\text{кг} = \text{м}^2/\text{с}^2$;

давление в огнетушителе, $[P] = \text{Па} = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;

длительность истечения полного объема ОТВ, $[\tau] = \text{с}$;

дальность подачи ОТВ (длина струи), $[L] = \text{м}$;

масса огнетушителя без заряда, $[M] = \text{кг}$;

диаметр поперечного сечения огнетушителя, $[d] = \text{м}$;

высота огнетушителя, $[h] = \text{м}$

Таблица 1.2 – Безразмерные комплексы единичных показателей

Комплекс	Физическая сущность комплекса
$\pi_1 = \frac{F}{S}$	Относительная эффективная площадь тушения
$\pi_2 = \frac{m_{\text{гор}}}{m_{\text{зар}}}$	Относительная масса горючей нагрузки
$\pi_3 = \frac{S^{1,5} C_{\text{ф}}}{m_{\text{зар}}}$	Относительная концентрация флегматизатора
$\pi_4 = \frac{Q}{q}$	Относительная теплота горения
$\pi_5 = \frac{P \tau^2 L}{M}$	Относительное давление в аппарате
$\pi_5 = \frac{d}{L}$	Относительный диаметр огнетушителя
$\pi_5 = \frac{h}{L}$	Относительная высота огнетушителя

На основе метода анализа размерностей сформированы комплексные показатели, физическая сущность которых, заключается в относительной теплоте тушения (теплотехнический) и относительной энергии подачи огнетушащего вещества (конструктивный) [12]:

теплотехнический ($\pi_{\text{т}}$), характеризующий отношение количества теплоты, которое отнимает огнетушащее вещество, к количеству теплоты, выделяемой очагом горения

$$\pi_T = \frac{\pi_1}{\pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4} = \frac{q \cdot F \cdot m_{\text{зар}}^2}{Q \cdot S^{2,5} \cdot C_{\phi} \cdot m_{\text{гор}}} \quad (1.1)$$

конструктивный (π_k), характеризующий отношение количества энергии, необходимой на доставку огнетушащего вещества в очаг пожара, к энергии, доставки огнетушителя к очагу горения

$$\pi_k = \frac{\pi_5}{\pi_6 \cdot \pi_7} = \frac{P \cdot L^3}{M \cdot h \cdot d \cdot r^{-2}} \quad (1.2)$$

Изучение предложенных комплексов, выявило, что в них не учитываются такие важные показатели, как величина остатка огнетушащего вещества и величины, непосредственно влияющих на его движение по пневматическому тракту (высота и диаметр сифонной трубки, удаление сифонной трубки от дна корпуса огнетушителя). На основании анализа данных, натурных исследований и с учетом вышеизложенного предложены следующие безразмерные комплексы [13], представленные в Таблице 1.3 и включающие следующие величины:

расстояние от дна огнетушителя до начала среза сифонной трубки, $[b+h_1]=\text{м}$;

масса заряда ОТВ, $[M_{\text{отв}}] = \text{кг}$;

давление в огнетушителе, $[P] = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;

время истечения огнетушащего порошкового состава (далее ОПС), $[\tau] = \text{с}$;

объем газа в аппарате, $[V_r] = \text{м}^3$;

длина струи ОПС, $[l] = \text{м}$;

высота огнетушителя, $[h] = \text{м}$;

диаметр поперечного сечения огнетушителя, $[d] = \text{м}$

Таблица 1.3 – Безразмерные комплексы показателей, влияющих на величину остатка огнетушащего вещества и его движение по пневматическому тракту

Комплекс	Физическая сущность комплекса
$\pi_5 = \frac{(b + h_1)}{M_{\text{отв}}} (P \cdot \tau^2)$	Потери энергии газа на входе в сифонную трубку в зависимости от величины зазора, массы заряда порошка, динамических сил давления и сил вязкого трения

Комплекс	Физическая сущность комплекса
$\pi_6 = \frac{P \cdot V_{\Gamma}}{\left(\frac{M_{\text{отв}}^2 \cdot l}{P \cdot \tau^4}\right)}$	Отношение потенциальной энергии газа к затратам энергии по вытеснению и доставке массы заряда порошка в очаг пожара
$\pi_7 = \frac{h}{d}$	Потеря энергии газа от соотношения высоты и диаметра сифонной трубки

Во-первых, необходимо отметить, что безразмерные комплексы π_2 , π_3 [12] и π_5 , π_6 [13] сформированы, исходя из общей величины массы заряда огнетушащего вещества, находящейся в едином сосуде.

При этом остался не рассмотренным вариант с возможностью размещения огнетушащего порошка в нескольких отдельных сосудах (два и более). Такой вариант размещения может позволить снизить количество оставшегося огнетушащего порошка в корпусе огнетушителя.

Во-вторых, безразмерные комплексы $\pi_5 - \pi_7$ [12, 13], сформированные с учетом геометрических характеристик корпуса огнетушителя, давления в нем, потерь энергии на входе в сифонную трубку, потенциальной и кинетической энергии по вытеснению и доставки огнетушащего порошка в очаг горения, представлены в общем виде и не учитывают вопросы оптимизации системы пневматической транспортировки.

Минимизировать потери энергии при доставке огнетушащего порошка в очаг горения и способствовать более полному его выходу возможно путем оптимизации системы транспортирования. Такую оптимизацию можно осуществить за счет конструкции, исключающей сифонную трубку и размещения огнетушащего вещества в одном или нескольких отдельных параллельных сосудах, соединенных непосредственно с системой выпуска посредством соединяющего коллектора. В таком случае, перечень показателей, влияющих на полноту истечения ОПС из корпуса огнетушителя в силу его конструктивных особенностей, уменьшится. Следовательно, должен быть разработан

безразмерный комплекс, учитывающий только те единичные показатели, которые влияют на полноту выхода.

Решение экономической составляющей исследования эффективности огнетушителя является не менее важной, чем технической. Для решения задачи по экономической эффективности технических устройств возможно применение метода диаграмм Парето [30]. При рассмотрении двухкритериальных задач (цена-качество) широко применяется принцип Эджворта-Парето [31].

Таким образом, в дальнейшем для определения эффективности огнетушителя возможно использовать именно решение двухкритериальной задачи, представленной на Рисунке 1.9, где по оси ординат расположено отношение эффективности рейтингового показателя i -го огнетушителя (π_p) к среднему значению (π_{cp}) для известного типоразмера, а по оси абсцисс – стоимость.

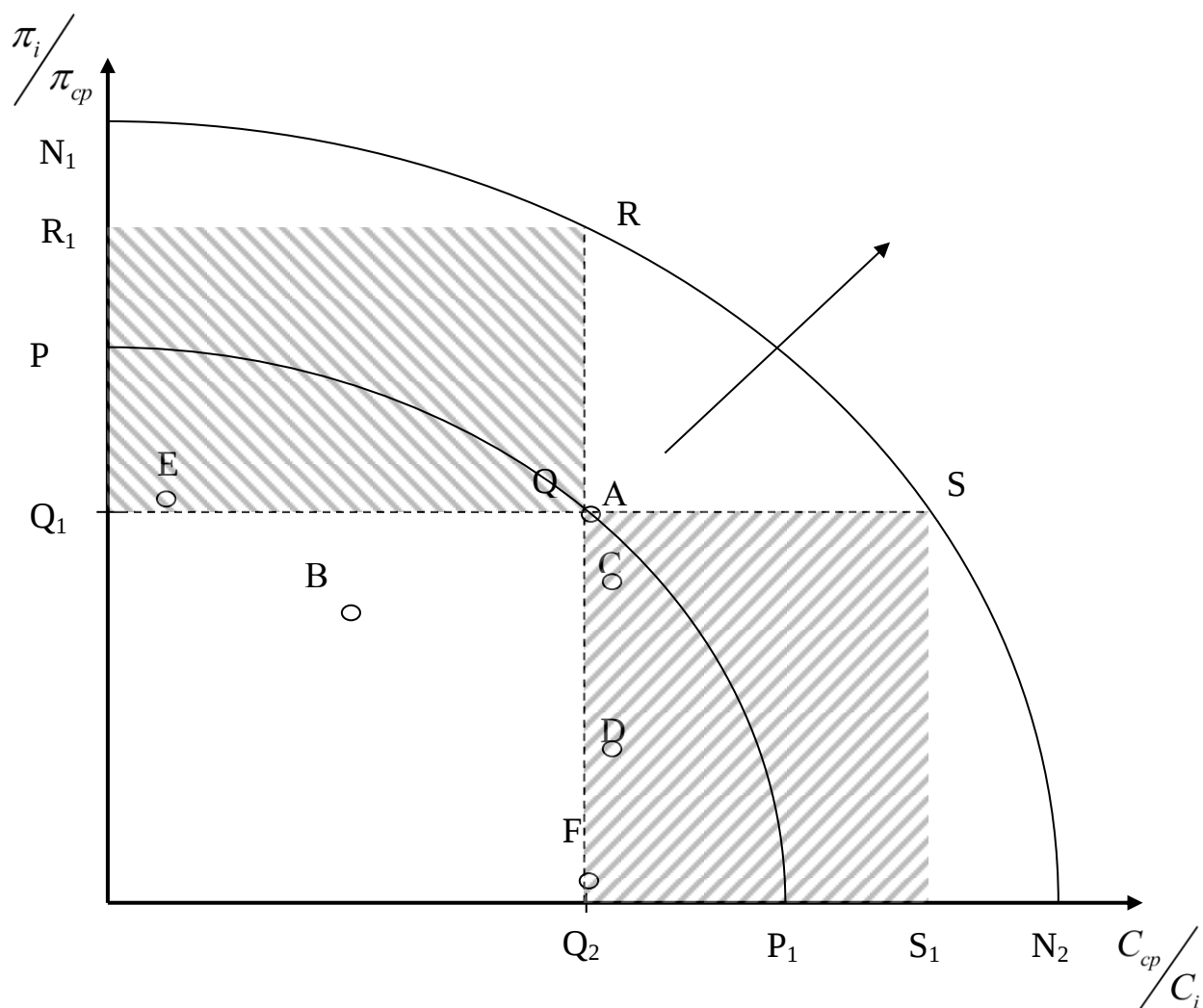


Рисунок 1.9 – Области Парето в категории «цена–качество»:

π_i – рейтинговый показатель i -го огнетушителя; π_{cp} – среднее значение рейтингового показателя огнетушителей; C_i – стоимость i -го огнетушителя; C_{cp} – среднее значение стоимости огнетушителя (точки на графике – условные наименования огнетушителей).

Следовательно, с точки зрения экономики, совершенствование огнетушителей может быть осуществлено путем увеличения их эффективности тушения при снижении цены на производство. При этом предпочтение следует отдать рейтинговому показателю, поскольку стоимость может меняться и будет определяться конъюнктурой рынка. Разрабатываемый безразмерный комплекс по оценке эффективности огнетушителя должен основываться на основных

сертификационных показателях, влияющих на полноту выхода ОТВ (расход, длительность истечения массы ОПС, длина струи и давление в корпусе огнетушителя).

1.3 Анализ методик сертификационных испытаний огнетушителей

Перечень проводимых проверок и испытаний огнетушителей в соответствии с нормативными документами [4, 32] представляет собой внушительный список (Таблица 8, п. 8.10). Огнетушитель проходит все этапы контроля параметров, и только после испытаний с положительным результатом считается, что он выдержал их.

Определение длины струи, остатка заряда и огнетушащей способности огнетушителя (п.п. 5.19-5.21) являются наиболее важными показателями, в то время как большинство из проверяемых параметров имеют второстепенное значение (п.п. 5.12, 5.30, 5.32, 5.33, 5.50). Огнетушащая способность является определяющим параметром работоспособности огнетушителя в целом, определяется натурными (огневыми) испытаниями.

Огневые испытания огнетушителей проводят в специально предназначенном для этого помещении, обеспечивающем безопасные условия работы оператора и имеющем хорошую освещенность и вентиляцию. К проведению огневых испытаний допускаются операторы, имеющие опыт тушения данным типом огнетушителей. Огневые испытания огнетушителей разделяют на тушение модельных очагов (далее МОП) классов А и В [4, 32].

Модельный очаг пожара класса А состоит из горючего материала в виде деревянных брусков [33], с заданными геометрическими размерами [4] и влажностью [34] и выполнен в форме куба, который устанавливается на опоре из стальных уголков [35]. Геометрические размеры МОП класса А зависят от количества деревянных брусков в штабеле и их длины. Размеры поддона для разжигания модельного очага, объем воды и бензина в нём, определяются рангом МОП.

Время, отводимое для розжига МОП, условия охвата пламенем штабеля и порядок проведения испытаний по тушению МОП класса А указаны [4] и осуществляются в определенной последовательности.

Проведение огневых испытаний по тушению МОП является одним из важнейших моментов при оценке эффективности огнетушителей, так как визуально отражает способность или неспособность выполнять его прямое предназначение – тушение возгорания.

По своей сути, МОП класса А представляет собой собирательный образ наиболее распространенной пожарной нагрузки – древесины, которая распространена повсеместно. Тушение МОП такого класса показывает реальную работоспособность испытываемого огнетушителя.

Также положительным моментом при испытаниях огнетушителя по тушению данного класса МОП является то, что в прописанном порядке действий оператора-испытателя [4] существуют ограничения. С одной стороны, оператор-испытатель не ограничен в выборе конкретной точки, с которой он должен начать тушение (расстояние до МОП он выбирает самостоятельно, п. В.2.3.4 [4]). С другой стороны, чтобы возможность тушения МОП была близка к реальным условиям, оператору-испытателю ограничили количество поверхностей, на которые он может подавать огнетушащее вещество (п. В.2.3.5 [4]). Таким образом, запрещена подача огнетушащего вещества на нижнюю поверхность МОП, поскольку в реальных условиях предмет, который будут тушить, не висит в воздухе, а расположен на чем-либо. Также запрещено тушить одну из боковых сторон – имитация примыкания к стене.

Данные ограничения в порядке тушения несколько усложняют задачу, но в конечном результате имеют положительный эффект для конечного пользователя, так как это означает, что данный огнетушитель сможет справиться также и с более легкими условиями.

Модельные очаги пожара класса В представляет собой круглый стальной противень, с заданными геометрическими размерами [4] в котором в качестве горючего материала используют бензин [36]. Геометрические размеры противня для МОП класса В, объем воды и бензина, заливаемых в него, определяются заявляемым на тушение рангом.

Порядок проведения испытаний по тушению МОП класса В, также, как и для МОП класса А, имеет строго определенную последовательность действий [4].

Аналогично предыдущему варианту, МОП класса В представляет собой образ наиболее распространенной пожарной нагрузки – разлив горючей жидкости. Тушение МОП класса В показывает реальную работоспособность испытываемого огнетушителя при тушении различных нефтепродуктов (бензин, керосин, дизельное топливо).

Испытания огнетушителя по тушению МОП класса В схожи с тушением МОП класса А – необходимо визуально зафиксировать результат тушения. Фактически же, при проведении испытаний огнетушителя по тушению данного МОП практически всегда приходится сталкиваться с еще одним обстоятельством.

В результате горения бензина происходит нагрев стенок противня. Через некоторое время стенки противня нагреваются до такой температуры, при которой пары бензина способны воспламениться от них. В таком случае, тушение МОП осложняется тем, что, затушив основное «зеркало», стенки противня воспламеняют пары бензина. Только в случае, когда огнетушитель справится с тушением «зеркала» и охлаждением стенок противня, т.е. МОП класса В будет потушен – результат испытания считается положительным.

При проведении испытаний по определению огнетушащей способности существует ряд особенностей, которые могут повлиять на конечный результат. Одной из таких особенностей является возможный субъективный подход операторов-испытателей к проведению испытаний.

При существующей последовательности действий по тушению МОП при определении огнетушащей способности невозможно добиться единообразного подхода. А именно единообразие, последовательность и точность действий лица, проводящего испытания, могут оказать влияние на объективность по оценке огнетушащей способности огнетушителя.

При тушении МОП различных классов лицо, проводящее испытания, приспосабливается к ним, сокращает время выпуска огнетушащего вещества (ОТВ) для экономии, выбирает углы подачи, интенсивность и т.д.

Следует учитывать, что оператор–испытатель, имеет, как правило, большой опыт в тушении. Потому он справится и потушит МОП за время выпуска ОТВ (при условии, что огнетушитель исправен и предназначен для тушения данного МОП), в то время как обычный человек при пожаре не станет совершать подобных действий, а осуществит разрядку огнетушителя в один или несколько приемов. И тем самым может не достичь требуемого эффекта, то есть не потушить пожар [37].

Таким образом, в алгоритме между использованием при проведении натурных огневых испытаний огнетушителей и реальным применением их обычными гражданами на практике могут быть существенные различия. Сущность проведения натурных огневых испытаний заключается именно в том, чтобы при возникновении необходимости применения огнетушителя любой человек без специальных навыков работы с ним потушил бы заявленный ранг пожара.

Возможным решением минимизации расхождения результатов огневых испытаний и практического применения огнетушителей может стать приведение многообразия модельных очагов пожара (12 рангов класса А и 15 рангов класса В) [4, 32] к варианту модельного очага, характеризуемого величиной количества выделяемой теплоты (с учетом его геометрических размеров и мощности тепловыделения). Кроме того, необходима разработка методики проведения данных испытаний, с учетом исключения влияния человеческого

фактора. Такой подход является более предпочтительным, так как полностью отвечает требованиям, предъявляемым к испытаниям огнетушителей.

1.4 Обоснование цели и научной задачи исследования

Огнетушители, как наиболее распространенные первичные средства пожаротушения, производятся давно и имеют большой ассортимент. Вместе с тем, производители и научное сообщество постоянно занимаются их совершенствованием и поиском технических решений, связанных с повышением их эффективности.

Поиск решений, их обоснование и реализация в конечные готовые изделия постоянно осуществляется, в том числе специалистами Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Для порошковых огнетушителей специалистами используется комплексный подход, включающий анализ существующих и перспективных конструкций [11, 10], теоретическую и экспериментальную оценку технических параметров [20, 22, 16, 38] и эффективности порошковых огнетушителей в целом [12, 13]. Ими рассмотрены такие направления как совершенство пневматического тракта, методики оценки показателей и совершенствование системы хранения огнетушащего порошка.

При этом существует ряд направлений, которые до сих пор не нашли достаточно рассмотрения или им не было уделено достаточного внимания. Некоторые из них могут оказывать существенное влияние на эффективность огнетушителей.

На основании проведенного анализа работ и исследований, можно утверждать, что большинство решений, направленных на повышение эффективности порошковых огнетушителей, сводится к задаче минимизации количества, оставшегося в корпусе огнетушащего порошка на основе выбранного показателя эффективности.

Следовательно, необходимо продолжить дальнейшее изучение вопросов, связанных напрямую или косвенно с этим параметром, по совершенствованию:

системы хранения огнетушащего порошка (выбора типа, количества и способов соединения сосудов);

характеристик системы транспортирования и распределения огнетушащего порошка внутри корпуса (определение схем размещения трубопроводов, количества и углов их расположения);

выбора оптимального диаметра системы выпуска огнетушащего порошка;

оптимизации значения минимального рабочего давления в корпусе порошкового огнетушителя.

Выводы по Главе 1

Таким образом, как следует из материалов этой главы, необходимо решить нескольких технических задач, определяющих сущность научной задачи:

1. Разработать конструкцию и действующую модель порошкового огнетушителя, оптимизирующую распределение и транспортирование огнетушащего вещества.

2. Обосновать требования к характеристикам, конструкции стенда для испытаний порошковых огнетушителей и разработать его модель с очагом пожара, соответствующего МОП классов А и В по мощности тепловыделения.

3. Смоделировать характеристики разрабатываемых порошковых огнетушителей на стенде для испытаний порошковых огнетушителей, с целью подтверждения их эффективности по тушению МОП.

4. Обосновать критерий эффективности конструкции порошкового огнетушителя.

5. Разработать методику проведения огневых испытаний порошковых огнетушителей, уменьшающую влияние субъективного подхода к проведению испытаний лицами, их проводящими.

Глава 2 Обоснование требований и разработка конструкции порошковых огнетушителей

Как показано в Главе 1, массово выпускаемым в России порошковым огнетушителям свойствен ряд недостатков, в том числе несовершенство внутренней системы транспортирования огнетушащего порошка. По этой причине, остаток огнетушащего порошка при полном выходе газа-вытеснителя существенно превышает 15% [4].

Для снижения значений остатка ОПС в корпусе огнетушителя до минимальных значений, необходимо устранить причины, способствующие этому. Недостатки, присущие внутренней системе транспортирования огнетушащего порошка, должны быть устранены путем обоснования требований, предъявляемых к показателям ОП с учетом теоретических представлений о процессе движения частиц.

Обоснование должно быть представлено в виде анализа показателей и обоснования требований, предъявляемых к их параметрам, а также, опираясь на перспективные разработки систем хранения (содержания) ОПС [15, 21, 39].

2.1 Теоретические предпосылки экспериментального исследования

Моделирование процесса движения частиц огнетушащего порошка внутри сосуда огнетушителя должно быть осуществлено с учетом ранее известных экспериментальных данных [15, 21, 39] и аналитических зависимостей [40], описывающих траекторию твердых частиц в движущемся потоке газа [41, 42]:

огнетушащий порошок истекает из сосуда под действием разности энергии вытесняющего газа и суммарно противодействующих ей затрат энергии на преодоление сил гравитации, инерции и трения;

энергия вытесняющего газа определяется произведением его объема (V) и давления (P) внутри огнетушителя;

затраты энергии на преодоление сил гравитации, инерции и трения зависят от дисперсного состава огнетушащего порошка, масс размерных групп частиц и их удаления от оси перемещения потока, совпадающей с вертикальной осью симметрии корпуса огнетушителя;

движущееся в трёхмерном пространстве твердое тело (в рассматриваемом случае – каждая частица огнетушащего порошка) максимально может иметь 6 степеней свободы (три поступательных и три вращательных). Хаотичность перемещения частиц огнетушащего порошка определяется одновременным действием на них сил гравитации, избыточного давления вытесняющего газа и сил инерции (совокупно поступательного и вращательного движений частиц).

Теоретический анализ факторов, влияющих на процесс вытеснения частиц огнетушащего порошка из емкости вертикально ориентированного огнетушителя, должен быть выполнен с учетом физической сущности следующих зависимостей и определений [43]:

сила гравитации (P), действующая на систему материальных точек с массой каждой (m_i) и ускорением свободного падения (g), зависит от дисперсионного состава огнетушащего порошка и может быть определена согласно уравнению

$$P = \sum_{i=1}^n m_i g \quad (2.1)$$

момент инерции (J) вращающихся частиц огнетушащего порошка (как единой механической системы) равен сумме произведений масс (m_i) размерных групп частиц всех (n) материальных точек системы на квадраты их расстояний (r_i) до соответствующих осей вращения

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (2.2)$$

момент импульса (L) системы материальных точек (частиц огнетушащего порошка) относительно неподвижной оси вращения характеризует интенсивность вращательного движения всех частиц огнетушащего порошка

$$L = m_i v_i r_i \quad (2.3)$$

Из приведенных зависимостей следует, что конструкция огнетушителя должна обеспечивать уменьшение численных значений скоростей v_i , их радиус-векторов $\mathbf{r}_i$ и углов между ними. Этого результата теоретически можно достигнуть одним из следующих путей или сочетанием их:

придаванием сосуду формы, уменьшающей количество степеней свободы движущихся частиц огнетушащего порошка (вплоть до одной поступательной степени вдоль оси потока) и уменьшением размеров пор сосуда (вплоть до микроскопических каналов), но при этом потери энергии по длине не должны существенно возрастать;

распределением общей массы заряда огнетушащего порошка по нескольким параллельно соединенным сосудам, что позволит уменьшить скорости движения отдельных размерных групп частиц и, как следствие – сократить непроизводительные затраты энергии вытесняющего газа.

Определение численных значений скоростей каждой или отдельных размерных групп частиц $\mathbf{v}_i$ и соответствующих им радиус-векторов $\mathbf{r}_i$ практически невозможно из-за отсутствия достоверных сведений о количестве и пространственном расположении размерных групп частиц в огнетушащем порошке.

Следовательно, решать эту частную задачу следует путем моделирования условий, определяющих эти скорости, т.е. за счет распределения масс и регулирования давлений потока огнетушащего вещества.

2.2 Требования к показателям назначения порошковых огнетушителей

Требования к показателям, определяемым для порошковых огнетушителей, можно условно разделить на «эксплуатационные» и «технические».

«Эксплуатационные» показатели способствуют удобному и безопасному хранению (п.п. 5.8, 5.33, 5.34, 5.48 – 5.52, 6.2), приведению огнетушителя в действие (п.п. 5.12, 5.14, 5.15, 5.18, 6.9) [4]. Они выполняют хотя и важные, но все-таки функции обеспечения.

В свою очередь, «технические» показатели огнетушителя (п.п. 5.19, 5.20, 5.26) напрямую влияют на его назначение – огнетушащую способность (п. 5.21) [4]. Именно длина струи ОПС, масса оставшегося порошка и начальное значение давления в корпусе огнетушителя напрямую влияют на конечную цель применения порошкового огнетушителя – тушение очага горения. Анализ и обоснование требований, предъявляемых к ним, и их экспериментальное исследование, помогут найти решения по повышению эффективности порошковых огнетушителей.

Целью применения любого порошкового огнетушителя является успешная ликвидация возможного возгорания. При прочих равных условиях, результат тушения наиболее эффективен при максимальном выходе огнетушащего порошка из корпуса огнетушителя.

Таким образом, главной задачей становится обоснование рациональных требований к параметрам порошкового огнетушителя, определяющих полноту вытеснения огнетушащего порошка [44].

2.2.1 Длина струи огнетушащего порошка

Определение длины струи ОПС проводят в условиях, соответствующих предъявляемым требованиям. Значения длины струи и алгоритм ее определения строго регламентированы [4].

Длина струи ОПС, в зависимости от количества порошка, заряженного в огнетушитель, должна быть не менее значения, указанного в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Требования к длине струи ОПС

Количество ОПС, заряженного в огнетушитель, кг	Длина струи, не менее, м
$m \leq 3$	2
$m = 4 \div 7$	3
$m \geq 8$	4

Требования, предъявляемые к порошковым огнетушителям по минимальному значению длины струи ОПС, предполагают определение ее значения в момент, соответствующий примерно $1/3$ продолжительности подачи ОПС [4]. Такой период фиксации позволяет замерить значения длины струи в ограниченный промежуток времени. При этом не учитывается равномерное и стабильное распределение основной массы ОПС во всем временном диапазоне выхода ОТВ. Таким образом, большая часть ОПС может быть выпущена именно в этот короткий промежуток времени, что, безусловно, повлияет на процесс тушения.

Также, при определении этого параметра, не предполагается нахождение человека, использующего огнетушитель, рядом с очагом горения. На человека оказывает влияние тепловое воздействие от очага пожара. Основываясь на личном опыте тушения с допустимых расстояний, ограниченных минимальным значением длины струи ОПС, можно утверждать, что человек, не имеющий спецодежды, может получить ожоги.

С целью проверки фактических значений длины струи ОПС, а также равномерного и стабильного распределения массы порошка в течение всего времени выпуска нами проведены эксперименты с наиболее распространенными сертифицированными типами порошковых огнетушителей. Результаты проведенных экспериментов, представлены в Таблице 2.2.

Из Таблицы 2.2 видно, что фактическая длина струи ОПС у огнетушителя закачного типа ОП-1(з)-АВСЕ в некоторых случаях была меньше требуемого значения [4]. В этих случаях (образец № 1, замер 2 и образец № 2, замеры 2 и 3) визуально не наблюдалось не только компактной струи распыла (при этом вытесняющий газ из сопла выходил), но и равномерного и стабильного распределения массы ОПС в облаке порошка. Данные факты свидетельствуют о том, что основная масса ОПС осталась в корпусе огнетушителя.

У остальных образцов фактические значения длины струи ОПС соответствуют предъявляемым требованиям [4] и при этом ОПС в облаке распыла распределяется компактно в течение всего времени выпуска.

Таблица 2.2 – Фактические значения длины струи ОПС порошковых огнетушителей

Маркировка огнетушителя	№ образца	Длина струи ОПС, м	
		Требуемая по НД	Фактические значения трех замеров
Огнетушитель порошковый закачного типа ОП-1(з)-ABCE	1	не менее 2	2/1/2
	2		2/1/1
	3		3/3/3
	4		2/2/2
Огнетушитель порошковый с газогенерирующим устройством ОП-2(г)-ABCE-01	5		3/3/2
	6		3/4/4
Огнетушитель порошковый закачного типа ОП-2(з)-ABCE	7		4/3/4
	8		4/5/4
	9		4/4/3
	10		3/4/4
	11		4/5/4

Также важным моментом при определении длины струи ОПС оказался факт наличия специальной защитной одежды. При проведении испытаний огнетушителей в аккредитованных лабораториях (центрах) испытатели надевают для безопасности и защиты от теплового воздействия комплект боевой одежды пожарных (далее БОП). В такой экипировке тушить МОП с нормативного расстояния [4] не представляется сложным. Однако, в обычных условиях

применения огнетушителя, у человека отсутствует БОП, и он тушит в повседневной одежде, не предназначенной для защиты от повышенного теплового воздействия. Вследствие этого, он, как правило, отходит от очага пожара на комфортное и безопасное для него расстояние, с которого и осуществляет тушение.

Более того, определение длины струи проводят в горизонтальной плоскости, а на практике тушение осуществляется под углом к очагу горения и по всей его площади, т.е. до дальней его точки. В таких условиях, расстояние от человека с огнетушителем до очага горения, будет менее длины струи [4], и тепловое воздействие при этом будет повышенным.

Для подтверждения вышесказанного, проведены эксперименты по тушению порошковыми огнетушителями соответствующих МОП класса В с расстояния, равного минимальному значению длины струи для каждого образца.

При тушении МОП 13В и 21В в боевой одежде пожарного огнетушителями ОП1 и ОП2 соответственно, комфортным и безопасным по тепловому воздействию оказалось минимально возможное значение длины струи, равное 2 метрам. Для экспериментов по тушению тех же рангов МОП соответствующими огнетушителями в повседневной одежде, приемлемым по безопасному тепловому воздействию, оказалось расстояние в 3 метра. Для огнетушителя ОП4 и ранга МОП 55В, соответственно 3 и 4 метра. Следовательно, длина струи ОПС, в зависимости от количества порошка, заряженного в огнетушитель, должна быть увеличена не менее, чем на 1 метр для каждого типа огнетушителя, определенного нормами [4].

Таким образом, эффективность порошкового огнетушителя определяет не только такой параметр как длина струи, но и с какой продолжительностью эта компактная струя ОПС подается в очаг возгорания. Совокупность этих параметров совместно с другими показателями (масса остатка ОПС, начальное давление в корпусе ОП и т.п.) позволит эффективно охладить очаг пожара и потушить его.

Целесообразно эти показатели (масса остатка ОПС, начальное давление в корпусе ОП и т.п.) обобщить в один безразмерный комплекс и принять его за эффективность порошкового огнетушителя.

2.2.2 Остаток заряда в порошковом огнетушителе

Остаток заряда огнетушителя ($M_{\text{ост}}$) определяется как разность между массой огнетушителя после его разрядки (M_3) и массой огнетушителя без ОПС (M_k), отнесенную к массе заряда огнетушителя [4]:

$$M_{\text{ост}} = \frac{M_3 - M_k}{M_1 - M_k} 100\% \quad (2.4)$$

где M_1 – масса заряженного огнетушителя, кг;

M_3 – масса огнетушителя после его разрядки, кг;

M_k – масса огнетушителя без ОПС, кг.

Определение такого параметра, как остаток заряда порошка, является крайне важным элементом эффективности ОП. Очевидно, что чем большее количество ОПС выйдет из огнетушителя, тем больше теплоты от очага горения пойдет на его охлаждение. Таким образом, максимально вышедшее количество ОПС способствует полноценному и эффективному воздействию огнетушителя на очаг пожара.

Остаток ОПС после срабатывания ОП (без прерывания и при полностью открытом клапане запорно-пускового устройства) должен составлять не более 15 % номинального значения, указанного в технических документах [4, 32].

С целью проверки такой особенности порошковых огнетушителей, как неполный выход огнетушащего состава (порошка) после срабатывания огнетушителя, проведен ряд экспериментов. Были выбраны сертифицированные типы порошковых огнетушителей, получившие наибольшее распространение и доступность: перезаряжаемые закачного типа или имеющие газогенерирующее устройство.

В рамках одной серии проведены испытания трех экземпляров огнетушителя одного производителя, имеющие одинаковые значения номинальной массы огнетушащего вещества и принцип создания давления в корпусе. Результат эксперимента определялся как среднеарифметическое значение трех испытаний. Для экспериментов использованы порошковые огнетушители закачного типа и оснащенные газогенерирующим устройством, имеющие номинальную массу заряженного огнетушащего вещества 1 кг и 2 кг.

Сведения о результатах экспериментов по определению массы оставшегося в корпусе огнетушителя порошка, представлены в Таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Определение массы огнетушащего порошка, оставшегося в корпусе огнетушителя после его срабатывания

Маркировка огнетушителя	Масса, кг				
	огнетушителя			порошка в огнетушителе	
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически
	по паспорту	фактически			
Огнетушитель порошковый закачного типа ОП-1(з)-АВСЕ	1,52±0,05	1,61±0,01	0,99±0,01	1,00±0,05	0,38±0,01 (от 36,2 до 40,0%)*
	1,52±0,05	1,62±0,01	1,05±0,01	1,00±0,05	0,43±0,01 (от 41,0 до 45,3%)*
	не более 1,8	1,72±0,01	0,80±0,01	1,00±0,05	0,07±0,01 (от 6,7 до 7,4%)*
	1,65±0,05	1,60±0,01	1,00±0,01	1,00±0,05	0,40±0,01 (от 38,1 до 42,1%)*
Огнетушитель порошковый газогенерирующ им устройством ОП-2(г)-АВСЕ- 01	—	3,56±0,01	1,85±0,01	2,0±0,2	0,29±0,01 (от 13,2 до 16,1)*
	—	3,61±0,01	1,95±0,01	2,0±0,1	0,37±0,01 (от 17,8 до 19,5%)*

Маркировка огнетушителя	Масса, кг				
	огнетушителя			порошка в огнетушителе	
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически
	по паспорту	фактически			
Огнетушитель порошковый закачного типа ОП-2(з)-ABCE	не более 3,1	2,85±0,01	0,84±0,01	2,0±0,1	0,05±0,01 (от 2,1 до 2,4%)*
	не более 4,0	2,61±0,01	0,77±0,01	2,0±0,1	0,17±0,01 (от 8,1 до 8,9%)*
	не более 3,2	2,65±0,01	1,01±0,01	2,0±0,1	0,35±0,01 (от 17,5 до 18,4%)*
	не более 4,0	2,81±0,01	0,96±0,01	2,00±0,05	0,18±0,01 (от 8,8 до 9,2%)*
	не более 3,5	2,78±0,01	0,95±0,01	2,00±0,05	0,19±0,01 (от 9,3 до 9,7%)*
Примечание: масса огнетушащего порошка, оставшегося в корпусе ОП, определялась исходя из данных о начальной массе заправленного ОПС, отраженных в паспорте, и фактических замеров после эксперимента.					

Анализ результатов, представленных в Таблице 2.3, наглядно продемонстрировал наличие такого недостатка порошковых огнетушителей, как неполный выход заряда ОПС при их использовании.

Развитие и внедрение новых конструкций, одной из которых является наличие у порошкового огнетушителя пористой емкости для ОПС [20, 22], позволяет достигать минимальных значений остатка огнетушащего порошка. Стабильно достигаемые значения по остатку порошка для ОП таких конструкций составляют от 5 до 8 %. Значения в таком диапазоне могут быть приняты за основу при обосновании требований к конструкции огнетушителя с последующим ориентированием на дальнейшее снижение этого показателя.

2.2.3 Давление в корпусе порошкового огнетушителя

Давление вытесняющего газа – это контролируемый параметр, который не должен выходить за пределы диапазона допустимых значений, определенных документами на порошковый огнетушитель [4].

Фактически давление внутри корпуса огнетушителя влияет на сам процесс вытеснения ОПС. За счет энергии, затрачиваемой на вытеснение ОПС из корпуса огнетушителя, можно добиться изменения значений остатка порошка. Очевидно, что чем выше давление в корпусе огнетушителя, тем больше энергии заложено на вытеснение ОПС. Конечно, необходимо подходить к значению давления в корпусе огнетушителя разумно. Необоснованное увеличение давления, приведет к конструктивным изменениям корпуса огнетушителя, а именно увеличению толщины стенок корпуса и, следовательно, его массы.

С точки зрения безопасности эксплуатации и применения, необоснованное увеличение начального значения давления внутри корпуса огнетушителя приведет к негативным моментам. Во-первых, все узлы и детали (корпус, ЗПУ, резьбовые соединения и т.д.) должны иметь повышенный коэффициент запаса прочности. Во-вторых, увеличится конечная стоимость изделия. В-третьих, не менее важный фактор – безопасность человека, эксплуатирующего изделие, находящееся под высоким давлением.

Следовательно, рабочее давление в корпусе ОП, оказывает комплексное воздействие на показатели, отвечающие за эффективность ОП. Для достижения такой цели необходимо сочетание максимального выхода ОПС при минимальных значениях давления.

В результате проведенных исследований [12, 13, 45] установлено, что диапазон рабочего давления в порошковых огнетушителях составляет от 0,8 МПа до 1,6 МПа. Очевидно, что критерием при обосновании требований к конструкции ОП должно служить нижнее значение. Однако, при снижении рабочего давления в корпусе огнетушителя приоритет должен быть отдан максимальному выходу огнетушащего порошка.

2.2.4 Огнетушащая способность порошкового огнетушителя

Эффективность огнетушителя определяется его способностью потушить заявленный МОП. В нормативной документации [2, 31] предусмотрено деление МОП на два класса: А и В, характеризующие наиболее распространенные виды пожарной нагрузки – древесина и горючие жидкости (далее ГЖ). Каждый тип порошкового огнетушителя, в зависимости от массы ОПС, должен тушить МОП, которые определены для него. Не важно, какой из классов пожаров будет испытан первым или вторым, важен только положительный результат. Минимальные ранги модельных очагов пожара, которые должен тушить порошковый огнетушитель, представлены в Таблице 2.4

Фактически при тушении возгорания необходимо добиться эффекта, когда количество теплоты, отбираемой ОПС огнетушителя от очага горения, будет больше теплоты, который он выделяет. На практике, как правило, происходит горение не какого-то одного вещества, а нескольких. В современном мире горючая нагрузка не ограничивается лишь древесиной и ГЖ, а представляет собой сочетание различных веществ и материалов.

Таблица 2.4 – Минимальные ранги МОП, которые должен тушить ОП

Обозначение порошкового огнетушителя	Ранги МОП	
	класса А	класса В
ОП1	0,5	13
ОП2	0,7	21
ОП3	1	34
ОП4	2	55
ОП5		70
ОП6	3	89
ОП7		113
ОП8 и выше	4	144

В таких условиях тушение МОП конкретного класса А или В не отвечает современным реалиям. Теплота, выделяемая несколькими твердыми горючими

веществами и материалами, может значительно превосходить теплоту, которая образуется при сгорании МОП соответствующего класса.

Например, огнетушитель ОП1 способный потушить МОП ранга 0,5А, состоящий из древесины, не обязательно справится с тушением такого же МОП, состоящего из древесно-стружечных плит (далее ДСП), поскольку теплота сгорания последнего выше. В случае возгорания нескольких твердых горючих веществ и материалов (пластик, линолеум, ПВХ), как правило, теплота сгорания всегда выше, чем у древесины, которая является основой МОП класса А. Такая же ситуация с тушением МОП класса В.

Таким образом, огнетушащая способность, как ключевой показатель эффективности огнетушителя, отражающая его работоспособность, не корректно информирует пользователя о его реальных возможностях. Данное обстоятельство может привести к переоценке возможностей огнетушителя и, как следствие этого, не потушить пожар.

Для реальной оценки эффективности огнетушителя по результатам огневых испытаний следует ориентироваться на показатель, характерный для всех классов МОП. Таким показателем может стать мощность тепловыделения МОП, а критерием эффективности огнетушителя – количество теплоты, отбираемое ОПС огнетушителя у МОП.

2.3 Конструкции сосудов для содержания порошка

Принимая во внимание результаты исследований в области разработки и совершенствования конструкций порошковых огнетушителей, проводимых, в том числе в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России [20, 22], величина остатка может быть значительно снижена за счет использования в конструкции ОП пористой емкости, содержащей запас огнетушащего порошка.

Опираясь на накопленный опыт, экспериментальные исследования по совершенствованию конструкции ОП со встроенной пористой емкостью, основывались на известных основополагающих аналитических зависимостях о траектории движения твердых частиц в потоке газа.

В качестве прототипа для исследований послужил порошковый огнетушитель согласно патенту на полезную модель [20]. Оболочкой сосуда для содержания огнетушащего вещества являлись один или нескольких слоев пористых материалов, препятствующих высыпанию ОПС внутрь корпуса огнетушителя.

Конструкция огнетушителя в таком исполнении позволяет избежать эффекта слеживания ОПС, но при этом оказалось, что часть ОПС после применения огнетушителя, все же остается в корпусе. Остаток ОПС находится в рамках допустимых значений [4, 32], но в результате этого ожидаемая его огнетушащая способность снижается.

С целью устранения данного недостатка рассматриваемой конструкции огнетушителя необходимо проведение дальнейшего исследования, которое может быть проведено на новых типах исполнения системы хранения и транспортирования ОПС.

Первый тип (Рисунки 2.1 и 2.2) представляет собой параллельно соединенные вертикально ориентированные цилиндрические сосуды, объединенные посредством коллектора с запорно-выпускным устройством (далее ЗПУ) коаксиально (труба в трубе или труба в двух трубах). Коаксиальное расположение принято с учетом создания компактной конструкции в условиях минимизации занимаемого объема внутри корпуса огнетушителя. Конструкция коллектора имеет несколько входов в него из каждого цилиндрического сосуда и один выход из него, соединенный с ЗПУ.

Второй тип (Рисунок 2.3) представляет собой отдельные, изолированные друг от друга параллельно соединенные и вертикально ориентированные цилиндрические сосуды, объединенные посредством коллектора с ЗПУ. Коллектор в таком исполнении имеет индивидуальный вход из каждого сосуда и единый выход из него, соединенный с ЗПУ.

Распределение общей массы заряда огнетушащего порошка осуществляется по нескольким параллельно соединенным цилиндрическим сосудам. Такая форма

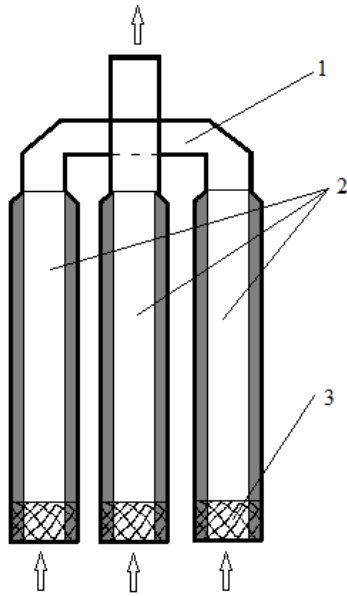
сосудов принята из-за удобства изготовления и размещения их внутри огнетушителей.

В результате проведения экспериментов необходимо определить тип исполнения системы хранения и транспортирования ОПС, позволяющий осуществлять максимальный выход огнетушащего порошка из корпуса огнетушителя. Такой вариант исполнения может быть использован при дальнейших экспериментах, в том числе по определению его эффективности в рамках огневых испытаний.

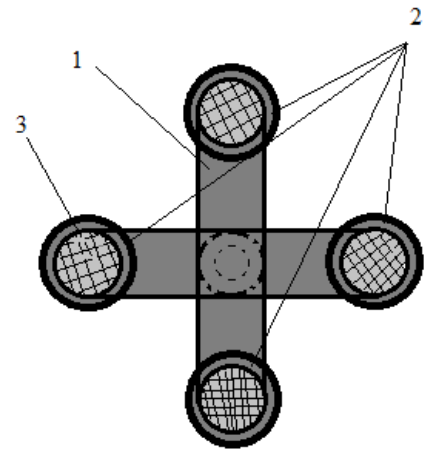
2.3.1 Конструкции сосудов и систем транспортировки огнетушащего порошкового состава

На полноту выхода ОПС, среди прочего, влияет конструктивное исполнение системы его транспортировки из корпуса огнетушителя к очагу горения. Наличие на пути движения ОПС трубопроводов с различными диаметрами, сужений, резких поворотов оказывает влияние на конечное количество вышедшего порошка.

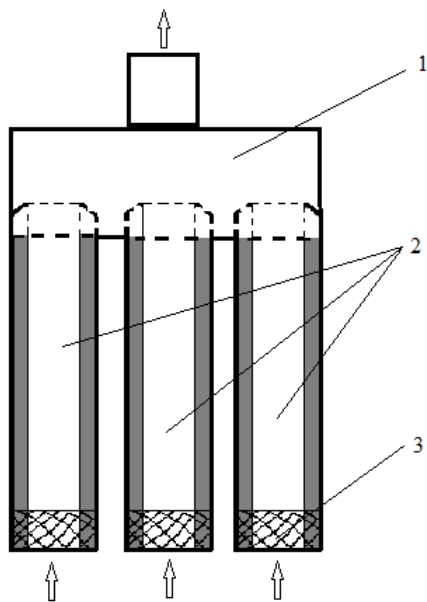
Рассмотрены варианты конструкций сосудов и элементов системы транспортирования ОПС в соответствии с теоретическими представлениями о факторах, влияющих на процесс вытеснения частиц огнетушащего порошка из емкости вертикально ориентированного огнетушителя. Схемы исследуемых вариантов конструкций сосудов и системы транспортировки ОПС представлены на Рисунках: 2.1 и 2.2 – соединенные коаксиально; 2.3 – изолированные друг от друга.



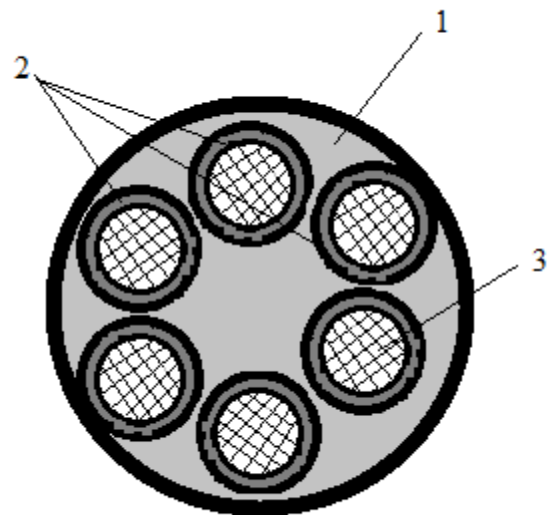
а) вид сбоку



а) вид снизу



б) вид сбоку



б) вид снизу

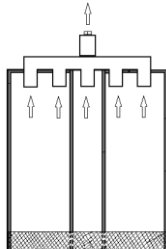
Рисунок 2.3 – Схемы исследуемых вариантов конструкций с отдельными изолированными цилиндрическими сосудами: а) с четырьмя входами в коллектор; б) с шестью входами в коллектор; 1 – соединительный коллектор; 2 – сосуды для ОПС; 3 – пористый материал

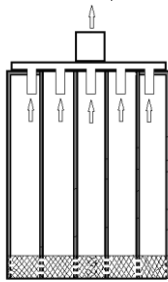
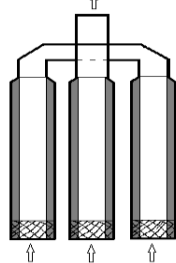
2.3.2 Влияние параметров системы транспортировки ОПС на величину остатка порошка

При проведении испытаний исследуемых вариантов конструкций сосудов и систем транспортировки ОПС оценена взаимосвязь характерных размеров, вместимость и количество соединенных сосудов, диаметры соединительных трубопроводов, количество газа, израсходованного для достижения эффекта вытеснения.

Система транспортирования ОПС предусматривает наличие трубопроводов, имеющих различные геометрические формы и внутренние диаметры, которые могут существенно влиять на эффект опорожнения. Одним из таких факторов является диаметр выходного отверстия коллектора, соединяющего его с ЗПУ. Для определения возможного влияния эффекта «узкого горла» на выход огнетушащего порошка из корпуса огнетушителя, проведены эксперименты на обоих предложенных типах конструктивного исполнения. Результаты проведенных экспериментов по определению влияния этой характеристики представлены в Таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Влияние диаметра выходного отверстия коллектора на выход огнетушащего порошка из корпуса огнетушителя

Тип конструкционного исполнения и его схема	Характеристики трубопроводов на пути движения ОПС				Масса остатка порошка, %
	Количество сосудов / входов в коллектор	Диаметр и площадь сечения, $d, 10^{-3} \text{ м} / F, 10^{-3} \text{ м}^2$			
		соединения сосудов с коллектором	коллектора	соединения коллектора с ЗПУ	
Два цилиндрических сосуда, соединенные коаксиально, имеющие пять входов в коллектор (вариант исполнения 1) 	2 / 5	$d = 14,0 / F = 0,770$	$d = 14,0 / F = 0,154$	$d = 3,0 / F = 0,007$	63,5
				$d = 3,0 / F = 0,007$	65,4
				$d = 3,0 / F = 0,007$	67,1
				$d = 6,8 / F = 0,036$	60,0
				$d = 6,8 / F = 0,036$	53,3
				$d = 6,8 / F = 0,036$	53,1
				$d = 14,0 / F = 0,154$	15,1
				$d = 14,0 / F = 0,154$	15,5
				$d = 14,0 / F = 0,154$	14,7

Тип конструкционного исполнения и его схема	Характеристики трубопроводов на пути движения ОПС				Масса остатка порошка, %
	Количество сосудов / входов в коллектор	Диаметр и площадь сечения, $d, 10^{-3} \text{ м} / F, 10^{-3} \text{ м}^2$			
		соединения сосудов с коллектором	коллектора	соединения коллектора с ЗПУ	
Три цилиндрических сосуда, соединенные коаксиально, имеющие пять входов в коллектор (вариант исполнения 2) 	3 / 5	$d = 8,0 / F = 0,251$	$d = 8,0 / F = 0,050$	$d = 3,0 / F = 0,007$	71,8
				$d = 8,0 / F = 0,050$	63,7
					65,0
					15,0
				$d = 14,0 / F = 0,154$	15,1
					14,7
					14,4
					15,0
					14,6
Четыре отдельных изолированных друг от друга цилиндрических сосуда, соединенные коллектором (вариант исполнения 3) 	4 / 4	$d = 14,0 / F = 0,615$	$d = 14,0 / F = 0,154$	$d = 3,0 / F = 0,007$	59,0
				$d = 6,8 / F = 0,036$	65,4
					66,0
					64,3
				$d = 8,0 / F = 0,050$	55,5
					57,0
					8,5
				$d = 14,0 / F = 0,154$	9,8
					8,0
					2,9
					2,5
					2,2

По результатам экспериментов, отраженных в Таблице 2.5, очевидно влияние диаметра выходного отверстия коллектора, соединяющегося его с ЗПУ. Уменьшение диаметра затрудняет выход огнетушащего порошка, тем самым увеличивается количество ОПС, оставшееся в корпусе огнетушителя. При значении диаметра 14 мм наблюдается наиболее полный выход ОПС. Это значение принято для проведения дальнейших экспериментов.

Анализ результатов, представленных в Таблице 2.5, также показал, что прослеживается закономерность влияния на остаток ОПС диаметра

трубопроводов, соединяющих сосуды с огнетушащим порошком и коллектор, в конструкциях огнетушителя с коаксиальным исполнением. В варианте исполнения 2 за счет прохождения общего потока через меньший диаметр наблюдается меньший остаток ОПС по сравнению с вариантом исполнения 1. При проведении последующих экспериментов огнетушителей с коаксиальным исполнением для соединения емкости для хранения ОПС с коллектором целесообразно использовать трубопроводы диаметром 8 мм, увеличив общую площадь сечения за счет большего количества входов.

Следует отметить, что вариант исполнения 3, в котором ОПС размещен в отдельных изолированных сосудах, является более предпочтительным, т.к. масса остатка огнетушащего порошка имеет меньшее значение по сравнению с вариантами исполнения 1 и 2.

Определение влияния характеристик системы транспортировки ОПС на величину остатка порошка проведено натурными экспериментами на двух типах конструкций, имеющих различные варианты исполнения, которые представлены на Рисунках 2.1, 2.2 и 2.3. В качестве рассматриваемых параметров каждого варианта исполнения выбраны следующие характеристики:

тип конструкции сосудов (цилиндрические сосуды, соединенные коаксиально или отдельные изолированные друг от друга цилиндрические сосуды) и их количество;

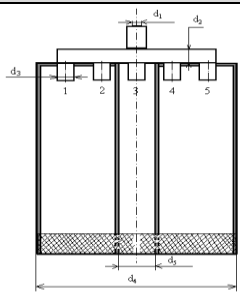
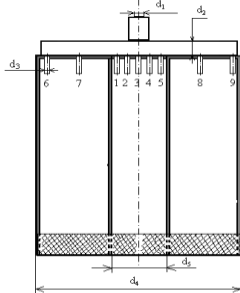
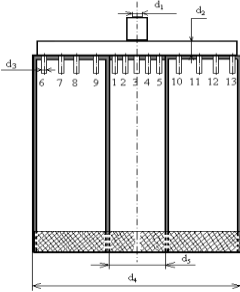
диаметр и площадь поперечного сечения: трубопровода, соединяющего сосуды для хранения ОПС с коллектором; трубопровода коллектора; трубопровода, соединяющего коллектор с ЗПУ.

Полученные данные проведенных экспериментов двух типов конструкций, имеющих различные варианты исполнения, представлены в виде Таблиц 2.6, 2.7 и 2.8.

Данные из Таблицы 2.6 подтвердили, что в результате дробления общего потока порошка, за счет увеличения количества трубопроводов (n_1), соединяющих сосуды с коллектором с 5 до 13, уменьшает остаток порошка. При этом у трубопроводов меньший диаметр ($d_3 = 8$ мм, схемы № 2 и № 3) и близкие

значения по общей площади сечения (схемы № 1 и № 3). Минимальное значение массы оставшегося ОПС, укладываемое в требования нормативного документа [4], имеет конструкция огнетушителя с 2-мя коаксиально соединенными сосудами с вариантом схемы № 2.

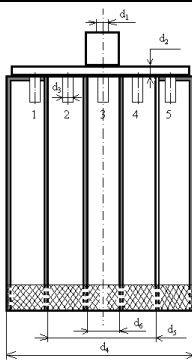
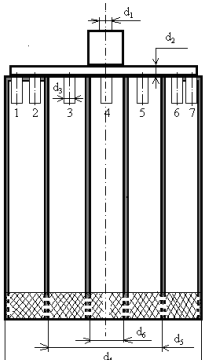
Таблица 2.6 – Характеристики системы транспортировки ОПС (конструкция с двумя коаксиально соединенными сосудами)

№ схемы	Схемы соединений, обозначения диаметров сосудов (d ₄ , d ₅) и трубопроводов (d ₁ , d ₂ , d ₃)	Характеристики трубопроводов на пути движения ОПС				Масса остатка порошка в сосудах, %
		Количество сосудов (n) / входов в коллектор (n ₁)	Диаметр и площадь сечения, d, 10 ⁻³ м / F, 10 ⁻³ м ²			
			соединения сосудов с коллектором	коллектора	соединения коллектора с ЗПУ	
1		2 / 5	d ₃ = 14,0 / F ₅ = 0,770	d ₂ = 14,0 / F = 0,154	d ₁ = 14,0 / F = 0,154	16,1
						15,0
						14,3
2		2 / 9	d ₃ = 8,0 / F ₉ = 0,452	d ₂ = 14,0 / F = 0,154	d ₁ = 14,0 / F = 0,154	6,5
						6,2
						6,3
3		2 / 13	d ₃ = 8,0 / F ₁₃ = 0,653	d ₂ = 14,0 / F = 0,154	d ₁ = 4,0 / F = 0,154	6,0
						6,1
						5,5

Данные Таблицы 2.7 подтверждают определяющую роль диаметра соединения коллектора с ЗПУ огнетушителя. Несмотря на увеличение количества трубопроводов (n_1), соединяющих сосуды с коллектором с 5 до 7 и,

соответственно, общей площади сечения, значение остатка порошка осталось практически прежним. Значение массы остатка порошка в конструкции огнетушителя с 3-мя коаксиально соединенными сосудами близко к максимально допустимому значению в 15 % [4]. Целесообразно при проведении дальнейших экспериментов конструкцию огнетушителя с таким исполнением не исследовать.

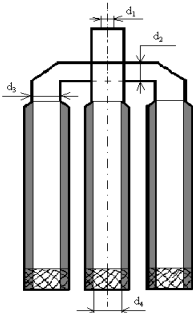
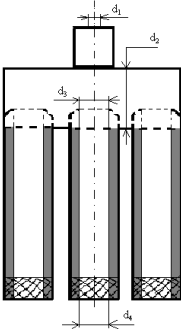
Таблица 2.7 – Характеристики системы транспортировки ОПС (конструкция с тремя коаксиально соединенными сосудами)

№ схемы	Схемы соединений, обозначения диаметров сосудов (d ₄ , d ₅) и трубопроводов (d ₁ , d ₂ , d ₃)	Характеристики трубопроводов на пути движения ОПС				Масса остатка порошка в сосудах, %
		Количество сосудов (n) / входов в коллектор (n ₁)	Диаметр и площадь сечения, d, 10 ⁻³ м / F, 10 ⁻³ м ²			
			соединения сосудов с коллектором	коллектора	соединения коллектора с ЗПУ	
4		3 / 5	d ₃ = 8,0 / F ₅ = 0,251	d ₂ = 8,0 / F = 0,050	d ₁ = 8,0 / F = 0,050	16,0
					d ₁ = 14,0 / F = 0,154	14,5
						19,5
						15,9
						15,2
						14,6
5		3 / 7	d ₃ = 8,0 / F ₇ = 0,351	d ₂ = 8,0 / F = 0,050	d ₁ = 8,0 / F = 0,050	18,0
					d ₁ = 14,0 / F = 0,154	16,5
						16,0
						14,6
						15,1
						14,6

Результаты экспериментов, представленные в Таблице 2.8, также подтвердили, что оптимальным значением диаметра, соединяющего коллектор с ЗПУ, является 14 мм. В схемах исполнения № 6 и № 7 для этого значения

диаметра получен остаток ОПС в корпусе огнетушителя, который соответствует предъявляемому нормативному значению [4].

Таблица 2.8 – Характеристики системы транспортировки ОПС (конструкция с отдельными изолированными друг от друга цилиндрическими сосудами, соединенные коллектором)

№ схемы	Схемы соединений, обозначения диаметров сосудов (d ₄) и трубопроводов (d ₁ , d ₂ , d ₃)	Характеристики трубопроводов на пути движения ОПС				Масса остатка порошка в сосудах, %
		Количество сосудов (n) / входов в коллектор (n ₁)	Диаметр и площадь сечения, d, 10 ⁻³ м / F, 10 ⁻³ м ²			
			соединения сосудов с коллектором	коллектора	соединения коллектора с ЗПУ	
6		4 / 4	d ₃ = 29,0 / F ₄ = 0,62	d ₂ = 14,0 / F = 0,154	d ₁ = 8,0 / F = 0,050	9,9
					d ₁ = 14,0 / F = 0,154	8,4
						8,3
						2,7
						2,1
						2,5
7		6 / 6	d ₃ = 29 / F ₆ = 1,08	d ₂ = 14,0 / F = 0,154	d ₁ = 8,0 / F = 0,050	17,2
					d ₁ = 14,0 / F = 0,154	16,3
						16,1
						9,5
						9,3
						8,4

Увеличение диаметра коллектора и, как следствие, его общего объема (схема исполнения № 7) не привело к ожидаемому результату – минимальному значению остатка огнетушащего порошка в корпусе огнетушителя после его срабатывания. Следует также учитывать, что в этом исполнении увеличена площадь соединения сосудов, заполненных порошком, с коллектором, за счет большего их количества. Однако, значения, полученные при эксперименте, оказались сравнимы с уже имеющимися образцами, представленными на рынке пожарно-технической продукции.

При исполнении системы транспортировки ОПС в соответствии со схемой № 6, достигнут наилучший результат по значению минимального остатка ОПС, реализующий наиболее полный его выход. Исполнение системы транспортировки и выпуска ОПС, соответствующее схеме № 6, имеет следующие характеристики:

система хранения ОПС выполнена в виде четырех отдельных изолированных друг от друга цилиндрических сосудов, соединенных единым коллектором;

коллектор, имеющий четыре отдельных входа в него для изолированных друг от друга цилиндрических сосудов и один выход из него, для соединения с ЗПУ;

диаметр коллектора и трубопроводов системы выпуска составляет 14 мм;

минимальное давление в корпусе огнетушителя 0,8 МПа.

Общие сведения о характеристиках сосудов, условиях испытаний и изменении остатка порошка в сосудах представлены в Таблицах 2.9 и 2.10.

Из Таблицы 2.9 следует:

видна определяющая роль энергии вытесняющего газа в истечении порошка, что особенно заметно у образцов серии экспериментов № 1 – № 3 (остаток порошка снизился с 21 до 2,2 %);

увеличение количества сосудов с 4 до 6 (при тех же размерах как у образцов в серии экспериментов № 1 – № 3) ведет к возрастанию остатка порошка с 2,2 до 7,5 %, и указывает на неспособность конструкции (образец серии экспериментов № 4) пропустить весь порошок;

незначительное увеличение диаметра сосудов (с 32 мм до 40 мм) у конструкции № 5 позволило добиться снижения остатка порошка до 1,2 % – 1,4 % при прежних параметрах вытесняющего газа;

влияние площади поровой части сосудов неоднозначно, это видно из данных образцов в серии экспериментов № 1 – № 3 (остаток порошка изменялся с 21% до 2,2 % при одном и том же значении площади $2,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$) и указывает на необходимость дополнительного исследования этого фактора.

Таблица 2.9 – Характеристики и результаты испытаний параллельно соединенных изолированных сосудов

№ серии экспериментов	Диаметр сосуда $d_c, 10^{-3} \text{ м}$		Всего сосудов n_c , ед	Площадь поровой части, $S_{пор. части} 10^{-3} \text{ м}^2$		Площадь соединения сосудов с коллектором 10^{-3} м^2	Диаметр, / площадь трубки, $S_{тр.},$ соединяющей коллектор с ЗПУ, $10^{-3} \text{ м} / 10^{-3} \text{ м}^2$	Начальные параметры вытесняющего газа		Масса ОПС m , кг		Среднее значение остатка порошка, %
	номинальный	внутренний $d_{с.вн}$		одного сосуда	всех сосудов			давление P , МПа	объем $V, 10^{-3} \text{ м}^3$	начальная $m_{нач}$	остатка $m_{ост}$	
1	d32	29,0	4	0,66	2,64	0,62	14,0 / 0,154	0,33	24,1	0,540	0,115	21,0
										0,520	0,105	
										0,535	0,115	
2								0,53	35,3	0,540	0,020	5,8
										0,560	0,030	
										0,550	0,045	
3								0,80	50,4	0,555	0,005	2,2
										0,555	0,005	
										0,550	0,003	
										0,550	0,010	
										0,555	0,010	
4								0,80	45,0	1,000	0,080	7,5
										1,000	0,070	
										1,000	0,075	
5								0,80	45,9	0,555	0,005	1,2
										0,555	0,005	
										0,550	0,010	
										1,000	0,010	1,4
										1,000	0,010	
										1,000	0,015	
										1010	0,015	
										1005	0,015	
										1000	0,015	
										0,980	0,015	

Таким образом, можно констатировать, что в исследованных случаях проявляется одномоментное влияние перечисленных факторов. Этого следовало ожидать, исходя из ранее рассмотренных теоретических предпосылок.

По результатам этой серии экспериментов определена начальная величина давления в огнетушителе (0,8 МПа), обеспечивающая минимальный остаток огнетушащего порошка. Необходимость дальнейшего увеличения давления

признана нецелесообразной, поскольку остаток был почти в 7 раз меньше нормируемой величины [4]. В связи с этим, далее представлены результаты испытаний, соответствующие только этому давлению.

Таблица 2.10 – Характеристики и результаты испытаний коаксиально соединенных сосудов

№ серии экспериментов	Диаметр коаксиально го сосуда d_c , 10^{-3} м		Всего коаксиальных сосудов n_c , ед	Площадь поровой части $S_{пор.ч.} 10^{-3} \text{ м}^2$	Площадь соединения сосудов с коллектором 10^{-3} м^2	Диаметр / площадь трубки $S_{тр.}$, соединяющей коллектор с ЗПУ, $10^{-3} \text{ м} / 10^{-3} \text{ м}^2$	Начальные параметры вытесняющего газа		Масса ОПС m , кг		Среднее значение остатка порошка, %	
	номинальный	внутренний $d_{c.вн}$					давление P , МПа	объем V , 10^{-3} м^3	начальная $m_{нач}$	остатка $m_{ост}$		
1	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,452	14,0 / 0,154	0,80	50,4	1,010	0,065	6,4	
					1,000				0,060			
					0,980				0,065			
					1,000				0,065			
					0,995				0,060			
					0,995				0,065			
2					0,653		0,80	50,4	1,000	0,065	6,4	
									0,995	0,060		
									1,000	0,070		
									1,005	0,060		
									1,000	0,065		
									1,000	0,065		
3	d110 d40	104 36,4	2	8,5	0,770	3,0 / 0,007	0,80	50,4	1,000	0,635	65,3	
									1,005	0,655		
									1,005	0,670		
						14,0 / 0,154			6,8 / 0,036	1,000	0,600	55,5
										1,000	0,535	
										0,995	0,530	
										0,995	0,160	15,2
										1,000	0,150	
										1,000	0,145	
4	d 90 d50 d13	88 48 11	3	6,1	0,251	8,0 / 0,050	0,80	54,9	1,000	0,160	16,7	
					1,000				0,145			
					0,995				0,195			
5									1,000	0,180	16,8	
									1,005	0,165		
									1,000	0,160		

Данные Таблицы 2.10 подтверждают, что добиться эффекта по снижению остатка порошка, достигнутому с применением изолированных сосудов (Таблица 2.9), в данном случае не удалось, но видна роль геометрических размеров трубки (диаметр $3,0 \cdot 10^{-3}$ и $6,8 \cdot 10^{-3}$ м), соединяющей коллектор с ЗПУ в образовании остатка (остаток порошка снизился с 65,3 % до 55,5 %). Оптимальный диаметр трубки при рассмотренных вариантах составляет около 14,0 мм.

Приведенные факты позволили прийти к выводу, что изменение относительной величины остатка порошка в корпусе огнетушителя ($m_{\text{ост}}$) в зависимости от диаметра трубки (d_1), соединяющей коллектор и запорно-пусковое устройство (далее ЗПУ) имеет следующие аналитические выражения:

$$m_{\text{ост}} = -36,93 \ln(d_1) + 100,68 \quad (2.5)$$

для изолированных друг от друга отдельных сосудов

(при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,91$);

$$m_{\text{ост}} = -37,81 \ln(d_1) + 107,56 \quad (2.6)$$

для коаксиальных сосудов (при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,78$).

Изменение относительной величины остатка порошка в корпусе огнетушителя ($m_{\text{ост}}$) в зависимости от диаметра трубки (d_1), соединяющей коллектор и ЗПУ, представлено на Рисунках 2.4 и 2.5.

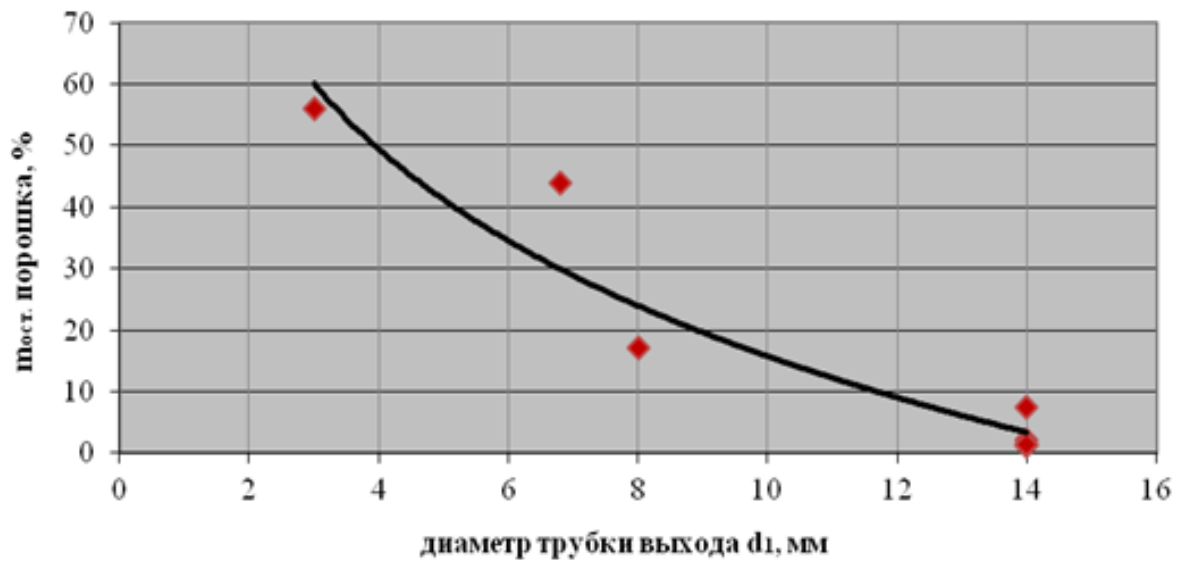


Рисунок 2.4 – Изменение величины остатка порошка в огнетушителе с изолированными друг от друга отдельными сосудами в зависимости от диаметра d_1 трубки, соединяющей коллектор и ЗПУ

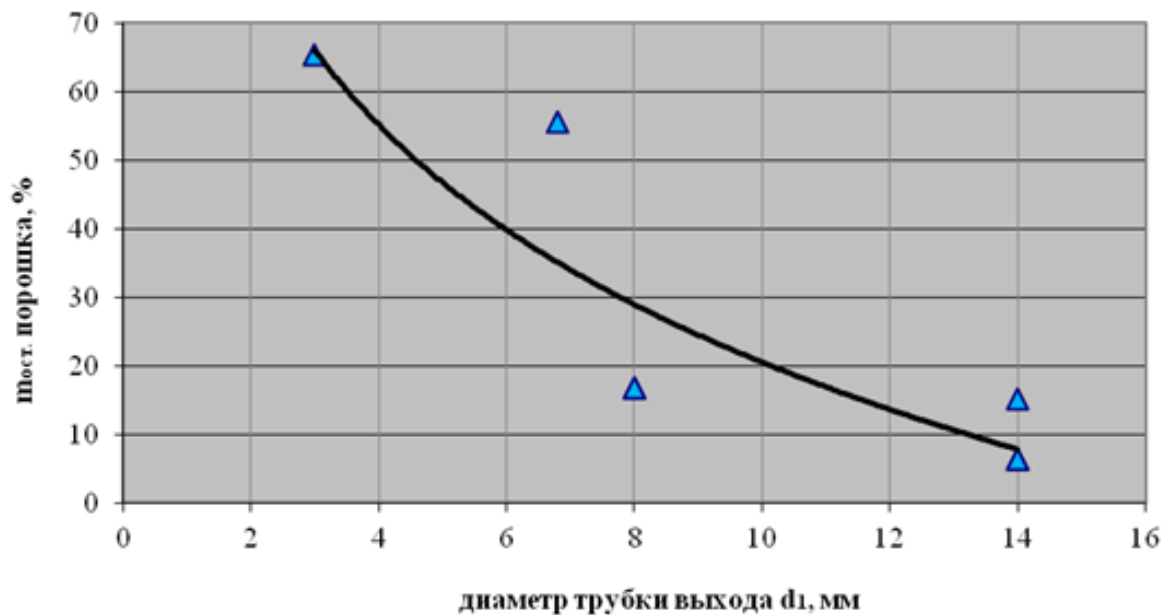


Рисунок 2.5 – Изменение величины остатка порошка в огнетушителе с коаксиальными сосудами в зависимости от диаметра d_1 трубки, соединяющей коллектор и ЗПУ

2.3.3 Влияние энергии газа-вытеснителя на изменение массы остатка огнетушащего порошка

Анализ данных характеристик сосудов и условий испытаний, представленных в Таблицах 2.9 и 2.10, позволяет сделать вывод также и о влиянии энергии газа-вытеснителя на изменение остатка порошка в сосудах различного типа исполнения.

Влияние энергии газа-вытеснителя на изменение массы остатка огнетушащего порошка имеет следующие аналитические выражения:

$$m_{ост} = -11,11 \ln(PV) + 42,26 \quad (2.7)$$

с изолированными друг от друга отдельными сосудами
(при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,85$);

$$m_{ост} = -39,94 \ln(PV) + 166,07 \quad (2.8)$$

с коаксиальными сосудами (при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,84$).

Влияние энергии выхода газа-вытеснителя на изменение массы остатка огнетушащего порошка представлено на Рисунках 2.6 и 2.7.

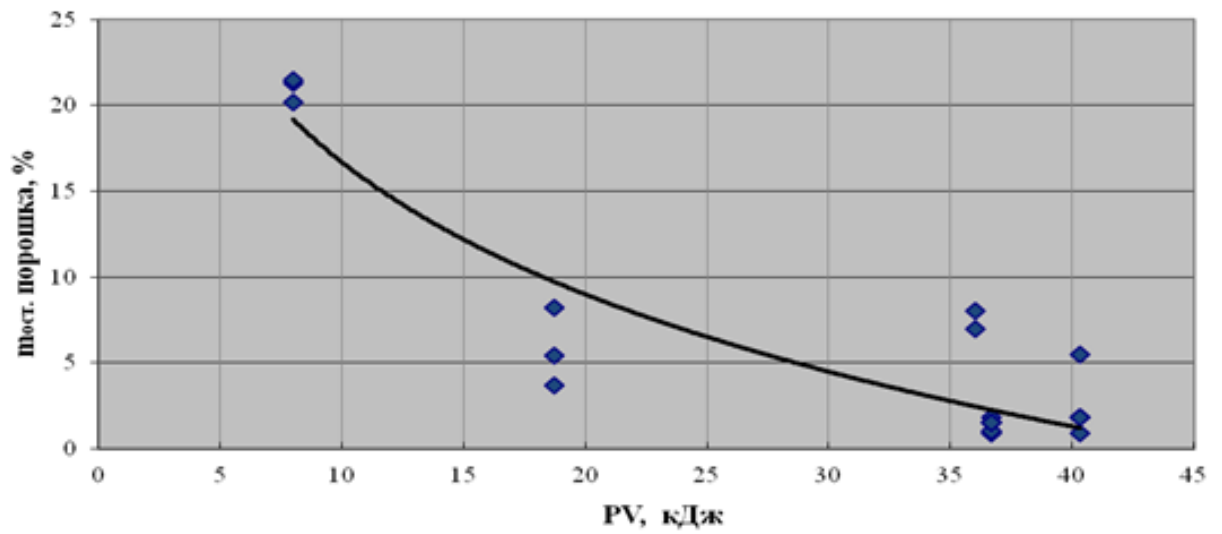


Рисунок 2.6 – Изменение остатка порошка от энергии вытесняющего газа в порошковом огнетушителе с изолированными сосудами

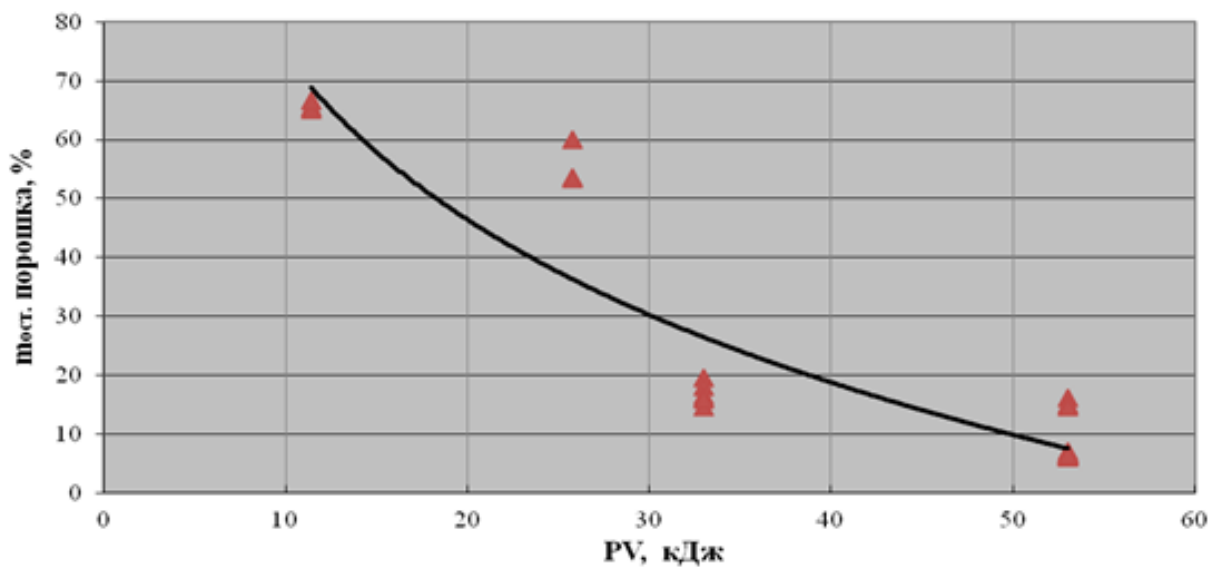


Рисунок 2.7 – Изменение остатка порошка от энергии вытесняющего газа в порошковом огнетушителе с коаксиальными сосудами

Таким образом, учитывая требования, предъявляемые к параметрам перспективных разработок систем хранения ОПС [15, 21, 39], для оценки

эффективности порошковых огнетушителей должен быть сформирован безразмерный комплекс из следующих величин:

расход ОПС, $[Q_{\text{опс}}] = \text{кг/с}$;

давление в огнетушителе, $[P] = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;

время выхода ОПС, $[\tau_{\text{вых}}] = \text{с}$;

длина струи ОПС, $[L_{\text{стр}}] = \text{м}$;

На основании π -теоремы сформирован безразмерный комплекс [46] следующего общего вида:

$$\pi_{\pi} = Q_{\text{опс}} P^x L_{\text{стр}}^y \tau_{\text{вых}}^z \quad (2.9)$$

Решение этого уравнения показывает, что при $x = -1$, $y = -1$, $z = -1$ безразмерный комплекс π_{π} принимает следующий вид:

$$\pi_{\pi} = \frac{Q_{\text{опс}}}{P L_{\text{стр}} \tau_{\text{вых}}} \quad (2.10)$$

$$\text{Размерность сформированного комплекса } \pi_{\pi} : \left[\frac{\text{кг/с}}{(\text{кг}/\text{м} \cdot \text{с}^2) \cdot (\text{м}) \cdot (\text{с})} \right]$$

Выводы по Главе 2

В результате проведенного анализа требований, предъявляемых к показателям назначения, внутренней системе хранения и транспортирования огнетушащего порошка, определены параметры, влияющие на эффективность, их минимальные значения, а также вариант исполнения ОП.

Параметры показателей назначения порошкового огнетушителя, должны иметь следующие значения:

1. Длина струи основной массы ОПС, не менее:
3 метров, при массе заряженного в огнетушитель ОПС от 1 кг до 3 кг;
4 метров, при массе заряженного в огнетушитель ОПС от 4 кг.
2. Масса остатка ОПС после разрядки огнетушителя – не более 5 % от начальной массы заряда.
3. Давление в корпусе огнетушителя – не менее 0,8 МПа.

Наиболее перспективным может быть вариант порошкового огнетушителя с исполнением системы хранения и транспортирования огнетушащего порошка:

в виде отдельных изолированных друг от друга параллельно соединенных и вертикально ориентированных цилиндрических сосудов;

за счет достижения минимальных значений остатка огнетушащего вещества, при наименьшем количестве затраченного газа-вытеснителя.

Эффективность данной конструкции необходимо подтвердить при натурных огневых испытаниях с учетом сформированного безразмерного комплекса Π_3 .

Глава 3 Экспериментальное обоснование и разработка конструкции испытательного стенда для оценки эффективности порошковых огнетушителей

Общеизвестно, что результаты испытаний огнетушителя по определению огнетушащей способности будут достоверными, если они получены в условиях, соответствующих реальному процессу развития пожара.

Вместе с тем, создание таких условий практически трудно реализуемо по техническим и организационным причинам ввиду огромного разнообразия различных веществ и материалов, окружающих нас. Поэтому испытания проводят на модельных очагах пожара, подготовленных в установленном порядке [4, 32].

Следовательно, для приведения процедуры испытаний огнетушителей к условиям близким реальному процессу горения, применительно к объектам нефтегазовой отрасли, необходимо не только изменить количество классов МОП, их вид, но и алгоритм проведения.

С этой целью необходимо обосновать введение единого МОП для проведения испытаний и методику, по которой происходит оценка эффективности конкретного огнетушителя.

3.1 Выбор горючего для МОП стенда испытания огнетушителей

Для определения одного и того же показателя назначения – огнетушащей способности, необходимо проводить испытания на МОП классов А и В. При этом в реальных условиях, как правило, происходит горение не какого-то одного конкретного вида горючего материала, а нескольких видов, причем не редко в различных агрегатных состояниях.

3.1.1 Размещение горючей нагрузки на объектах нефтегазовой отрасли

На объектах нефтегазовой отрасли расположены различные технологические установки, трубопроводы и резервуары, которые размещаются отдельно или в совокупности друг с другом.

Газоперерабатывающие заводы и газовые компрессорные станции включают в себя территории различного назначения: производственные, товарные, сырьевые и подсобные. На таких территориях размещены технологические линии, площадки сливо-наливных эстакад, здания и сооружения подсобно-производственного назначения, где обращаются нефтепродукты (природный и попутный нефтяной газ, нефть и т.п.).

Автозаправочные станции (АЗС) как составная часть нефтегазовой отрасли получили широкое распространение. Подразделяются на следующие типы: одно- и многотопливные заправочные станции (далее ОТЗС и МТЗС соответственно), автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (далее АГНКС), автомобильные газозаправочные станции (АГЗС) и криогенные газозаправочные станции (далее КриоГЗС).

На некоторых АЗС обращается углеводородное топливо одного вида (бензин, дизельное топливо или сжиженные газы), на других – несколько.

В соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики количество многотопливных АЗС по субъектам Российской Федерации составляет 29698 единиц [47]. Распределение АЗС в Российской Федерации, использующих углеводородное горючее, по типам представлено в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Распределение АЗС в Российской Федерации по типам

Наименование величины	Тип АЗС					Всего, ед.
	ОТЗС	МТЗС	АГНКС	АГЗС	КриоГЗС	
Количество АЗС, единиц	17543	8381	296	3456	22	29698

Таким образом, подавляющее большинство АЗС в России представлено тремя типами: однотопливные, многотопливные и газозаправочные станции. При этом первые два типа АЗС составляют 87 % от общего числа.

При нештатных ситуациях на объектах нефтегазовой отрасли могут возникнуть случаи, в результате которых произойдет разгерметизация технологического оборудования и выход нефтепродуктов [48, 49, 50], в том числе:

на объектах газоперерабатывающих заводов (далее ГПЗ) и газовых компрессорных станциях (далее ГКС) это приводит к проливу сжиженного углеводородного газа (далее СУГ) и нефтепродуктов из трубопроводов и установок;

на объектах баз и нефтехранилищ характерны ситуации с проливом хранящихся нефтепродуктов;

на АЗС возможен разрыв рукавов топливораздаточных колонок, а также пролив горючего при заправке автомобиля или при его сливе из автоцистерн в резервуары для хранения.

В любом случае, наиболее вероятно, что в качестве горючей нагрузки на объектах нефтегазовой отрасли будет нефть, мазут, бензин, дизельное топливо или жидкая фаза сжиженного газа [3].

3.1.2 Обеспечение огнетушителями объектов нефтегазовой отрасли

Для тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли в зависимости от ситуаций предусмотрено применение различных видов огнетушащих веществ и средств пожаротушения. Для целей пожаротушения объектов защиты на начальной стадии пожара нормативными документами предусмотрено использование первичных средств – огнетушителей [2, 3].

Объект защиты в зависимости от категории по пожарной и взрывопожарной опасности и класса пожара должен обеспечиваться переносными и/или передвижными огнетушителями. Нормы обеспечения объектов нефтегазовой отрасли на примере АЗС представлены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Обеспечение огнетушителями объектов защиты на АЗС

Объект защиты		Требуемый ранг тушения МОП огнетушителем, не менее	Количество огнетушителей
Заправочный островок	количество ТРК от 1 до 4	3А, 144В	не менее двух
	количество ТРК от 5 до 8	3А, 144В	не менее четырех
Площадка для грузовых автомобилей, автобусов и т.п.		6А, 233В	не менее двух (каждая)
Помещения категории А, Б, В1-В4		4А, 55В*, 144В	не менее двух
Помещения категории Г, Д		2А, 55В	не менее двух
Иные помещения			не менее двух
Примечание: * для тушения пожаров класса Е			

Как показывает практика, наиболее эффективными при тушении разлива нефтепродуктов на начальной стадии пожара являются порошковые огнетушители. В случае их применения подразумевается, что при срабатывании, тушение очага возгорания произойдет за счет полного выхода огнетушащего порошкового состава. После срабатывания в корпусе огнетушителя остается часть порошка. Однако далеко не всегда значения его остатка укладываются в нормативные 15 %.

В силу различных причин (слеживаемость, постоянная смена температурных режимов, не соблюдение сроков и порядка обслуживания и т.д.) значения огнетушащего порошкового состава превышают установленные параметры.

Применение огнетушителей в случае возникновения горения при нештатных ситуациях на объектах нефтегазовой отрасли подразумевает, что очаг будет потушен за счет их эффективного срабатывания, т.е. полного выхода огнетушащего порошка. Таким образом, наиболее эффективным огнетушителем

при ликвидации возгорания (в том числе пролива горючих жидкостей) будет тот, у которого выход огнетушащего порошка будет максимальным.

3.2 Обоснование требований к стенду для испытаний

Прекращение горения возможно при условии, когда из очага горения теплоты отбирается больше, чем им выделяется. В таких условиях ключевым параметром любого МОП становится мощность его тепловыделения.

Для объектов нефтегазовой отрасли характерно возникновение ситуаций, связанных с тушением пролитых нефтепродуктов: нефть, мазут, бензин, дизельное топливо, СУГ и т.п. В таком случае, при разработке конструкции испытательного стенда целесообразно ориентироваться на параметры, характерные именно для МОП класса В. Дополнительным фактором, определяющим такой выбор, является то, что низшая теплота сгорания бензина (Таблица 3.3) больше, чем древесины (горючая нагрузка МОП класса А), которая составляет не более 17 МДж/кг.

В соответствии с нормативными документами [4, 32] в качестве горючего в МОП класса В предусмотрен бензин летнего вида с более низким октановым числом. Однако такая формулировка не только не корректна в части отнесения бензина к летнему или зимнему виду, но и для выбора марки бензина.

Во-первых, в действующих нормах для бензина уже отсутствует деление на летние и зимние марки. Во-вторых, выбор бензина в соответствии с принципом «более низкое октановое число» носит неопределенный характер. Если метод определения октанового числа бензина, используемого в качестве горючей нагрузки в МОП класса В, зафиксирован нормами [36] – это исследовательский метод, то варианты при выборе бензина с «более низким октановым числом» могут трактоваться по-разному. В одном случае это может быть бензин марки АИ–80 (производство в РФ прекращено, но имеются не использованные запасы в хранилищах нефтепродуктов), а в другом – АИ-95 или АИ-98. Разница в теплоте сгорания этих бензинов составляет 0,6 МДж/кг, а это изменяет мощность

тепловыделения МОП. Такие неточные трактовки выбора горючего для МОП могут отразиться на результатах огневых испытаний.

В Таблице 3.3 представлены данные о теплоте сгорания некоторых веществ, используемых в качестве углеводородного топлива [51-53].

Таблица 3.3 – Низшая теплота сгорания углеводородных топлив

№ п/п	Наименование углеводородного топлива	Нормативный документ	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
1	Бензин АИ-80	ГОСТ Р 51105-97	44,0
2	Бензин марки АИ-92	ГОСТ Р 51105-97	43,6
3	Бензин марки АИ-95	ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004)	43,5
4	Бензин марки АИ-98	ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004)	43,4
5	Нефть (в зависимости от состава)	ГОСТ Р 51858-2002	39,8÷43,9
6	Мазут	ГОСТ 10585-2013	39,0÷41,5
7	Дизельное топливо зимнее	ГОСТ 32511-2013	43,6
8	Дизельное топливо летнее	ГОСТ 32511-2013	43,4
9	Пропан	ГОСТ Р 52087-2018	46,3
10	Бутан	ГОСТ Р 52087-2018	45,7
11	Сжиженный газ (пропан-бутан)	ГОСТ Р 52087-2018	46,1

Теплота сгорания некоторых марок нефти, дизельного топлива и бензинов, в зависимости от состава, марки и типа, близка по значениям и составляет от 43,4 МДж/кг до 44,0 МДж/кг (Таблица 3.3). При этом сжиженный газ (пропан-бутан) имеет более высокую теплоту сгорания по сравнению с бензинами и дизельным топливом – 46,1 МДж/кг. Следовательно, использование сжиженного газа

(пропан-бутана) с большей теплотой сгорания в качестве горючей нагрузки в МОП должна стать альтернативой применяемым для этого бензинам.

Проведенный в Главе 1 анализ стандартных методик испытаний огнетушителей, определил их главные недостатки – это неудобства, связанные с ограничениями по выбору материалов для МОП и сложности их подготовки к проведению испытаний, а также – влияние субъективного фактора на результаты испытаний [4, 32].

Таким образом, данная задача может быть решена путем разработки стенда для испытаний, который должен отвечать нескольким условиям:

1. Стенд должен иметь единый МОП, соответствующий предъявляемым требованиям по основным параметрам, и возможность трансформации для проведения испытаний всего модельного ряда огнетушителей.

Для создания единого МОП, отвечающего основному параметру – мощности тепловыделения, необходимо следующее:

материал корпуса должен быть изготовлен из негорючего материала, стойкого к внешнему механическому воздействию, сохраняющего целостность при многократном его использовании;

конструкция должна обеспечивать геометрическую устойчивость форм при задаваемой оператором–испытателем мощности тепловыделения;

иметь вариативность под задаваемые для него геометрические размеры и значения мощности тепловыделения;

обеспечивать стабильный температурный режим.

2. С целью уменьшения влияния субъективного фактора на результаты испытаний, минимизировать участие оператора-испытателя в процессе тушения за счет автоматизации процесса тушения.

Исходя из этих условий, характеристики и параметры предлагаемой модели испытательного стенда должны исключить недостатки существующих МОП и учесть их основной параметр – мощность тепловыделения.

3.2.1 Форма и характеристики модельного очага пожара

На основании анализа стандартного МОП класса В, учитывая его основной параметр (мощность тепловыделения), разработан вариант, в котором в качестве горючей нагрузки используется природный газ (пропан-бутановая смесь), имеющий большее значение низшей теплоты сгорания, по сравнению с бензинами. Использование данного вида углеводородного топлива, подаваемого с помощью газовой горелки (Рисунок 3.1), является более удобным для проведения огневых испытаний огнетушителей при оценке соответствия их характеристик установленным требованиям [54].

Характеристики МОП, полученные в результате исследования, в зависимости от геометрических размеров и расхода бытового газа, соответствуют стандартным требованиям по мощности тепловыделения, предъявляемым к модельным очагам пожара [4].

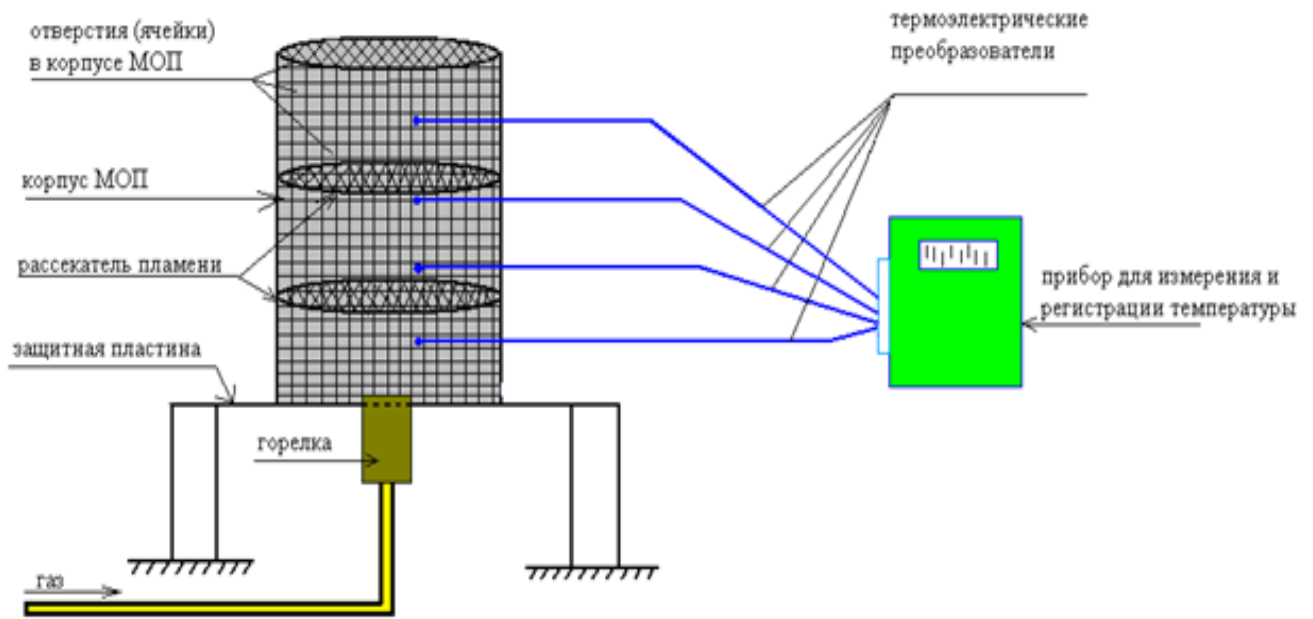


Рисунок 3.1 – Вариант МОП на основе природного газа, подаваемого с помощью газовой горелки

Корпус МОП выполнен съемным, цилиндрической формы (без нижнего основания), из металлической сетки [55] с изменяемым (по мере надобности) размером ячеек в свету от 0,20 x 0,13 до 10,0 x 10,0 мм (для обеспечения условий сгорания горючей смеси).

Равномерность распределения тепла по корпусу МОП обеспечивают рассекатели пламени горелки, установленные на фиксированных расстояниях от нижнего его основания: 30 мм и 70 мм (при высоте корпуса 100 мм); 50 мм и 100 мм (для корпусов высотой 150 мм).

Измерение температурного режима на поверхности корпуса МОП осуществляют термоэлектрические преобразователи ХА ТП-0198 (диапазон измерений от минус 40 до 1100 °С, класс допуска 2) [56], установленные на расстояниях 20, 40, 60, 80 мм (для корпусов высотой 100 мм) и 30, 60, 90, 120 мм (для корпусов с высотой корпусов 150 мм) от основания МОП.

Величину подачи горючего газа в МОП регистрируют ротаметром РМ – 062Г с верхним пределом измерения по воздуху 0,16 м³/ч (погрешность измерения – не более 10%).

Целью проведения данной серии экспериментов являлось создание условий для объективной оценки эффекта тушения пожара испытываемым огнетушителем, а задачами – обоснование характеристик МОП:

формы и геометрических размеров корпуса;

мощности тепловыделения;

размещения средств измерения температуры на корпусе.

При всем многообразии форм и типов исполнения горелок, как правило, их пламя имеет вытянутую форму. Принимая во внимание это обстоятельство и необходимость регистрации различных параметров испытаний, предпочтение отдано цилиндрическому варианту формы МОП.

Определение геометрических размеров цилиндра выполнено из условия обеспечения стационарного распределения теплового потока от пламени горелки (при постоянстве характеристик сетки, теплового потока). В таком случае (Рисунок 3.1) тепловой поток от газовой горелки поглощается массой обечайки (цилиндрической поверхности) и четырех деталей с поверхностями круглого сечения (торец цилиндра, защитная пластина его опоры и два рассекателя пламени). Сумма указанных поверхностей (при одинаковой толщине деталей, влияющей на величину массы) равна:

$$F = 4\pi R^2 + 2\pi RH, \quad (3.1)$$

где R – радиус цилиндра МОП, м;

H – высота цилиндра МОП, м.

Очевидно, что для равномерности распределения температуры необходимо, чтобы разность тепловых потоков через эти элементы конструкции МОП была (по возможности) минимальной:

$$\Delta q(R, H) = q4\pi R^2 - q2\pi RH \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

где Δq – разность мощностей тепловых потоков через элементы конструкции МОП, кВт/м²;

q – интенсивность теплового излучения газовой горелки, кВт/м².

После дифференцирования уравнения (3.2) по переменной R , получаем:

$$8\pi R^2 - 2\pi RH = 0, \text{ откуда: } 4R = H \quad (3.3)$$

Таким образом, оптимальное соотношение между геометрическими размерами МОП, обеспечивающее равномерность распределения теплового потока, составит:

$$H = 2D \quad (3.4)$$

Результаты предварительного экспериментального обоснования размеров корпуса МОП (на сетке с номинальными размерами сторон ячейки в свету 3x4 мм) представлены в Таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Влияние характеристик корпуса МОП на равномерность распределения пламени

Геометрические размеры корпуса, мм		Количество рассекателей пламени	Результат эксперимента и решение по совершенствованию конструкции
диаметр	высота		
40	150	–	Неравномерное распределение пламени по диаметру корпуса, увеличить диаметр до 50 мм.
50		–	Пламя выходит за границы сетки корпуса, установить рассекатель пламени.
50		1	Неравномерное распределение пламени по диаметру корпуса, увеличить его до 60 мм.
60		1	Пламя не охватывает верхний торец цилиндра, уменьшить высоту корпуса до 100 мм.
60	100	1	Пламя выходит за границы сетки корпуса, установить второй рассекатель пламени.

Геометрические размеры корпуса, мм		Количество рассекателей пламени	Результат эксперимента и решение по совершенствованию конструкции
диаметр	высота		
60		2	Неравномерное распределение пламени по диаметру корпуса, уменьшить диаметр до 50 мм.
50		2	Пламя выходит за границы сетки корпуса, увеличить диаметр корпуса до 55 мм.
55		2	Равномерное распределение пламени по сетке корпуса МОП

Затем проведены эксперименты на корпусах МОП из сеток с номинальными размерами ячеек: 0,20 x 0,13; 0,50 x 0,50; 0,63 x 0,25; 3,2 x 3,2; и 10,0 x 10,0 мм. Они подтвердили, что соотношения размеров корпуса МОП, позволяющие равномерно распределять пламя горелки, полученные при диаметрах 50, 55 и 60 мм и высоте – 100 и 150 мм, практически соответствует равенству (3.4).

Обоснование формы и размеров корпуса МОП, изложенное выше, выполнено из условия обеспечения стационарного распределения теплового потока от пламени горелки (при постоянстве характеристик сетки). При этом мощность тепловыделения горелки N_{Γ} (Дж/с = Вт) зависит от величины расхода G (кг/с) горючего газа и его низшей теплоты сгорания Q_n (Дж/кг):

$$N_{\Gamma} = G Q_n, \quad (3.5)$$

где N_{Γ} – мощность тепловыделения горелки, Дж/с = Вт;

G – расход горючего газа, кг/с;

Q_n – низшей теплоты сгорания, Дж/кг.

Учитывая, что в процессе одного эксперимента характеристики элементов конструкции МОП – неизменны, то температура поверхности сетки будет полностью (исключая теплотехнические потери) зависеть от величины расхода G (кг/с). Изменяя ее, можно задавать (имитировать) температуру гипотетически

горящего тела (нефтепродукта, древесины и других материалов) и определять пригодность огнетушителя для этой цели.

Мощность тепловыделения горючего газа $Q_{тв}$ может быть рассчитана на основе учета интенсивности испарения W горючей жидкости (по справочным и экспериментальным данным) по формуле [57, 58]:

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_n \quad (3.6)$$

где W – интенсивность испарения бензина, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

η – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

M – молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

P_n – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости, определяемое по справочным данным, кПа.

Следовательно:

$$Q_{тв.б} = Q_n W S_{оч} \quad (3.7)$$

где $Q_{тв}$ – мощность тепловыделения при сгорании бензина в МОП, кВт;

Q_n – низшая теплота сгорания газа, кДж/кг;

$S_{оч}$ – площадь очага МОП, м^2 .

Взаимосвязь мощности тепловыделения используемых при проведении сертификационных испытаний МОП класса В и их характеристик [4] представлена в Таблице 3.5.

Фактически оценка эффективности огнетушителя определяется его огнетушащей способностью и характеризуется рангом потушенного МОП [4], имеющего мощность тепловыделения.

Таким образом, зная количество пролитой ГЖ и площадь разлива, можно определить мощность тепловыделения очага горения, а, зная количество теплоты, которое отбирает огнетушитель у МОП, возможно классифицировать его по этому параметру.

Таблица 3.5 – Мощность тепловыделения и характеристики стандартных МОП класса В

Ранг МОП	Характеристики МОП		
	Внутренний диаметр противня, м	Площадь противня, м ²	Мощность тепловыделения, кВт
1В	0,20	0,03	1,5
2В	0,30	0,07	3,5
3В	0,35	0,10	4,8
5В	0,45	0,16	7,9
8В	0,60	0,28	14,0
13В	0,70	0,39	19,1
21В	0,90	0,64	31,5
34В	1,20	1,13	56,0
55В	1,50	1,77	87,6
70В	1,70	2,27	112,5
89В	1,90	2,83	140,6
113В	2,15	3,63	180,0
144В	2,40	4,52	224,3
183В	2,70	5,72	283,8
233В	3,00	7,07	350,4

3.2.2 Расход газа в МОП и распределение пламени по корпусу

Равномерное распределение пламени по корпусу МОП является важным элементом для оценки эффекта тушения. Решение данной задачи видится в достижении визуального эффекта и определении оптимального расстояния между термопарами для достоверности выполняемых измерений температуры путем обоснования координат точек размещения термопар на корпусе МОП. С этой целью было проведено экспериментальное исследование различных схем

крепления термопар на корпусе МОП, основанных на данных по распределению температуры в МОП.

Определение значений температуры в горящем МОП и визуальное распределение пламени осуществлялось на испытательной установке, при проведении натурных огневых экспериментов. Для получения достоверных данных, было исключено влияние на стабильность пламени таких внешних факторов воздействия, как скорость ветра и наличие атмосферных осадков.

Испытательная установка включает в себя перемещаемую по горизонтальной поверхности стойку высотой 3 метра, закрепленную на опоре. По всей высоте стойки расположены отверстия для горизонтального монтажа выдвижных штанг. К штангам крепились термоэлектрические преобразователи, соединенные с регистрирующим прибором для фиксации значений температур.

Модель установки по определению значений температуры в горящем МОП класса В реализована в устройстве, сущность которого пояснена на Рисунке 3.2.

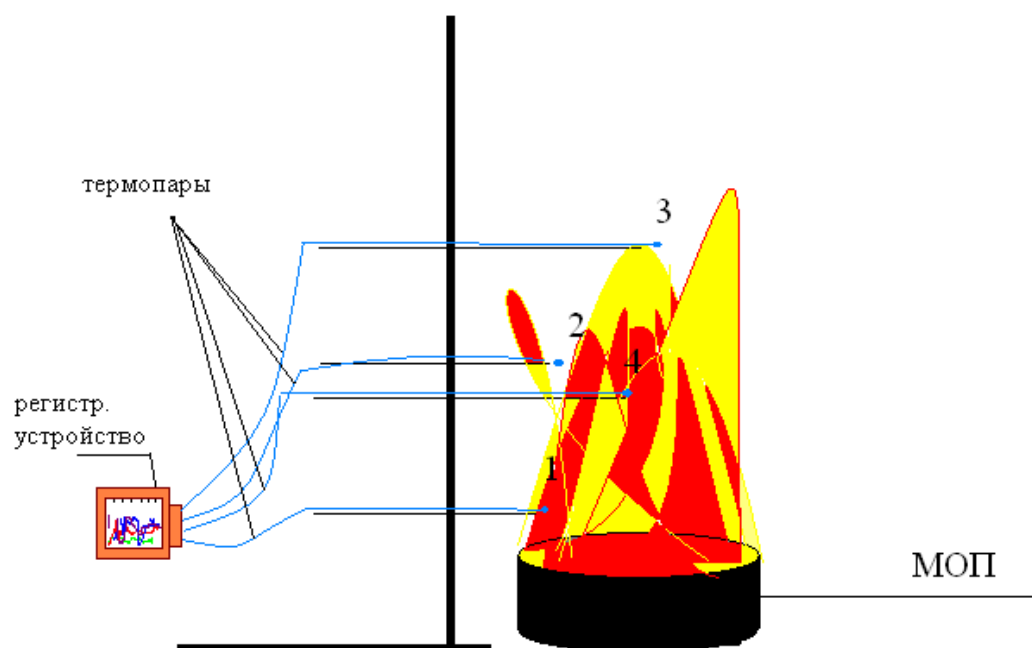


Рисунок 3.2 – Модель установки по определению значений температуры МОП класса В: 1, 2, 3 и 4 – точки измерения температуры

Термоэлектрические преобразователи размещены на выдвижных регулируемых штангах, закрепленных на стойке, и имеют 4 точки измерения температуры, расположенные следующим образом:

1 точка – находится на высоте 400 мм от уровня пола для измерения температуры в нижней части (области) фронта пламени МОП;

2 точка – находится на высоте 1000 мм от уровня пола для измерения температуры в средней части (области) фронта пламени МОП;

3 точка – находится на высоте 1500 мм от уровня пола для измерения в температуры верхней части (области) пламени МОП;

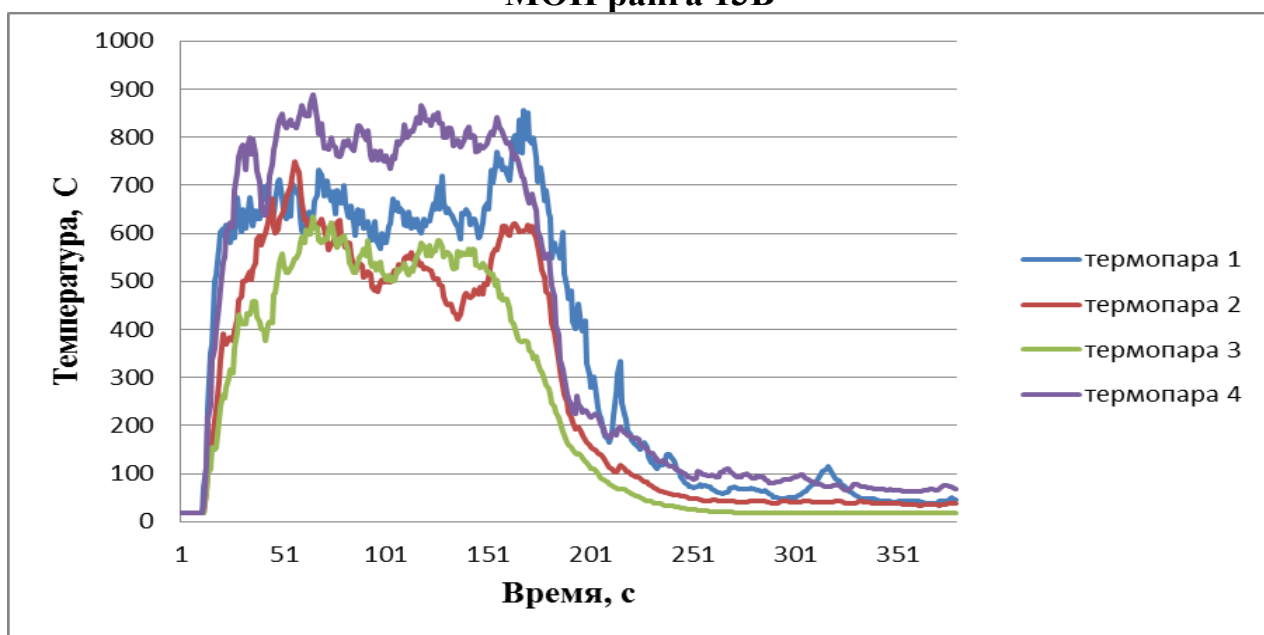
4 точка – находится на высоте 900 мм от уровня пола для измерения температуры в центральной части (области) пламени МОП

Регистрирующее устройство представлено многоканальным регистратором «Региграф» марки F1771, осуществляющего сбор, визуализацию и обработку результатов измерений температуры в МОП.

В качестве очагов пожара применяли МОП ранга 13В и 21В (Таблица 3.5) [4], являющиеся минимальными рангами, которые должны тушить огнетушители.

Примеры графиков распределения температуры пламени МОП в точках замера приведены на Рисунке 3.3. Средние значения максимальных температур в замераемых точках пламени МОП составляли $(800 \pm 20) ^\circ\text{C}$.

МОП ранга 13В



МОП ранга 21В

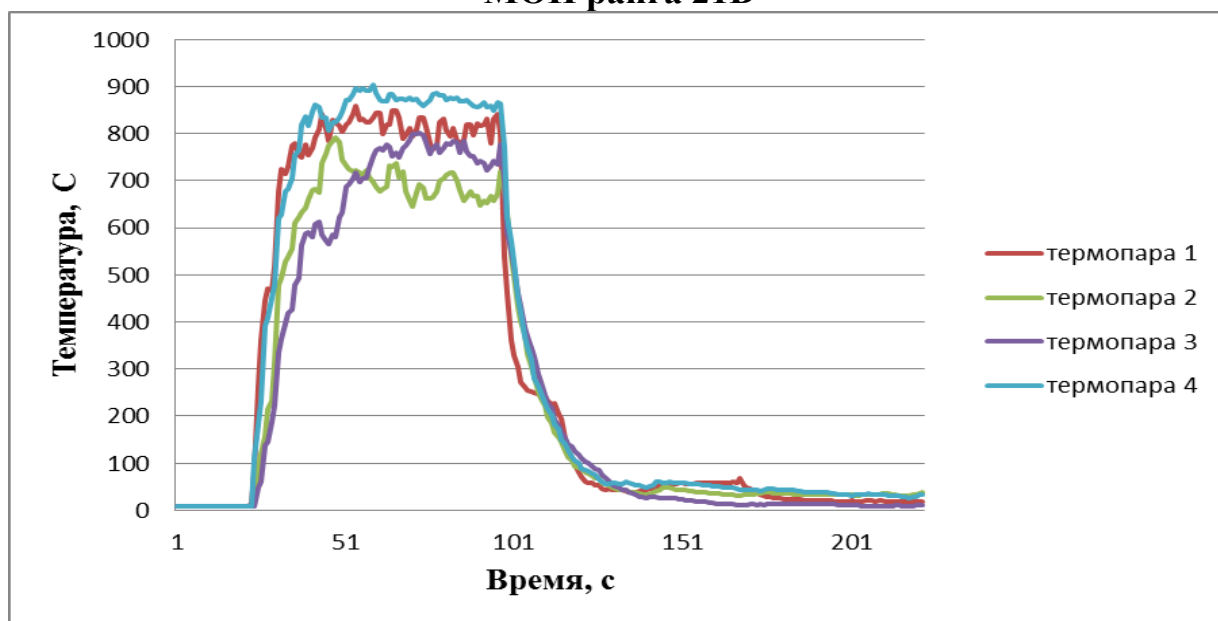
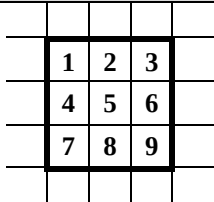
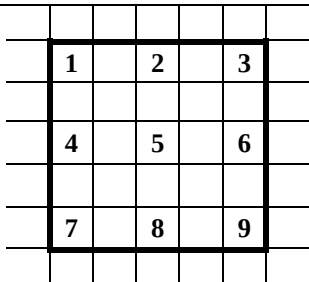
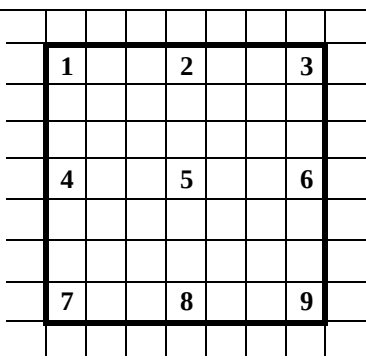
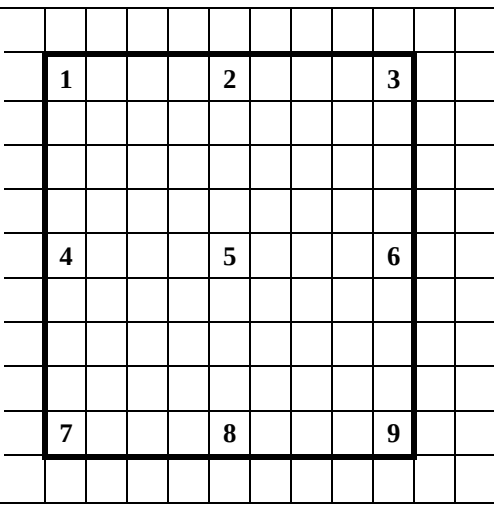


Рисунок 3.3 – Распределение температур пламени МОП класса В

По результатам экспериментов определения значений температуры, а также, учитывая распределение пламени, разработаны схемы крепления термопар на корпусе экспериментального МОП с оптимальным расстоянием между ними. Результаты экспериментального исследования схем крепления термопар на корпусе МОП с учетом данных по распределению температуры представлены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Схемы крепления термопар на корпусе МОП стенда для испытаний

Номер и наименование схемы крепления термопар	Схема крепления термопар на сетке	Размеры участка размещения термопар, мм
Схема 1. Крепление в каждую ячейку сетки		12x12
Схема 2. Крепление через одну ячейку сетки		20x20
Схема 3. Крепление через две ячейки сетки		28x28
Схема 4. Крепление через три ячейки сетки		36x36
Примечание: цифры 1-9 соответствуют порядковым номерам термопар, закрепленных в ячейках на сетке корпуса МОП. Контуром на схеме показана площадь, на которой проведены измерения.		

Задача решена экспериментально (методом последовательного приближения) – расстояние увеличивалось на одну, две и три ячейки до тех пор, пока оно не влияло на стабильность результатов. Сначала термопары крепились максимально близко друг к другу (Таблица 6, схема 1 – в соседние ячейки сетки, в три ряда, по три в ряду). Центральная термопара (№ 5) располагалась на высоте 50 мм от основания корпуса МОП, остальные – симметрично относительно нее. Затем расстояние между термопарами увеличивали. При этом центром площади, на которой проводились измерения, являлась термопара (№ 5), расположенная как указано выше.

Каждая серия экспериментов проведена не менее 4 раз (каждый раз в новых точках МОП, как правило, со смещением на 90^0 в горизонтальной плоскости).

Пределы допускаемых отклонений примененных термопар (класса допуска 2) приняты по [59].

В результате экспериментов получены значения температур на поверхности корпуса МОП при различных схемах крепления термопар, которые представлены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значения температур на поверхности корпуса МОП при различных схемах крепления термопар

Схема крепления термопар	Номер эксперимента	Среднеарифметическое значение температуры (^0C) по данным		Погрешности измерения (^0C)		
		9-ти термопар	4-х экспериментов	приборная	случайная	суммарная
1	1	598	605	4,5	11,5	12,3
	2	600				
	3	613				
	4	609				
2	1	585	597	4,5	15,6	16,2
	2	601				
	3	595				
	4	608				

Схема крепления термопар	Номер экспер имента	Среднеарифметическое значение температуры ($^{\circ}\text{C}$) по данным		Погрешности измерения ($^{\circ}\text{C}$)		
		9-ти термопар	4-х экспериментов	приборн ая	случай ная	суммар ная
3	1	660	671	4,5	12,1	13,1
	2	675				
	3	672				
	4	677				
4	1	654	650	4,5	42,6	42,9
	2	684				
	3	641				
	4	620				

Эксперименты показывают, что увеличение расстояния между термопарами до определенного значения не влияет на изменение температурного поля условной площади корпуса МОП, так как значения полученных температур близки друг к другу.

Однако, это верно только до определенного значения, после которого разброс значений увеличивается, и температурное поле условной площади корпуса МОП становится не стабильным. Это следует из Таблицы 3.7 (схема 4), когда случайная погрешность измерения превышает почти в десять раз погрешность термопар, и, следовательно, не обеспечено постоянство определения эффекта тушения (охлаждения) путем отбора тепла.

Таким образом, максимальное расстояние между термопарами следует принять по схеме № 3.

Взаимосвязь расхода горючего газа и температуры корпуса исследованного типоразмера МОП (цилиндр диаметром – 55 мм, высотой – 100 мм, сетка 2-3,2-080 НУ [60], сталь низкоуглеродистая с размерами ячеек 3,2 x 3,2 мм) отражена в Таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Зависимость распределения температуры по высоте корпуса МОП от расхода горючего газа

Расстояние от основания корпуса МОП	Значения температур ($^{\circ}\text{C}$) на корпусе МОП при расходах горючего газа (л/мин)			
	1,07	1,34	1,60	2,14
20 мм	235	260	437	510
	227	250	480	482
	219	274	463	513
Среднее значение	227	261	460	502
40 мм	148	155	315	430
	132	149	355	425
	137	182	335	417
Среднее значение	139	162	335	424
60 мм	150	161	390	525
	154	148	447	537
	142	190	386	520
Среднее значение	149	166	408	527
80 мм	250	262	566	681
	257	268	623	785
	257	255	628	799
Среднее значение	255	262	606	755
Примечание: * Время выхода на установившийся рабочий режим составляет 1 мин (температура в контрольных точках замера на корпусе МОП достигает максимального значения и поддерживается на данном уровне)				

В результате экспериментов определен расход горючего газа (2,14 л/мин) и визуально подтверждено равномерное распределение пламени по сетке корпуса МОП, при которых регистрируемые значения температур максимальны и стабильны.

Характеристики исследованного МОП в зависимости от расхода горючего газа соответствуют требованиям МОП 1В и 2В [4]. Результаты значений расхода и мощности тепловыделения горючего газа, определенные на экспериментальном варианте МОП (Рисунок 3.1), приведены в Таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Значения расхода и мощности тепловыделения горючего газа экспериментального варианта МОП

Условные единицы ротаметра	Расход газа, q_g		Мощность тепловыделения горючего газа – $Q_{ТВ}$, кВт
	л/мин	$10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	
40	1,07	17,8	1,8
50	1,34	22,2	2,2
60	1,60	26,7	2,7
80	2,14	35,6	3,6

Полученные результаты позволили прийти к выводу, что мощность тепловыделения МОП в зависимости от расхода газа q_g , используемого в качестве горючей нагрузки, имеет следующее аналитическое выражение:

$$Q_{ТВ} = 1,70 \cdot q_g - 0,04 \quad (3.8)$$

(при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,99$)

Данная зависимость позволяет определить требуемый расход горючего газа, соответствующий любому рангу МОП класса В (Таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Расход горючего газа, соответствующий рангам МОП

МОП стенда для испытания порошковых огнетушителей		Соответствие рангу МОП класса В (ГОСТ Р 51017, ГОСТ Р 51057)
Расход газа q_g не менее, л/мин	Мощность тепловыделения $Q_{ТВ}$, кВт	
0,91	1,5	1В
2,08	3,5	2В
2,85	4,8	3В
4,67	7,9	5В
8,26	14,0	8В

МОП стенда для испытания порошковых огнетушителей		Соответствие рангу МОП класса В (ГОСТ Р 51017, ГОСТ Р 51057)
Расход газа q_g не менее, л/мин	Мощность тепловыделения $Q_{ТВ}$, кВт	
11,26	19,1	13В
18,55	31,5	21В
32,95	56,0	34В
51,55	87,6	55В
66,19	112,5	70В
82,72	140,6	89В
105,89	180,0	113В
131,95	224,3	144В
166,94	283,8	183В
206,12	350,4	233В

С целью определения возможности создания требуемого расхода горючего газа для типоразмеров МОП класса В, проведен анализ характеристик газоздушных горелок, представленных на отечественном рынке. Результаты показали, что данный вид изделий имеет большой ассортимент. В Таблице 3.11 представлены технические характеристики газоздушных горелок некоторых представителей данного сегмента рынка [61-63].

Таблица 3.11 – Технические характеристики газовоздушных горелок, представленных на рынке России

Марка горелки, производитель	Технические характеристики горелок (данные производителя)	
	Диаметр наконечника (мундштука), мм	Мощность теплового потока, $Q_{\text{ТВ}}$, кВт
ГВК-6Р, ООО «Дока»	30	1,2
ГВ-70, ООО «Дока»	70	1,6
ГВ-43, ООО «Дока»	50	1,8
ГВ-100Р, ООО «Редиус 168»	35	39
ГВ-111Р, ООО «Редиус 168»	50	62
ГВ-500Р и ГВ-850Р, ООО «ПТК»	50	(65÷134)
ГВ ДОН 500 и ГВ ДОН 900, ЗАО «ДОНМЕТ»	50	(65÷134)
ГВ-121Р, ООО «Редиус 168»	70	139
ГВ-131Р, ООО «Редиус 168»	2x50	124

Сравнение потребностей в величине расхода газа, необходимой для создания мощности тепловыделения МОП (Таблица 3.10), и характеристик горелок (Таблица 3.11) показывает возможность замены действующих стандартных МОП на варианты исполнения с применением в качестве горючей нагрузки – газа [4].

Производители выпускают горелки, имеющие регулятор расхода (буква «Р» в модификации) и данные, указанные в технической документации (паспортах на изделия) отражают максимальные значения. Это означает, что модификации горелок с регуляторами расхода потенциально могут соответствовать требованиям по мощности тепловыделения сразу нескольких МОП.

Представленные теоретические и экспериментальные результаты исследования подтверждают возможность разработки испытательного стенда для проведения испытаний полноразмерных огнетушителей с использованием авторской конструкции МОП, обеспечивающей наилучшую стабильность результатов оценки и большее удобство в работе сотрудникам–испытателям. Имеет важное значение и то, что предлагаемый модельный очаг пожара обеспечивает возможность моделирования очагов пожаров с различным количеством выделяемого тепла, который в свою очередь унифицирует существующие МОП класса В [4].

3.3 Модель стенда для испытания порошковых огнетушителей

Из всего многообразия устройств и стендов для создания модельных очагов горения, с учетом требований, предъявляемых к стенду для испытания огнетушителей, рассмотрены три варианта аналогов, отвечающих предъявляемым критериям.

1. Устройство для моделирования очага пожара [64], содержащее цилиндрический корпус горелки с фланцем для крепления, трансформатор зажигания, электрод зажигания, фотодатчик для регистрации пламени горения топливно–воздушной смеси в зоне горения, два распылителя с разным расходом, соединенные с электромагнитными клапанами жидкого топлива посредством топливопроводов, термопару, корпус устройства, ограниченный в одном торце вентилятором, а в другом торце – пламядержателем и рассекателем газовых потоков, верхняя стенка корпуса имеет козырек, помимо того, корпус устройства имеет в средней части сужение.

Основные недостатки устройства состоят в следующем:

предназначено для использования в совокупности с элементами мебели и интерьера (возгорание бытовых электроприборов, мебели, пищи на плите и т.п.), что влечет за собой необходимость постоянного подбора элементов мебели и замену сгоревшей горючей нагрузки в модельном очаге пожара;

существует необходимость в специализированном помещении (сооружении) для размещения горелки, элементов мебели и интерьера.

2. Устройства для моделирования очагов пожара классов А и В [4, 32], используемые при проведении огневых испытаний огнетушителей, представляющие собой деревянный штабель в виде куба или круглый стальной противень с бензином соответственно и имеющие параметры в соответствии с типоразмером испытываемого огнетушителя.

Основные недостатки данных устройств состоят в следующем:

необходимость использования крупногабаритных и тяжелых сопутствующих принадлежностей: металлических подставок, поддонов, противней диаметром до 3 м, а также большого количества горючей нагрузки в виде древесины и бензина с регламентированными характеристиками;

не исключен субъективный подход оператора по определению огнетушащей способности при испытаниях огнетушителя.

3. Стенд для исследования процессов горения и тушения пожара [65], включающий средства создания очага пожара, трубопроводы для подачи горючего газа и регистрирующую аппаратуру, в котором в качестве средства создания очага пожара используют газовую горелку, выполненную с возможностью соединения одним трубопроводом с емкостью газа для розжига, а другим соединительным трубопроводом с емкостью для хранения горючего газа, каждый трубопровод подсоединен к соответствующим емкостям с газом через балансировочный клапан, обратный клапан и шаровой кран, а соединительный трубопровод дополнительно и через редуктор, горелка выполнена с возможностью крепления на ней сменных насадок и снабжена манометром.

Недостаток стенда состоит в том, что очаг пожара стенда не предназначен для реагирования (ориентация в пространстве, направление ветра, подача огнетушащего вещества и т.п.) на условия, возникающие при исследовании процессов горения и (или) тушении пожара.

Наиболее близким по требованиям и техническим решениям, предъявляемым к стенду для испытания огнетушителей, является испытательный стенд определения тока утечки по струе заряда огнетушителя [4, 32], включающий испытываемый образец пожарной техники, имитатор электроустановки, емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества и регистрирующую аппаратуру, в котором в качестве испытываемого образца пожарной техники используют огнетушитель, размещенный на изолирующей подставке и приводимый в действие устройством запуска, а имитатором электроустановки являются мишень, защитный экран и устройства, создающие и регулирующие задаваемые характеристики электрического тока.

Однако кроме некоторых недостатков, характерных для рассмотренных выше вариантов, этому стенду свойственны и собственные недостатки, заключающиеся в том, что мишень испытательного стенда и испытываемый огнетушитель не предназначены для реагирования (ориентация в пространстве, направление ветра, угол подачи огнетушащего вещества и т.п.) на условия, возникающие при исследовании процессов горения и (или) тушении пожара, а также расстояние от насадка огнетушителя до мишени всегда должно быть неизменно.

Перечисленные конструктивные недостатки рассмотренных устройств и стендов существенно сужают сферу их применения и не обеспечивают получения достоверной информации о характеристиках эффективности огнетушителей в условиях их эксплуатации.

Предлагаемая конструкция стенда для испытания огнетушителей устраняет ряд недостатков существующих МОП за счет:

наличия вращающегося вокруг мишени на заданном расстоянии устройства с закрепленным на нем огнетушителем;

обеспечения изменения расположения огнетушителя относительно вертикальной оси мишени при уменьшении температуры участка сетки до критической (температуры тушения) посредством термоэлектрических

преобразователей, механизма вращения устройства с огнетушителем и блока управления поворотным кронштейном;

возможности изменения расстояния (перемещения) относительно друг друга испытываемого огнетушителя и мишени.

3.3.1 Описание авторской модели стенда для испытания порошковых огнетушителей

Модель стенда реализована в устройстве, сущность которого пояснена на Рисунках 3.4 и 3.5, где: 1 – перемещаемое устройство для крепления огнетушителя, 2 – устройство запуска огнетушителя, 3 – система крепежей перемещаемого устройства к поворотному кронштейну, 4 – огнетушитель, 5 – система крепежей огнетушителя, 6 – корпус мишени, 7 – экран, 8 – устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей, 9 – блок управления поворотным кронштейном, 10 – газовый баллон с редуктором, 11 – соединительный газовый трубопровод, 12 – ротаметр, 13 – термоэлектрические преобразователи, 14 – рассекатель пламени и газовых потоков, 15 – механизм вращения устройства с огнетушителем, 16 – газовая горелка, 17 – поворотный кронштейн, 18 – основание-платформа мишени, 19 – емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества, 20 – измерительная линейка, 21 – струя огнетушащего вещества.

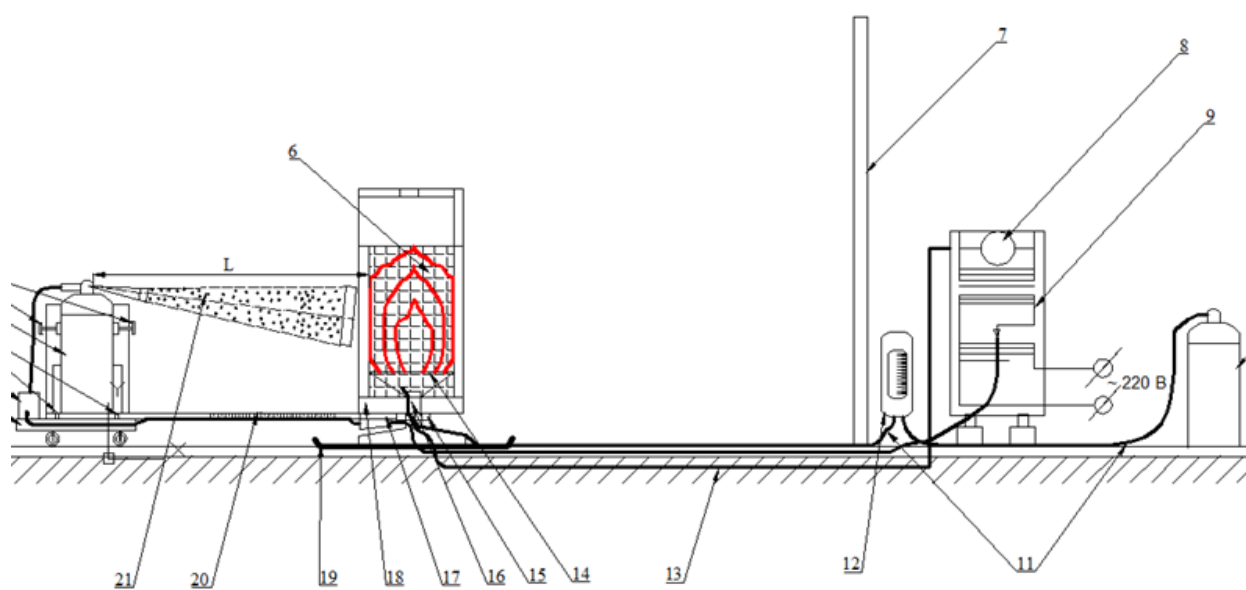


Рисунок 3.4 – Модель стенда для испытания порошковых огнетушителей
(вид сбоку)

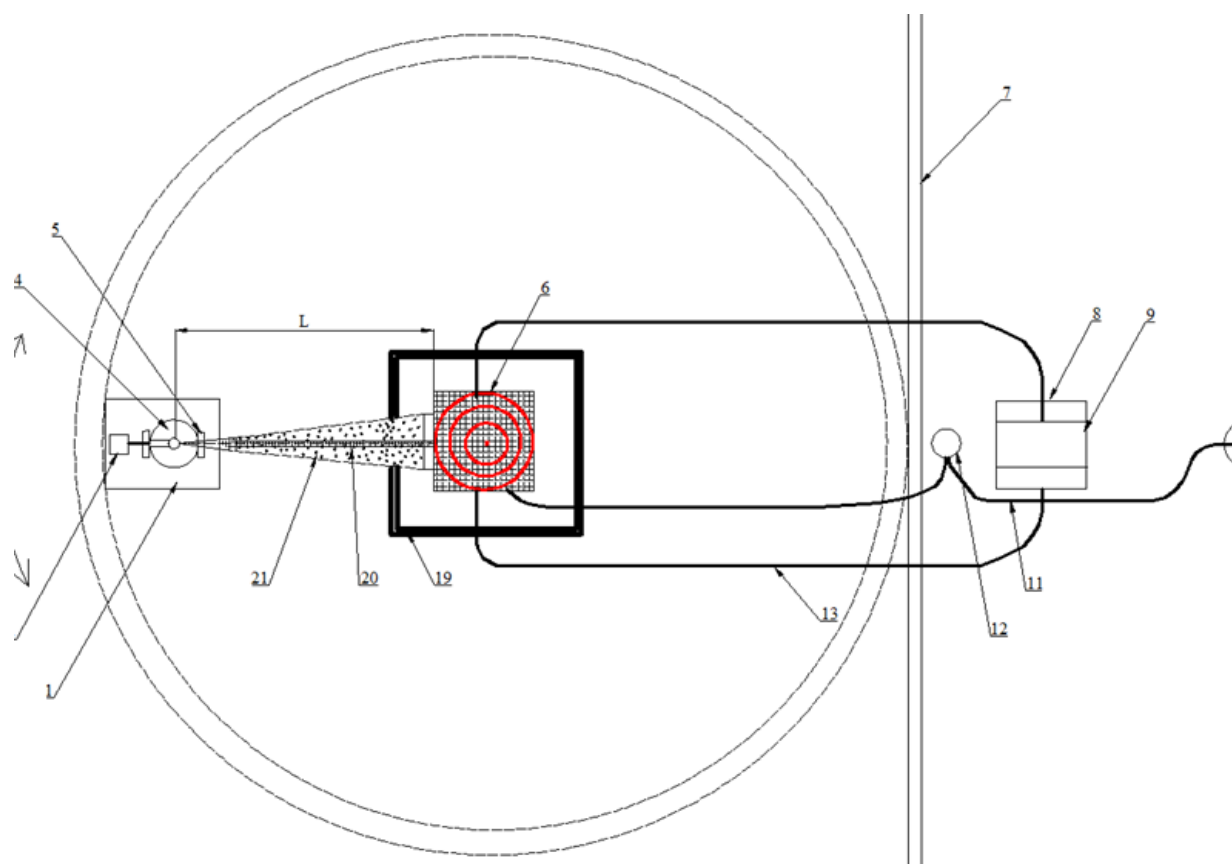


Рисунок 3.5 – Модель стенда для испытания порошковых огнетушителей
(вид сверху)

Мишень стенда содержит основание-платформу мишени 18, рассекаТЕЛЬ пламени и газовых потоков 14 для стабилизации газовых потоков в процессе горения и корпус мишени 6, выполненный в форме цилиндра. Основанием-платформой мишени 18 является лист металла на жестких стержнях, закрепленных снизу, с технологическим отверстием по центру для размещения газовой горелки 16 и термоэлектрических преобразователей 13. Над местом расположения газовой горелки 16 находится рассекаТЕЛЬ пламени и газовых потоков 14 для равномерного распределения и стабилизации пламени внутри корпуса мишени 6. На основание-платформу мишени 18 крепится корпус мишени 6 необходимого для проведения испытания (эксперимента) типоразмера, имеющий отверстия по всей своей площади. Отверстия предназначены для беспрепятственного газообмена и проникновения огнетушащего вещества. Корпус мишени 6 выполнен полым, цилиндрической формы из сетчатого негорючего и теплопроводящего материала.

Газовая горелка 16, расположенная в нижней части мишени, направлена соплом вертикально вверх. Газовая горелка 16 посредством гибкого газового шланга 11 соединена с газовым баллоном 10 с редуктором.

Термоэлектрические преобразователи 13, идущие от устройства, регистрирующего показания термоэлектрических преобразователей 8, крепятся непосредственно на корпусе мишени 6.

Блок управления поворотным кронштейном 9, соединенный с устройством, регистрирующим показания термоэлектрических преобразователей 8, предназначен для подачи сигнала на механизм вращения устройства с огнетушителем 15, отвечающий за вращение перемещаемого устройства для крепления огнетушителя 1 с огнетушителем 4 вокруг очага горения.

Перемещаемое устройство для крепления огнетушителя 1 для крепления огнетушителя 4 с помощью системы крепежей 5 и устройством запуска огнетушителя 2 устанавливается на расстоянии, заданном условиями проведения эксперимента (испытаниями). Перемещаемое устройство для крепления

огнетушителя 1 для передвижения оборудовано роликами, закрепленными снизу через жесткие стержни. На поворотном кронштейне механизма вращения устройства с огнетушителем 15 расположена измерительная линейка 20, фиксирующая расстояние по горизонтали от корпуса мишени 6 до сопла (раструба, шланга и т.п.) испытываемого огнетушителя 4. На перемещаемом устройстве для крепления огнетушителя 1 расположена система крепежей 3 для фиксации к поворотному кронштейну 17 механизма вращения устройства с огнетушителем 15.

3.3.2 Подготовка стенда к испытаниям порошковых огнетушителей

Стенд собирается в зависимости от целей и условий проведения эксперимента (испытания).

Под основание-платформу мишени 18 устанавливается емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества 19. На основание-платформу мишени 18 устанавливается корпус мишени 6. На корпусе мишени 6 крепятся (фиксируются) термоэлектрические преобразователи 13, идущие от устройства, регистрирующего показания термоэлектрических преобразователей 8. Снизу основания-платформы мишени 18 в технологическое отверстие крепится газовая горелка 16, направленная соплом вертикально вверх. Газовая горелка 16 посредством соединительного газового трубопровода 11 соединяется с газовым баллоном 10 с редуктором. Устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей 8 подсоединяется для передачи данных к блоку управления поворотным кронштейном 9 механизма вращения устройства с огнетушителем 15, отвечающего за оперативное изменение расположения перемещаемого устройства для крепления огнетушителя 1 относительно мишени. На расстоянии, заданном условиями проведения эксперимента (испытаниями), устанавливается перемещаемое устройство для крепления огнетушителя 1, которое фиксируется к поворотному кронштейну механизма вращения 15 системой крепежей перемещаемого устройства к поворотному кронштейну 3. На перемещаемом устройстве для крепления огнетушителя 1 устанавливают с

помощью системы крепежей 5 огнетушитель 4 и устройство запуска огнетушителя 2. Устанавливается экран 7, который отделяет устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей 8, блок управления поворотным кронштейном механизма вращения 9 и газовый баллон 10 с редуктором от мишени и перемещаемое устройство для крепления огнетушителя 1 с закрепленным огнетушителем 4.

В зависимости от целей и условий проведения эксперимента (испытания), а также после проведения эксперимента осуществляется переналадка стенда.

После проведения эксперимента (испытания) при необходимости основание-платформу мишени 18, корпус мишени 6, емкость для сбора отработанного огнетушащего вещества 19 и термоэлектрические преобразователи 13 очищаются от огнетушащего вещества. Стенд собирается, как указано в п.3.2.3, с учетом требований нового эксперимента (испытания) – выбирается корпус мишени 6, количество термоэлектрических преобразователей 13, места их размещения и т.д.

3.3.3 Работа стенда для испытания порошковых огнетушителей

Стенд подготавливают к проведению эксперимента (испытания) в зависимости от целей и условий проведения эксперимента (испытания) как указано в п. 3.2.3.

Осуществляют подачу газа в газовую горелку 17 и производят его поджиг.

В зависимости от заданных условий и параметров, путем регулирования подачи газозвдушной смеси, внутри мишени создается заданный «рабочий режим». При проведении исследований процессов горения и (или) тушения пожара осуществляется регистрация и фиксация результатов.

При проведении испытаний по тушению очага горения мишени огнетушителем 4 задействуется система управления механизмом вращения устройства с огнетушителем 15, отвечающим за вращение вокруг мишени перемещаемого устройство для крепления огнетушителя 1.

При достижении внутри мишени заданного «рабочего режима» образец огнетушителя 4 приводят в действие устройством запуска огнетушителя 2. При попадании огнетушащего вещества на корпус мишени 6 происходит поглощение теплоты и его охлаждение. С устройства, регистрирующего показания термоэлектрических преобразователей 8 на блок управления поворотным кронштейном 9 механизма вращения устройства с огнетушителем 15, отвечающего за оперативное изменение расположения перемещаемого устройства для крепления огнетушителя 1 относительно мишени, передается информация о понижении температуры корпуса мишени 6. При неравномерном охлаждении корпуса мишени 6 (заданная разница между значениями термоэлектрических преобразователей 13) блок управления поворотным кронштейном 9 подает сигнал на механизм вращения устройства с огнетушителем 15, отвечающий за оперативное изменение расположения перемещаемого устройства для крепления огнетушителя 1. Перемещаемое устройство для крепления огнетушителя 1 осуществляет поворот (перемещение) к неохлажденной стороне корпуса мишени 6.

Эксперимент (испытание) прекращают после окончания выхода огнетушащего вещества из огнетушителя 4, либо после визуально наблюдаемого окончания тушения очага горения мишени. Наблюдения за экспериментом осуществляется через смотровое окно в экране 7.

Для прекращения эксперимента должно наступить одно из вышеперечисленных условий. После чего прекращается подача газа и фиксируются все результаты эксперимента (испытания).

3.4 Экономическое обоснование характеристик стенда для испытаний порошковых огнетушителей

Одним из наиболее сложных и материально затратных составляющих в системе испытаний огнетушителей является проведение огневых (натурных) испытаний. Общая стоимость проведения огневых испытаний складывается из множества факторов (стоимость испытательного оборудования, технического

обслуживания, метрологического обеспечения, стоимость расходных материалов для создания МОП и т.д.).

Стоимость испытательного оборудования, его технического обслуживания и метрологического обеспечения в той или иной степени определены или регламентированы. Эти факторы, влияющие на общую стоимость проведения испытаний огнетушителей, либо одномоментны (первоначальная закупка оборудования), либо цикличны (техническое обслуживание и метрологическое обеспечение).

Стоимость испытательного оборудования определяется рынком. Как правило, это ограниченный перечень производителей, способных производить данный продукт специального узконаправленного назначения, предлагающих цены одного порядка.

Техническое обслуживание испытательного оборудования и его метрологическое обеспечение регламентированы технической документацией и нормативными документами [66] и представляют собой перечень необходимых работ и алгоритм их проведения соответственно. Стоимость на данный вид услуг также находится в рамках цен, близких друг другу.

Совершенно иначе выглядит картина с расходными материалами для создания МОП. В зависимости от класса и ранга МОП, необходимого для проведения огневых испытаний огнетушителя, стоимость расходных материалов на изготовление отличается в десятки, а в некоторых случаях и в сотни раз.

Для проведения огневых испытаний переносных порошковых огнетушителей определены минимальные ранги МОП [4], которые он должен тушить (Таблица 2.4). Количество и стоимость расходных материалов, необходимых для проведения трех испытаний одного вида порошкового огнетушителя по определению огнетушащей способности на МОП класса А и В, представлены в Таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Количество и стоимость расходных материалов для создания стандартных МОП класса А и В

Ранг МОП	Количество расходных материалов		Стоимость материалов для создания МОП, руб
	древесина, пог.м	бензин, л	
0,1А	10,8	0,3	445
0,3А	25,2	0,9	1047
0,5А	48,0	1,8	2237
0,7А	81,0	2,7	3356
1А	108,0	3,3	4462
2А	213,3	6,0	8792
3А	317,4	8,4	13062
4А	432,0	10,2	17719
6А	638,4	14,4	26149
10А	1069,2	21,0	43671
15А	1606,5	22,8	65240
20А	2137,5	24,6	86554
1В	–	2,1	90
2В	–	3,9	168
3В	–	6,0	258
5В	–	10,5	452
8В	–	15,0	645
13В	–	27,0	1161
21В	–	42,0	1806
34В	–	69,0	2967
55В	–	111,0	4773
70В	–	141,0	6063
89В	–	177,0	7611
113В	–	225,0	9675
144В	–	288,0	12384
183В	–	366,0	15738
233В	–	465,0	19995

С целью подтверждения эффективности огнетушителя, количество огневых испытаний одного вида порошкового огнетушителя целесообразно увеличить.

Например, количество расходных материалов, необходимых для проведения десяти испытаний одного вида порошкового огнетушителя при тушении МОП стенда для испытаний (эквивалент существующим рангам МОП класса В по мощности тепловыделения), будет соответствовать представленному в Таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Количество и стоимость природного газа, необходимого для МОП стенда для испытаний порошковых огнетушителей

Ранг МОП	Мощность тепловыделения/отбора теплоты, кВт	Расход газа, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{мин}$	Стоимость газа, руб
1В	1,5	1,07	3
2В	3,5	2,1	5
3В	4,8	3,1	7
5В	7,9	5,1	11
8В	14,0	9,8	22
13В	19,1	13,4	30
21В	31,5	22,1	50
34В	56,0	39,2	88
55В	87,6	53,3	119
70В	112,5	68,3	153
89В	140,6	94,4	211
113В	180,0	126,0	282
144В	224,3	157,0	351
183В	283,8	198,7	445
233В	350,4	245,3	549
Примечание: Продолжительность одного испытания составляет не более 3 минут (2 минуты выход на режим и равномерный прогрев корпуса МОП стенда и 1 минута на тушение МОП стенда). Количество испытаний одного вида порошкового огнетушителя – 10.			

Для расчета количества и стоимости расходных материалов, необходимых для создания МОП классов А, В и МОП экспериментального стенда для испытаний огнетушителей, использованы следующие исходные данные (в ценах на сентябрь 2019 года):

1. Бензин АИ-92, 43 рубля за 1 литр.
2. Брусok 40x40x3000 мм, 120 рублей за 1 единицу (40 рублей за 1 п.м.).
3. Газ сжиженный (пропан-бутан) 20 рублей за 1 литр.

Баллон заправляют на 85% от общего объема, т.е. объем сжиженного природного газа в нем составляет 42,5 л (масса 21,675 кг).

Исходя из того, что при нормальных условиях 1 кг сжиженного пропана соответствует 11,4 м³ газообразного. Следовательно, то стоимость 1 м³ газа при цене 20 рублей за 1 литр составляет 74,6 рублей.

По результатам расчетов стоимости расходных материалов, затрачиваемых на проведение огневых испытаний одного вида огнетушителя по тушению МОП с близкими значениями по тепловыделению, очевидно, что использование природного газа в качестве горючей нагрузки в МОП экономически выгодно.

Практически для каждого МОП с заданным тепловыделением разница в стоимости расходных материалов составляет не менее 30 раз в пользу природного газа (Рисунок 3.6).

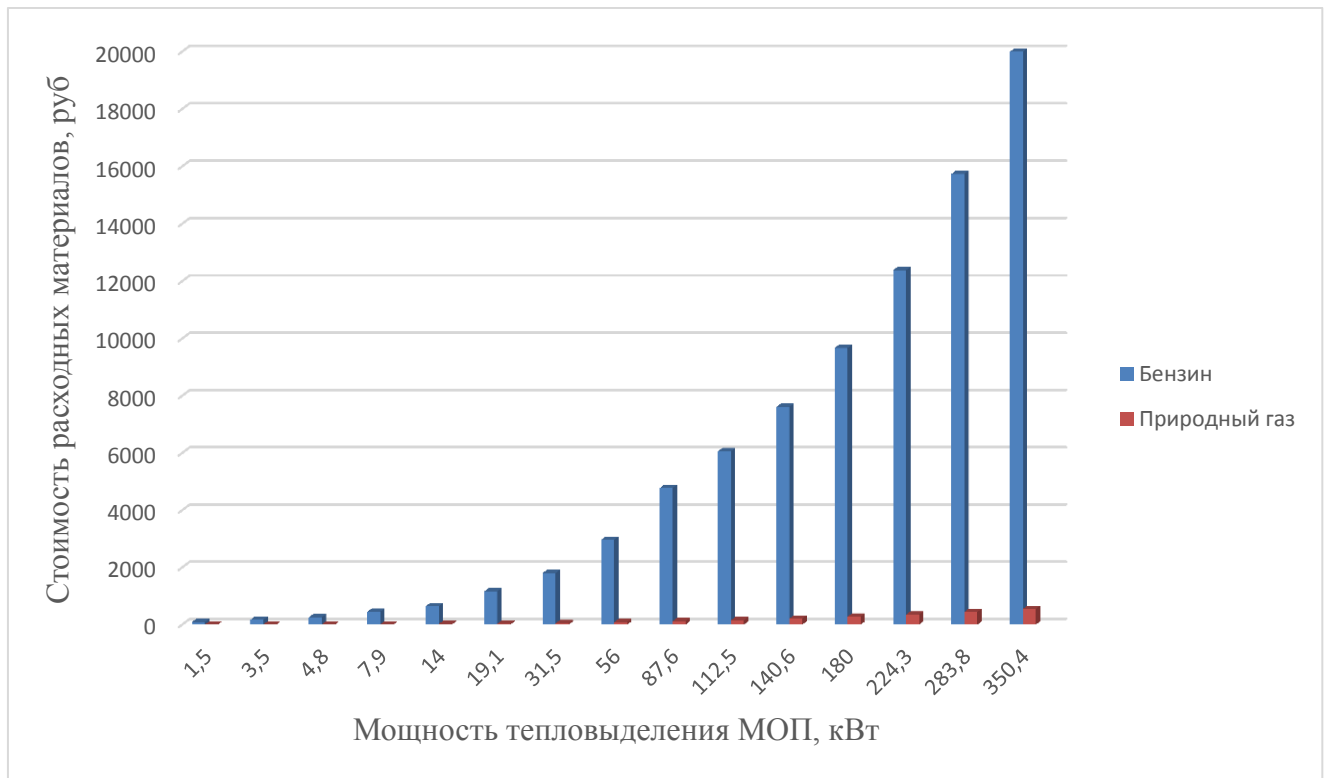


Рисунок 3.6 – Зависимость стоимости расходных материалов от создаваемой МОП мощности тепловыделения

Выводы по Главе 3

По результатам экспериментального обоснования требований, предъявляемых к модельным очагам пожара и порядку проведения испытаний огнетушителей, разработана конструкция стенда для испытаний, позволяющая осуществлять оценку эффективности не только порошковых огнетушителей, но и других видов исполнения.

Конструкция стенда для испытания порошковых огнетушителей:

1. Позволяет усовершенствовать МОП в части обеспечения реальных тепловых потоков. Вариативность конструкции МОП дает возможность задавать значения мощности теплового потока от 1,5 кВт до 350,4 кВт за счет регулируемой подачи топлива в виде природного углеводородного газа.

2. Создает условия для применения единого типа модельного очага пожара, предназначенного для оценки соответствия характеристик огнетушителей установленным требованиям за счет:

использования в качестве горючей нагрузки сжиженного углеводородного газа (пропан-бутановая смесь);

наличия единой конструкции МОП, исключающей необходимость испытаний на разных классах очагов пожара;

возможности изменения расстояния (перемещения) относительно друг друга испытываемого огнетушителя и МОП.

уменьшения влияния субъективного фактора на результаты испытаний и минимизации участия оператора-испытателя в процессе тушения за счет автоматизации процесса тушения.

3. Позволяет снизить затраты на расходные материалы для создания МОП с заданной мощностью тепловыделения более чем в 30 раз.

Предлагаемая модель стенда отвечает требованиям по мощности тепловыделения, предъявляемым к МОП, и может быть использована при проведении огневых испытаний порошковых огнетушителей по определению огнетушащей способности.

Глава 4 Экспериментальное исследование эффективности полноразмерных порошковых огнетушителей

Основываясь на требованиях, предъявляемых к порошковым огнетушителям, и результатах анализа методик проведения испытаний для осуществления экспериментальных исследований, разработаны модели порошкового огнетушителя [16] и стенд для испытания огнетушителей [38].

Для приведения процедуры испытаний огнетушителей к условиям, близким к реальному процессу горения (применительно к объектам нефтегазовой отрасли), необходимо изменить алгоритм их проведения. С этой целью необходимо обосновать методику, по которой происходит оценка эффективности порошкового огнетушителя [67].

4.1 Модель порошкового огнетушителя

Анализ применяемых порошковых огнетушителей и разработок их перспективных конструкций показал, что существует ряд не решенных задач по минимизации остатка огнетушащего порошка в корпусе, которые могут повлиять на конечный результат.

В рамках экспериментального исследования рассмотрена запатентованная авторская модель порошкового огнетушителя [16]. Предлагаемая конструкция огнетушителя направлена на повышение его эффективности за счет уменьшения остатка огнетушащего порошкового состава в корпусе после срабатывания в ходе тушения пожара.

Уменьшение остатка огнетушащего порошкового состава (далее – ОПС) достигается путем оснащения огнетушителя несколькими параллельно соединенными сосудами, имеющими отдельные входы вытесняющего газа и общий для всех выход ОПС, что позволяет более экономно расходовать запас энергии вытесняющего газа.

Модель порошкового огнетушителя реализована в устройстве, сущность которого пояснена на Рисунке 4.1.

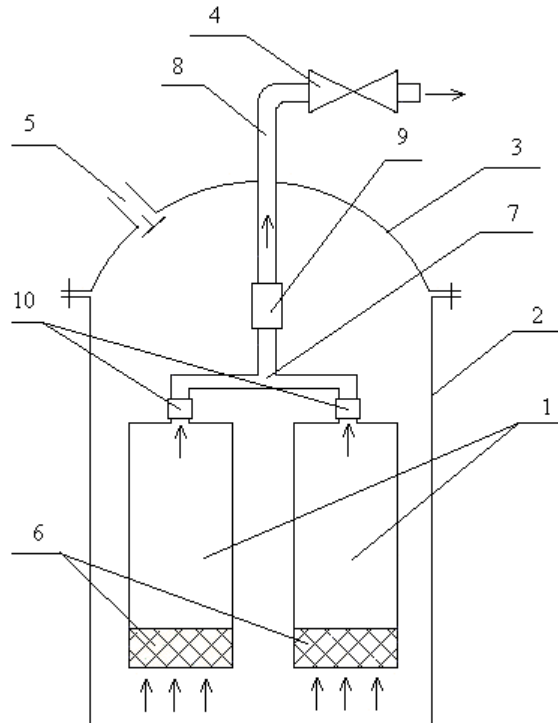


Рисунок 4.1 – Схема порошкового огнетушителя с параллельно соединенными сосудами для ОПС: 1 – сосуды для ОПС; 2 – корпус огнетушителя; 3 – крышка корпуса огнетушителя; 4 – запорно-пусковое устройство (далее ЗПУ); 5 – заправочный штуцер с обратным клапаном; 6 – пористый материал, 7 – общий коллектор для выхода ОПС, 8 – трубка, 9 – соединительная муфта, 10 – крепления.

Исследуемая модель экспериментального порошкового огнетушителя развивает прежние авторские идеи в этой области [20, 22]. Модель огнетушителя имеет (только по условию удобства проведения многократных испытаний) разъемный корпус из 2-х частей с болтовым соединением, с дополнительно вмонтированным в верхнюю часть корпуса устройством для закачки газавытеснителя. Объем корпуса модели огнетушителя составляет $7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и имеется конструктивная возможность его уменьшения до требуемого значения, соответствующего конкретному виду огнетушителя.

Запас огнетушащего порошка размещен в отдельных вертикальных сосудах, имеющих общий выход через запорно-пусковое устройство (ЗПУ) огнетушителя. Поровая часть поверхности сосудов сосредоточена на их торцах, обращенных к направлению вытесняющего газа. Сосуды имеют различную вместимость и габаритные размеры (в зависимости от массы заряда огнетушащего порошка) и разнесены друг от друга относительно вертикальной оси симметрии корпуса огнетушителя.

В качестве пористого материала (оболочки) применена сетка тканая с квадратными ячейками 60 мкм из металлической проволоки диаметром 0,04 мм [55] (размер ячеек сосудов определен с помощью микроскопа сканирующего электронного Tescan серии Vega).

Замер значений массы заряда порошка [68] и его остаток осуществлялся на электронных весах марки ПВ-30 (пределы взвешивания – от 0,1 до 30,0 кг, дискретность взвешивания – 0,005 кг).

Величина давления в корпусе при достигнутом эффекте фиксируется манометром марки ТМЗ (класс точности 1,5) с диапазоном шкалы измерений от 0 до 1,6 МПа.

4.2 Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.

Как показал анализ методик сертификационных испытаний огнетушителей, в алгоритме их проведения существует ряд особенностей и недостатков, которые могут повлиять на конечный результат – определение огнетушащей способности.

С целью исключения этих факторов, необходимо разработать методику оценки эффективности порошковых огнетушителей, учитывающую особенности проведения испытаний и исключаящую недостатки. Такая методика может быть осуществлена с учетом применения модели стенда для испытаний порошковых огнетушителей.

Предлагаемая методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с использованием стенда

для испытаний порошкового огнетушителя усовершенствована в части создания условий для применения единого типа модельного очага пожара, предназначенного для оценки соответствия характеристик огнетушителей установленным требованиям и уменьшения влияния субъективного фактора на результаты испытаний.

Проект методики представлен в Приложении А.

Схема оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли представлена на Рисунке 4.2

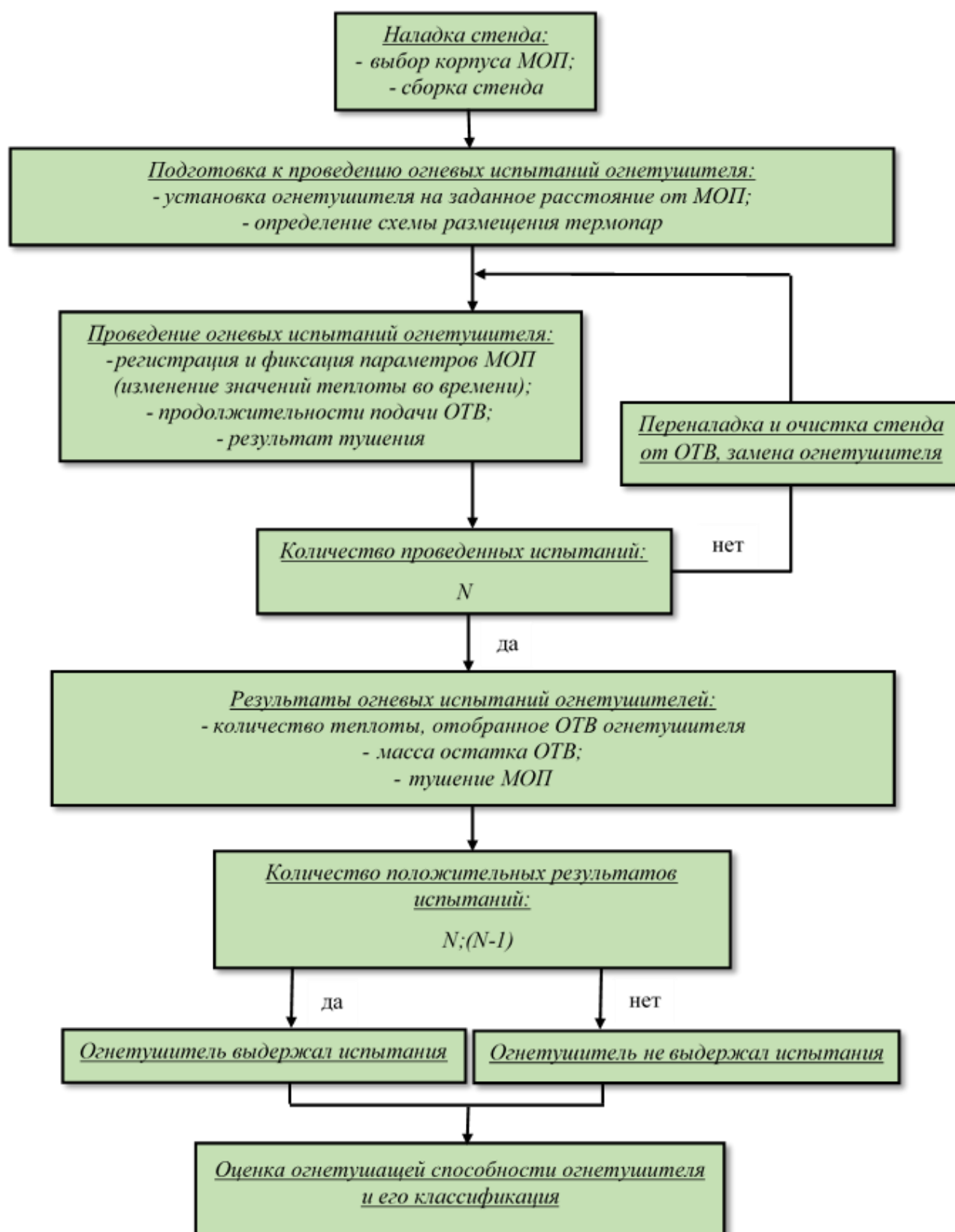


Рисунок 4.2 – Схема оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли

4.3 Результаты экспериментального сравнения эффективности порошковых огнетушителей при тушении нефтепродуктов

Для определения эффективности экспериментальной модели порошкового огнетушителя и ее соответствия предъявляемым требованиям по огнетушащей способности, проведены натурные огневые испытания в два этапа:

на первом этапе осуществляли тушение стандартного МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта на объекте нефтегазовой отрасли. Тушение осуществлялось применяемыми в настоящее время на территории России порошковыми огнетушителями различных производителей, а также образцом экспериментальной модели порошкового огнетушителя;

на втором этапе – тушение экспериментального газового МОП (далее МОП-ЭГ) стенда для испытания огнетушителей.

Таким образом, по результатам экспериментов необходимо было:

установить способность тушения соответствующего ранга МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта, предлагаемой моделью порошкового огнетушителя и ее соответствие применяемым огнетушителям по огнетушащей способности;

подтвердить результаты огневых испытаний по определению огнетушащей способности применяемых огнетушителей и экспериментальной модели ОП на МОП-ЭГ модели стенда.

4.3.1 Тушение стандартного МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта, сертифицированными порошковыми огнетушителями

Для экспериментального исследования огнетушащей способности было использовано несколько видов порошковых огнетушителей различных производителей. Применяемые при проведении натурных огневых испытаниях порошковые огнетушители имели действующие сертификаты соответствия продукции требованиям нормативных документов. Количество используемых огнетушителей соответствовало предъявляемым требованиям [4].

В качестве образцов для экспериментального исследования были выбраны порошковые огнетушители ОП-1 и ОП-2. Огнетушащим веществом, заряженным в данные порошковые огнетушители, является огнетушащий порошок в количестве 1 кг и 2 кг соответственно. Порошковые огнетушители этих типов в соответствии предъявляемыми к ним требованиями [4], должны успешно тушить МОП класса В (ранги 13В и 21В соответственно), имитирующие горение нефтепродуктов при нештатных ситуациях на объектах нефтегазовой отрасли (разгерметизация технологического оборудования, выход и пролив нефтепродуктов). Сведения об исследованных порошковых огнетушителях представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Сведения о сертифицированных порошковых огнетушителях

Производитель порошкового огнетушителя	Условное обозначение	Тип / марка используемого порошка	Заявляемые классы и ранги пожаров
ООО «МЕЛАНТИ», Смоленская область, г. Рудня	Огнетушитель порошковый ОП-1(з)-ABCE	тип ABCE марка «Волгалит-ABCE»	13В
	Огнетушитель порошковый ОП-2(з)-ABCE		21В
ООО «Эрлайн», г. Санкт-Петербург	Огнетушитель порошковый ОП-1(з)-ABCE	тип ABCE марка «Волгалит-ABCE»	13В
ЗАО «Пожтехника», г. Витебск	Огнетушитель порошковый ОП-1(з)-ABCE МИГ	тип ABC марка «ВЕКСОН-ABC 50»	13В
НПП «Севзапспецавтоматика», г. Гатчина	Огнетушитель порошковый ОП-2(г)-ABCE-01	тип ABCE марка «Вексон-ABC»	21В
ООО «ЯРПОЖИНВЕСТ», г. Ярославль	Огнетушитель порошковый ОП-1(з)-ABCE	тип ABCE марка «Вексон 25»	13В
	Огнетушитель порошковый ОП-2(з)-ABCE-01	тип ABCE марка «П-ФКЧС»	21В

Производитель порошкового огнетушителя	Условное обозначение	Тип / марка используемого порошка	Заявляемые классы и ранги пожаров
ООО «АПТВ», г. Ярославль	Огнетушитель порошковый ОП-1(3)-ABCE	тип ABCE марка «Волгалит ABCE»	13В
	Огнетушитель порошковый ОП-2(3)-ABCE		21В

Для каждой модели порошкового огнетушителя было проведено три огневых испытания по определению огнетушащей способности. Тушение МОП ранга 13В проводилось порошковыми огнетушителями ОП-1, ранга 21В порошковыми огнетушителями ОП-2. В тех случаях, когда порошковый огнетушитель не справлялся с тушением заявленного ранга, назначалась дополнительная серия испытаний, которая заключалась в проведении испытаний по тушению МОП ниже заявленного производителем (для ОП-2 соответствие рангу 13В). Результаты проведенного экспериментального исследования эффективности порошковых огнетушителей представлены в Таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2 – Эффективность сертифицированных порошковых огнетушителей ОП-1 и ОП-2 по тушению МОП ранга 13В

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испыт аний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактическ и		
	по паспо рту	факти чески					
Огнетушитель порошковый ОП1(3)-ABCE	1,55± 0,05	1,605	0,985	1,00±0,05	0,535 (от 51,0 до 56,3%)*	МОП ранга 13В	МОП ранга 13В не потушен
	1,55± 0,05	1,615	1,050	1,00±0,05	0,565 (от 53,8 до 59,5%)*	МОП ранга 13В	МОП ранга 13В не потушен

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически		
	по паспо рту	факти чески					
	не более 1,8	1,720	0,705	1,00±0,05	0,070 (от 7,4 до 6,7%)*	МОП ранга 13В	МОП ранга 13В потушен
	1,65± 0,05	1,600	0,995	1,00±0,05	0,400 (от 42,1 до 38,1%)*	МОП ранга 13В	МОП ранга 13В не потушен
Огнетушитель порошковый ОП-1(з)- АВСЕ МИГ	не более 2,2	2,000	1,060	1,00±0,05	0,060 (от 6,3 до 5,7%)*	МОП ранга 13В	МОП ранга 13В потушен
Огнетушитель порошковый ОП-2(г)-АВСЕ- 01	–	3,560	1,850	2,0±0,2	0,390 (от 21,7 до 17,7%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 13В не потушен **
Огнетушитель порошковый ОП-2(з)-АВСЕ	3,0± 0,1	2,900	1,610	2,0±0,1	0,490 (от 16,9 до 15,8%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 13В не потушен **
	2,9± 0,1	2,900	1,005	2,0±0,1	0,105 (от 5,8 до 4,8%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 13В потушен **
	не более 3,1	2,850	0,920	2,0±0,1	0,045 (от 2,4 до 2,1%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 13В потушен **

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически		
	по паспо рту	факти чески					
Примечание: * – количество порошка, оставшегося после проведения эксперимента. Диапазон с учетом допуска погрешности заправки огнетушителя порошком на производстве (в соответствии с паспортом). ** – дополнительная серия испытаний по тушению МОП ранга 13В назначалась после неудовлетворительного результата при тушении МОП ранга 21В.							

Таблица 4.3 – Эффективность сертифицированных порошковых огнетушителей ОП-2 по тушению МОП ранга 21В

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испыт аний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактическ и		
	по паспо рту	факти чески					
Огнетушитель порошковый ОП-2(з)-ABCE	не более 4,0	2,810	0,920	2,00±0,05	0,205 (от 10,5 до 10,0%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В потушен
	не более 4,0	2,780	0,860	2,00±0,05	0,190 (от 9,7 до 9,3 %)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В потушен
Огнетушитель порошковый ОП-2(г)-ABCE-01	—	3,560	1,850	2,0±0,2	0,390 (от 21,7 до 17,7%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В не потушен

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса, кг					Заявляемый ранг МОП	Результат эксперимента по тушению
	огнетушителя			порошка в огнетушителе			
	до испытаний		после испытаний	до испытаний (по паспорту)	после испытаний фактически		
	по паспо рту	факти чески					
Огнетушитель порошковый ОП- 2(3)-ABCE-01	2,9± 0,1	2,900	1,005	2,0±0,1	0,105 (от 5,8 до 4,8%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В не потушен
	не более 3,1	2,850	0,920	2,0±0,1	0,045 (от 2,4 до 2,1%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В не потушен
Огнетушитель порошковый ОП-2(3)-ABCE МИГ	не более 3,6	3,330	1,305	2,0±0,1	0,115 (от 6,1 до 5,6%)*	МОП ранга 21В	МОП ранга 21В потушен
Примечание: * – количество порошка, оставшегося после проведения эксперимента. Диапазон с учетом допуска погрешности заправки огнетушителя порошком на производстве (в соответствии с паспортом).							

Результаты экспериментов некоторых сертифицированных порошковых огнетушителей (Таблица 4.2 и 4.3), показали, что большинство образцов ОП-1 не способно тушить заявленные МОП ранга 13В. Более того, некоторые экземпляры ОП-2 не справляются не только с заявляемыми рангами МОП, но и не способны тушить меньшие ранги. Так, отдельные образцы ОП-2 не справились с тушением даже МОП ранга 13В. Данные эксперименты еще раз подтверждают необходимость усовершенствования конструкций применяемых порошковых огнетушителей.

По результатам испытаний сертифицированных ОП по тушению стандартного МОП рассчитан предлагаемый безразмерный комплекс эффективности π_3 (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Значения безразмерного комплекса эффективности π_3 сертифицированных ОП

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Результат тушения стандартного МОП	Величины безразмерного комплекса				Значение комплекса π_3
		расход ОПС, Q , кг/с	давление в огнетушителе, P кг/(м·с ²)	время выхода ОПС, $\tau_{\text{вых}}$, с	длина струи ОПС L , м	
Порошковые огнетушители, соответствующие ОП-1 (по массе заряда)						
ОП-1(з)-АВСЕ	не потушен	0,082	$1,6 \cdot 10^6$	6	2	$4,25 \cdot 10^{-3}$
	не потушен	0,077				$3,99 \cdot 10^{-3}$
	потушен	0,155				$8,07 \cdot 10^{-3}$
	не потушен	0,100				$4,25 \cdot 10^{-3}$
ОП-1(з)-АВСЕ МИГ	потушен	0,157	$1,6 \cdot 10^6$	6	2	$8,18 \cdot 10^{-3}$
Порошковые огнетушители, соответствующие ОП-2 (по массе заряда)						
ОП-2(з)-АВСЕ	потушен	0,302	$1,6 \cdot 10^6$	6	3	$10,47 \cdot 10^{-3}$
	потушен	0,300				$10,42 \cdot 10^{-3}$
ОП-2(г)-АВСЕ-01	не потушен	0,201	$1,2 \cdot 10^6$	8	3	$6,99 \cdot 10^{-3}$
ОП-2(з)-АВСЕ-01	не потушен	0,238	$1,4 \cdot 10^6$	8	3	$7,07 \cdot 10^{-3}$
	не потушен	0,245				$9,28 \cdot 10^{-3}$
ОП-2(з)-АВСЕ МИГ	потушен	0,315	$1,6 \cdot 10^6$	6	3	$10,94 \cdot 10^{-3}$

По результатам проведенных огневых испытаний сертифицированных порошковых огнетушителей получены следующие значения безразмерного комплекса эффективности π_3 :

1. Для ОП с массой заряда 1 кг:

от $8,07 \cdot 10^{-3}$ до $8,16 \cdot 10^{-3}$ для огнетушителей, успешно потушивших стандартный МОП ранга 13В;

от $3,99 \cdot 10^{-3}$ до $4,25 \cdot 10^{-3}$ для огнетушителей, не справившихся с тушением стандартного МОП ранга 13В

2. Для ОП с массой заряда 2 кг:

от $10,42 \cdot 10^{-3}$ до $10,94 \cdot 10^{-3}$ для огнетушителей, успешно потушивших стандартный МОП ранга 21В;

от $6,99 \cdot 10^{-3}$ до $9,28 \cdot 10^{-3}$ для огнетушителей, не справившихся с тушением стандартного МОП ранга 21В.

Таким образом, для оценки эффективности огнетушителей (в соответствии с безразмерным комплексом эффективности π_9) могут быть установлены диапазоны в соответствии с полученными значениями. При этом допустимо отклонение значений от диапазонов ($8,07 \cdot 10^{-3} \div 8,16 \cdot 10^{-3}$) для ОП-1 и ($10,42 \cdot 10^{-3} \div 10,94 \cdot 10^{-3}$) для ОП-2 в большую сторону, т.к. это является признаком их эффективности.

4.3.2 Тушение стандартного МОП класса В, имитирующего горение разлившегося нефтепродукта, экспериментальными порошковыми огнетушителями

В экспериментах использован огнетушащий порошок «ВЕКСОН–АВС 25» (ЗАО «Экохиммаш», Россия, г. Буй) с насыпной плотностью (900 ± 70) кг/м³ [68]. Гранулометрический состав порошка (% масс.): частицы более 100 мкм – (27 ± 8) ; более 50 мкм – (50 ± 8) [62].

Сведения о характеристиках сосудов, условиях испытаний и изменении остатка порошка в сосудах представлены в Таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристики и результаты испытаний порошковых огнетушителей с параллельно соединенными изолированными сосудами

Диаметр сосуда $d_c, 10^{-3} \text{ м}$		Всего сосудов n_c , ед	Площадь поровой части, $S_{пор. части} 10^{-3} \text{ м}^2$		Площадь соединения сосудов с коллектором 10^{-3} м^2	Диаметр, / площадь трубки, $S_{тр.},$ соединяющей коллектор с ЗПУ, $10^{-3} \text{ м} / 10^{-3} \text{ м}^2$	Начальные параметры вытесняющего газа		Масса ОПС m , кг		Среднее значение остатка порошка, %
номинальный	внутренний $d_{c, вн}$		одного сосуда	всех сосудов			давление P , МПа	объем $V, 10^{-3} \text{ м}^3$	начальная $m_{нач}$	остаток $m_{ост}$	
d40	36,4	4	1,04	4,16	0,62	14,0 / 0,154	0,80	45,9	1,005	0,010	1,5
									1,000	0,010	
									1,000	0,015	
									1,010	0,015	
									0,995	0,015	
									1,000	0,020	
									0,985	0,020	
									0,990	0,020	

Исследованный вариант конструкции порошкового огнетушителя данного исполнения обеспечивает остаток порошка менее допускаемых стандартом 15% [4] и составляет 1-2% (при давлении 0,8 МПа).

Для подтверждения эффективности экспериментальной модели порошкового огнетушителя (далее ОП-Э) проведены огневые испытания. Определение огнетушащей способности осуществлялось тушением стандартного МОП ранга 13В и 21В, имитирующего разлившуюся ЛВЖ, при массе заряда ОПС 1 кг и 2 кг, соответствующих стандартным зарядам огнетушителей ОП-1 и ОП-2.

В результате огневых испытаний по тушению стандартного МОП рангов 13В и 21В получены положительные результаты, т.е. очаги успешно потушены и самовоспламенения не произошло ни в одном случае.

Полученные результаты испытаний экспериментального модельного ряда порошковых огнетушителей позволяют сделать заключение об эффективности предложенной конструкции порошкового огнетушителя при тушении горящих нефтепродуктов.

Сравнение эффективности экспериментальной модели ОП-Э с сертифицированными огнетушителями проводилось по величине предлагаемого безразмерного комплекса эффективности π_3 (Таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Значения безразмерного комплекса эффективности π_3 экспериментальной модели ОП-Э

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Результат тушения стандартного МОП	Величины безразмерного комплекса				Значение комплекса π_3
		расход ОПС, Q , кг/с	давление в огнетушителе, P кг/(м $\cdot$ с 2)	время выхода ОПС, $\tau_{\text{вых}}$, с	длина струи ОПС L , м	
ОП-1Э (масса заряда 1 кг)	потушен	0,163	$0,8 \cdot 10^6$	6	2	$16,98 \cdot 10^{-3}$
ОП-2Э (масса заряда 2 кг)	потушен	0,308	$0,8 \cdot 10^6$	6	3	$21,39 \cdot 10^{-3}$

По результатам определения безразмерного комплекса π_3 после проведенных огневых испытаний экспериментального порошкового огнетушителя ОП-Э получены следующие значения:

1. Для ОП-Э массой заряда 1 кг – $16,98 \cdot 10^{-3}$;
2. Для ОП-Э с массой заряда ОТВ 2 кг – $21,39 \cdot 10^{-3}$.

Значения безразмерного комплекса эффективности π_3 экспериментальной модели ОП-Э больше, чем для испытанных сертифицированных огнетушителей (Таблица 4.4). При проведении последующих огневых испытаний следует использовать такой вариант исполнения порошкового огнетушителя.

4.3.3 Тушение МОП-ЭГ на разработанной модели стенда для испытания огнетушителей

Основываясь на полученных результатах, в соответствии с разработанной методикой оценки эффективности порошковых огнетушителей на объектах

нефтегазовой отрасли, проведены эксперименты по тушению экспериментального газового МОП-ЭГ модели стенда для испытания огнетушителей.

Для испытаний выбраны только те сертифицированные огнетушители ОП-1 и ОП-2, которые тушат заявленные стандартные МОП класса В (Таблицы 4.2 и 4.3), а также экспериментальный модельный ряд порошковых огнетушителей ОП-Э. Модели ОП-1Э и ОП-2Э имели массу огнетушащего порошка 1 кг и 2 кг соответственно. Характеристики экспериментального газового МОП-ЭГ соответствовали по мощности тепловыделения стандартным МОП класса В [4, 32].

В соответствии с данными о мощности тепловыделения стандартных МОП класса В (Таблица 3.5), модели огнетушителей с такой массой огнетушащего порошка должны тушить МОП-ЭГ мощностью 19,1 кВт и 31,5 кВт соответственно.

В качестве топлива для МОП-ЭГ использован СУГ (пропан-бутан). Результаты испытаний проведенного экспериментального исследования эффективности порошковых огнетушителей по тушению экспериментального газового МОП-ЭГ представлены в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты испытаний по тушению МОП-ЭГ порошковыми огнетушителями

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса огнетушащего порошка			Мощность тепловыделения МОП, кВт		Результат эксперимен та по тушению
	начальная, кг	остатка		МОП-ЭГ стенда	стандартный класса В	
		кг	%			
Порошковые огнетушители, соответствующие ОП-1(по массе заряда)						
ОП-1(3)- ABCE	1,000	0,065	6,5	19,1	ранг 13В	МОП-ЭГ стенда потушен, самовоспла
	1,000	0,45	4,5			
	1,000	0,065	6,5			

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Масса огнетушащего порошка			Мощность тепловыделения МОП, кВт		Результат эксперимен та по тушению
	начальная, кг	остатка		МОП-ЭГ стенда	стандартный класса В	
		кг	%			
ОП-1(з)- АВСЕ МИГ	1,000	0,050	5,0			менения не произошло
	1,000	0,055	5,5			
	1,000	0,40	4,0			
ОП-1Э	1,005	0,025	2,5			
	1,005	0,015	1,5			
	0,990	0,035	3,5			
Порошковые огнетушители, соответствующие ОП-2(по массе заряда)						
ОП-2(з)- АВСЕ-01	2,000	0,135	6,8	31,5	ранг 21В	МОП-ЭГ стенда потушен, самовоспла менения не произошло
	2,000	0,180	9,0			
	2,000	0,160	8,0			
ОП-2(з)- АВСЕ	2,000	0,145	7,3			
	2,000	0,140	7,0			
	2,000	0,155	7,8			
ОП-2(з)- АВСЕ МИГ	2,000	0,100	5,0			
	2,000	0,075	3,8			
	2,000	0,095	4,8			
ОП-2Э	1,905	0,055	2,9			
	1,910	0,035	1,8			
	1,910	0,040	2,1			

Эксперименты, связанные с тушением экспериментального газового МОП-ЭГ стенда для испытания огнетушителей, дали положительные результаты, подтверждающие возможность его применения для оценки эффективности порошковых огнетушителей. Все образцы испытанных в соответствии с разработанной методикой огнетушителей успешно потушили МОП-ЭГ стенда для испытаний с заданной мощностью тепловыделения. Рассчитанные значения безразмерного комплекса π_3 представлены в Таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Значения безразмерного комплекса π , порошковых огнетушителей

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Величины безразмерного комплекса				Значение комплекса π
	расход ОПС, Q, кг/с	давление в огнетушителе, Р кг/(м·с ²)	время выхода ОПС, $\tau_{\text{вых}}$, с	длина струи ОПС L, м	
Масса заряда 1 кг					
ОП-1(з)-АВСЕ	0,157	1,6·10 ⁶	6	2	8,18·10 ⁻³
	0,158				8,23·10 ⁻³
	0,157				8,18·10 ⁻³
ОП-1(з)-АВСЕ МИГ	0,158	1,6·10 ⁶	6	2	8,23·10 ⁻³
	0,157				8,18·10 ⁻³
	0,160				8,33·10 ⁻³
ОП-1Э	0,162	0,8·10 ⁶	6	2	16,88·10 ⁻³
	0,163				16,98·10 ⁻³
	0,160				16,67·10 ⁻³
Масса заряда 2 кг					
ОП-2(з)-АВСЕ	0,310	1,6·10 ⁶	6	3	10,76·10 ⁻³
	0,303				10,52·10 ⁻³
	0,307				10,66·10 ⁻³
ОП-2(з)-АВСЕ МИГ	0,308	1,6·10 ⁶	6	3	10,69·10 ⁻³
	0,310				10,76·10 ⁻³
	0,307				10,66·10 ⁻³
ОП-2Э	0,317	0,8·10 ⁶	6	3	22,01·10 ⁻³
	0,320				22,22·10 ⁻³
	0,317				22,01·10 ⁻³

По результатам проведенных огневых испытаний с успешно потушенными МОП осуществлен расчет безразмерного комплекса эффективности π . Сертифицированные порошковые огнетушители подтвердили соответствие значениям определенного для ОП-1 и ОП-2 диапазона (Таблица 4.4). Экспериментальная модель ОП-Э имеет значения безразмерного комплекса π , превосходящие установленные диапазоны для огнетушителей с массами заряда

1 кг и 2 кг в два раза (Таблица 4.6), что говорит об эффективности данной модели порошкового огнетушителя.

Оценка экономической эффективности испытанных огнетушителей по методу Парето представлена в Приложении Б. Итоговые значения приведены на диаграммах (Рисунки 4.3 и 4.4), которые разделены прерывистыми линиями на зоны эффективности огнетушителей (А, В, С, D), где:

π_i – рейтинговый показатель i -го порошкового огнетушителя;

π_{cp} – среднее значение рейтинговых показателей порошковых огнетушителей;

c_i – стоимость i -го порошкового огнетушителя;

c_{cp} – среднее значение стоимости порошковых огнетушителей.

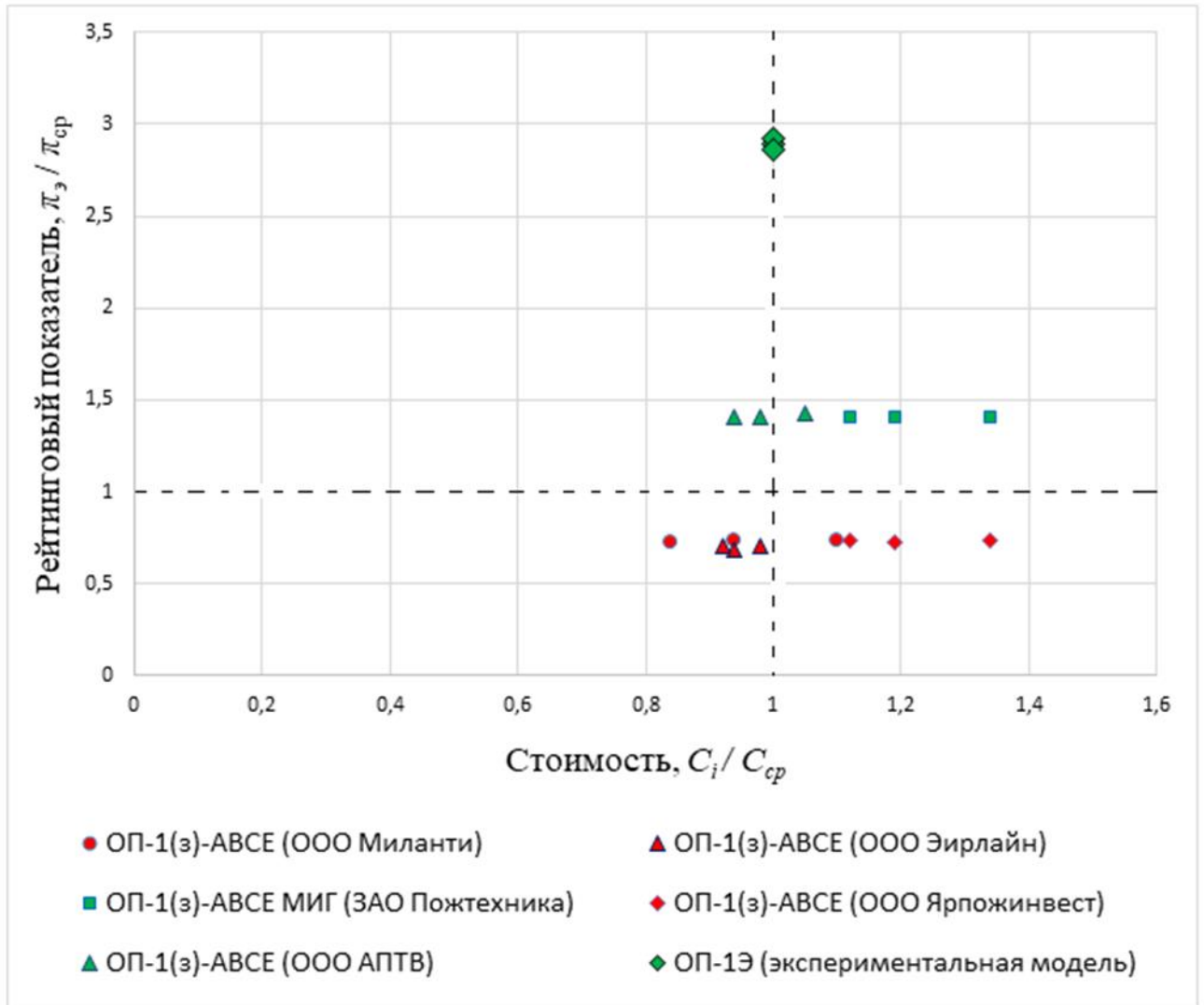


Рисунок 4.3 – Сравнение эффективности огнетушителей ОП-1 по рейтинговому показателю

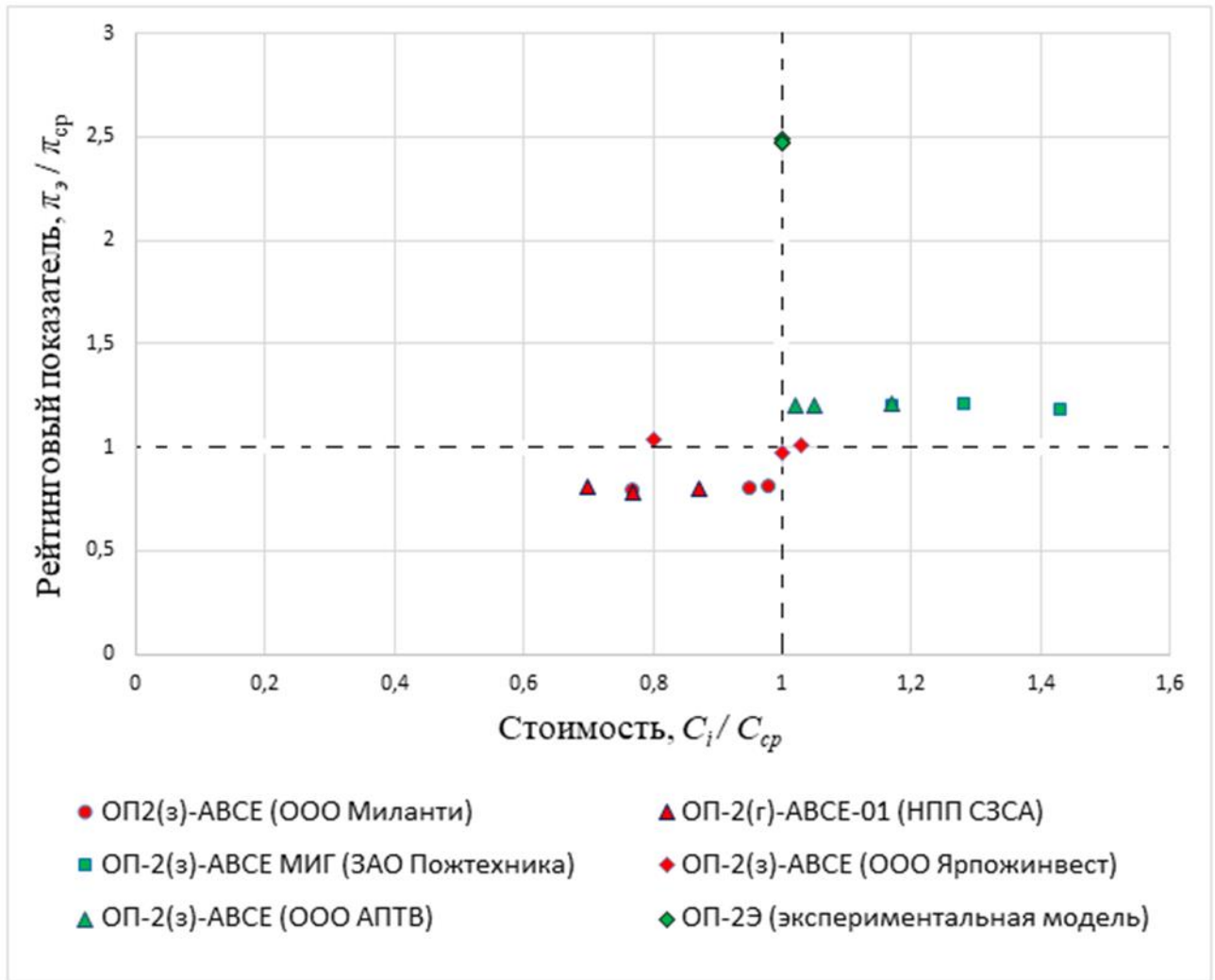


Рисунок 4.4 – Сравнение эффективности огнетушителей ОП-2 по рейтинговому показателю

В соответствии с методом Парето, попадание огнетушителя в зону А или В говорит о его эффективности. Разница состоит в наименьшей (зона А) или более высокой (зона В) стоимости огнетушителя, а при попадании огнетушителя в зону С или D – о его неэффективности в независимости от стоимости. Данное положение подтверждено проведенными огневыми испытаниями по определению огнетушащей способности:

1. Для огнетушителей с массой заряда 1 кг (Рисунок 4.3):

маркеры, выделенные красным цветом на диаграмме, расположены в зонах С и D и соответствуют огнетушителям, которые не справились с тушением МОП, и не могут быть отнесены к эффективным вне зависимости от их стоимости;

маркеры, имеющие зеленый цвет и расположенные в зонах А и В, соответствуют огнетушителям, потушившим МОП. Такие огнетушители подтвердили свою эффективность, хотя имеют высокую стоимость.

2. Для огнетушителей с массой заряда 2 кг (Рисунок 4.4) эффективность испытанных огнетушителей распределилась в аналогичном порядке. Огнетушитель ОП-2(з)-ABCE (ООО «Ярпожинвест»), расположенный на границе разделения зон А-В и С-Д, также не может быть отнесен к эффективным, поскольку не справился с тушением заявленного МОП.

3. Оптимальное соотношение (наименьшая стоимость и наибольший эффект) показала экспериментальная модель порошкового огнетушителя в исполнении ОП-1Э и ОП-2Э.

Выводы по Главе 4

Результаты экспериментального исследования эффективности разработанной конструкции порошкового огнетушителя позволяют сделать вывод, что вариант с параллельно соединенными и изолированными друг от друга сосудами более совершенен относительно иных вариаций.

2. При проведении огневых испытаний порошковый огнетушитель моделей ОП-1Э и ОП-2Э с массой огнетушащего порошка 1 кг и 2 кг соответственно, успешно потушил:

стандартный МОП класса В, имитирующий горение разлившегося нефтепродукта, рангов 13В и 21В;

МОП-ЭГ стенда для испытания огнетушителей, имеющий мощности тепловыделения 19,1 кВт (соответствует МОП ранга 13В) и 31,5 кВт (соответствует МОП ранга 21В).

Минимальные значения безразмерного комплекса эффективности π_3 у экспериментальной модели порошкового огнетушителя ОП-Э в два раза больше, чем у выпускаемых ОП, и составляют $16,67 \cdot 10^{-3}$ для ОП-1Э и $22,01 \cdot 10^{-3}$ для ОП-2Э.

Экспериментальная модель порошкового огнетушителя ОП-Э позволяет осуществить тушение соответствующих МОП – как стандартных класса В, предусмотренных нормативными документами, так и вариантов экспериментального газового МОП-ЭГ, предлагаемого в модели стенда для испытания огнетушителей, что говорит о ее высокой эффективности.

3. Разработанная методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли, усовершенствована в части создания условий для применения единого типа модельного очага пожара в стенде для испытаний порошкового огнетушителя, снижает влияние субъективного фактора и повышает объективность результатов испытаний.

Заключение

По результатам анализа огнетушителей, применяемых в Российской Федерации (в том числе перспективных разработок), методик их сертификационных испытаний, а также обоснования требований к конструкции порошковых огнетушителей, показателям назначения и конструкции испытательного стенда для оценки их эффективности, изложенных в диссертационном исследовании, сделаны следующие выводы и предложения:

1. Разработанная модель порошкового огнетушителя, учитывает закономерности, комплексно характеризующие влияние его конструкции на эффективность тушения, и соответствует требованиям, предъявляемым нормативными документами, к данному виду (обеспечивает возможность уменьшения остатка огнетушащего порошкового состава в корпусе огнетушителя после его срабатывания до 1-2% при давлении 0,8 МПа при допуске значении 15%).

2. Разработанная модель стенда для испытания огнетушителей обеспечивает выполнение функций, не характерных для известных ранее стендов и устройств моделирования очагов пожара, в части обеспечения вариативности реальных тепловых потоков (возможность задавать значения мощности теплового потока от 1,5 кВт до 350,4 кВт за счет регулируемой подачи топлива), а также создает условия, снижающие влияние субъективного фактора на результаты испытаний за счет автоматизации процесса тушения.

3. Предложенное решение по универсализации единого модельного очага пожара, используемого в модели стенда, позволяет обеспечить изменение его параметров в соответствии с установленными требованиями, а также снизить затраты на расходные материалы для создания экспериментального модельного очага пожара с заданной мощностью тепловыделения более чем в 30 раз, сократив их номенклатуру.

4. Совокупность полученных экспериментально-теоретических результатов по разработке методики оценки эффективности порошковых огнетушителей при

тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с использованием модели стенда, свидетельствует о достижении поставленной цели по повышению достоверности оценки эффективности порошковых огнетушителей и решению научной задачи.

Направлением дальнейших исследований при использовании полученных результатов, следует считать разработку полноразмерных моделей стенда для испытания огнетушителей, запатентованного порошкового огнетушителя, а также рекомендаций по внесению изменений в нормативные документы в части касающейся требований к проведению огневых испытаний огнетушителей.

Список сокращений и условных обозначений

ГПС МЧС России – Государственная противопожарная служба Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

ТСБ – товарно-сырьевая база

АЗС – автомобильная заправочная станция

ОТВ – огнетушащее вещество

ОП – порошковый огнетушитель

ОП-Э – экспериментальная модель порошкового огнетушителя

ОПС – огнетушащий порошковый состав

МОП – модельный очаг пожара

МОП-ЭГ экспериментальный газовый модельный очаг пожара

ЗПУ – запорно-пусковое устройство

ГЖ – горючая жидкость

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

ГКС – газовая компрессорная станция

СУГ – сжиженный углеводородный газ

ОТЗС – однотопливная заправочная станция

МТЗС – многотопливная заправочная станция

АГНКС – автомобильная газонаполнительная компрессорная станция

АГЗС – автомобильная газозаправочная станция

КриоГЗС – криогенная газозаправочная станция

ДСП – древесно-стружечная плита

ПВХ – поливинилхлорид

БОП – боевая одежда пожарных

ТГМ – твердый горючий материал

Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
2. О противопожарном режиме: постановление Правительства РФ от 15 мая 2012 года № 390 [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
3. СП 156.13130.2014 Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
4. ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2020).
5. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 1 января 2018 года № 2 [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
6. Абдурагимов, И.М. Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации / И.М. Абдурагимов, Г.Н. Куприн // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 4. – С. 42-50.
7. Абдурагимов, И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 4. – С. 60-82.
8. Баратов, А.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1979. – С. 64-72.
9. Баратов, А.Н. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.

10. Поляков, А.С. Состояние и развитие переносных порошковых огнетушителей / Под общей редакцией А.С. Полякова. – СПб.: СПб университет ГПС МЧС России, 2016. – 198 с.

11. Поляков, А.С. Первичные и мобильные средства порошкового пожаротушения: Состояние и перспективы развития. – СПб.: СПб университет ГПС МЧС России, 2016. – 174 с.

12. Кожевин, Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. тех. наук: 05.26.03 / Кожевин Дмитрий Федорович. – СПб., 2011. – 120 с.

13. Сытдыков, М.Р. Методика оценки эффективности порошкового огнетушителя со встроенной пористой емкостью (применительно к пожароопасным производственным объектам нефтебаз): дис. ... канд. тех. наук: 05.26.03 / Сытдыков Максим Равильевич. – СПб., 2013. – 170 с.

14. Поляков, А.С. Порошковый огнетушитель. Патент 2043129, Российская Федерация, МПК А62С13/00 (1995.09.), 5059033/12, заявл. 22.07.1992; опубл. 10.09.1995.

15. Кожевин, Д.Ф. Полезная модель порошкового огнетушителя с пористым сосудом для огнетушащего состава / Д.Ф. Кожевин, М.Р. Сытдыков, А.С. Поляков // Пожаровзрывобезопасность. – 2012 – № 1. – С. 79-82.

16. Сорокин, И.А. Порошковый огнетушитель. Патент 188369, Российская Федерация, МПК А62С13/00 (2006.01), 2018124520, заявл. 04.07.2018; опубл. 09.04.2019, Бюл. № 10.

17. Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация) [Электронный ресурс] URL: <https://pub.fsa.gov.ru/rss/certificate> (дата обращения: 28.11.2019).

18. Куприн, Г.Н. Огнетушитель твердопеного тушения. Патент 2668753, Российская Федерация. МПК А62С13/04 (2006.01), 2018111415, заявл. 30.03.2018; опубл. 02.10.2018; Бюл. № 26.

19. Современные пожарные технологии [Электронный ресурс] URL: <http://sopot.ru> (дата обращения – 01.09.2019).
20. Поляков, А.С. Порошковый огнетушитель. Патент 106543, Российская Федерация, МПК А62С13/00 (2006.01), 2010145418/12, заявл. 28.10.2010; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20.
21. Сытдыков, М.Р. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей / М.Р. Сытдыков, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 4. – С. 51-54.
22. Кожевин, Д.Ф. Порошковый огнетушитель. Патент 140072, Российская Федерация. МПК А62С13/00 (2006.01), 2013103464/12, заявл. 18.01.2013; опубл. 27.04.2014; Бюл. № 12.
23. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Белов, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
24. Справочник по исследованию операций / В.А. Абчук, Ф.А. Матвейчук, Л.П. Томашевский. – М. Воениздат, 1979 г. – 368 с.
25. Ягер, Р.Р. Нечеткие множества и теория возможностей: последние достижения / Р.Р. Ягер. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
26. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Электронный ресурс] URL: <http://rosculturexpertiza.ru/files/valuation/saati.pdf> (дата обращения: 20.09.2019).
27. Бриджмен, П. Анализ размерностей / П. Бриджмен. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 148 с.
28. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1967. – 440 с.
29. Математическая энциклопедия: в 5 томах / Главный редактор И.М. Виноградов. – М.: Советская энциклопедия, 1977-1985.

30. Ногин, В.Д. Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето / В.Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и вычислительной техники. – 2002. – Т. 42, № 7. – С. 951-957.
31. Подиновский, В.В. Парето – оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский. – М.: Физматлит, 2007. – 256 с.
32. ГОСТ Р 51017-2001 Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2020).
33. ГОСТ 8486-86 Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, с Поправкой) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
34. ГОСТ 16588-91 (ИСО 4470-81) Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
35. ГОСТ 8510-86 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
36. ГОСТ Р 51105-97 Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5, 6, с Поправкой) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
37. Сорокин, И.А. Порошковые огнетушители в системе обеспечения пожарной безопасности при промышленном освоении северных территорий / И.А. Сорокин, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Вопросы обеспечения комплексной безопасности деятельности в Арктическом регионе: материалы Международной научно-практической конференции. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. – С. 127-128.

38. Сорокин, И.А. Стенд для испытания огнетушителей. Патент 168399, Российская Федерация, МПК А62С13/00 (2017.02), № 2016117503, заявл. 04.05.2016; опубл. 01.02.2017, Бюл. № 4.

39. Сытдыков, М.Р. Оценка характеристик порошковых огнетушителей, определяющих полноту вытеснения огнетушащего состава / М.Р. Сытдыков, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – № 4. – С. 16-24.

40. Сугак, Е.В. Моделирование турбулентных газодисперсных потоков [Электронный ресурс] / Е.В. Сугак, А.В. Сугак // Сетевое издание «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 6.

41. Соболев, А.А. Движение частиц в воздушном потоке / А.А. Соболев, П.А. Мельников, А.О. Тютюнник // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 3 (17). – С. 82-86.

42. Сугак, А.В. Равновесные траектории частиц в турбулентном потоке газа [Электронный ресурс] / А.В. Сугак, Е.В. Сугак // Сетевое издание «Современные проблемы науки и образования». – 2014. – № 2.

43. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985. – 512 с.

44. Поляков, А.С. Совершенствование конструкции порошкового огнетушителя с пористой ёмкостью для огнетушащего вещества / А.С. Поляков, Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2019. – № 1. – С. 22-30.

45. Поляков, А.С. Переносные порошковые огнетушители: монография. – СПб.: СПб университет ГПС МЧС России, 2013. – 132 с.

46. Поляков, А.С. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей [Электронный ресурс] / А.С. Поляков, Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». – 2020. – № 2 (2020). – С. 16-23.

47. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] URL: <http://gks.ru> (дата обращения: 01.12.2019).

48. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2020. – 80 с.

49. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] URL: <http://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 28.11.2020).

50. Сорокин, И.А. Применение порошковых огнетушителей на объектах нефтегазовой отрасли / И.А. Сорокин, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли: материалы III Международной научно-практической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2020. – С. 36-38.

51. Земский, Г.Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов / Г.Т. Земский. – М.: ВНИИПО, 2016. – 970 с.

52. Сафонов, А.С. Качество автомобильных топлив. Эксплуатационные свойства. Требования к качеству. Методы испытаний. – СПб.: НПИКЦ, 2006. – 400 с.

53. Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов [Электронный ресурс] / Режим доступа URL: <http://thermalinfo.ru> (дата обращения: 25.12.2019).

54. Сорокин, И.А. О форме, размерах и мощности модельного очага пожара для испытаний огнетушителей / И.А. Сорокин, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Техносферная безопасность. – 2017. – № 3 (16). – С. 63-72.

55. ГОСТ 2715-75 Сетки металлические проволоочные. Типы, основные параметры и размеры (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

56. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

57. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

58. Пособие по применению СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

59. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

60. ГОСТ 3826-82 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

61. Компания ООО ТД «Дока» [Электронный ресурс] URL: <https://www.tddoka.ru> (дата обращения: 20.09.2019).

62. Компания ООО «Редиус 168» [Электронный ресурс] URL: <http://radius.spb.ru> (дата обращения: 20.09.2019).

63. Компания ТК «Донмет» [Электронный ресурс] URL: <https://donmet-svarka.com> (дата обращения: 20.09.2019).

64. Гороховик, Д.М. Устройство для моделирования очага пожара. Патент U9971, Республика Беларусь. МПК F23D 5/00 (2006.01), u20130066, заявл. 2013.01.21; опубл. 28.02.2014.

65. Алешков, М.В. Стенд для исследования процессов горения и тушения пожара. Патент 158135, Российская Федерация. МПК A62C99/00 (2010.01), 2014152544/12, заявл. 25.12.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

66. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ [Электронный ресурс] URL: <http://www.garant.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

67. Сорокин, И.А. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей [Электронный ресурс] / А.С. Поляков, Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». – 2020. – № 2 (2020). – С. 16-23.

68. Технические условия ТУ 2149-028-10968286-2014 Огнетушащий порошок «ВЕКСОН® - АВС 50» [Электронный ресурс] URL: <https://ecochim.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

69. ПАО Лукойл [Электронный ресурс] URL: <http://lukoil.ru> (дата обращения: 01.12.2019).

70. ПАО НК Роснефть [Электронный ресурс] URL: <http://rosneft.ru> (дата обращения: 01.12.2019).

71. Компания ПАО Газпром нефть [Электронный ресурс] URL: <http://gazprom-neft.ru> (дата обращения: 01.12.2019).

72. ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014 Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

73. Кожевин, Д.Ф. Единый показатель огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей / Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 7. – С. 74-79.

74. Кожевин, Д.Ф. О рациональном объеме выборки огнетушителей для проведения сертификационных испытаний на огнетушащую способность / Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин, А.С. Поляков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 8. – С. 68-74.

75. Технические условия ТУ 2149-028-10968286-2014 Огнетушащий порошок «ВЕКСОН®-АВС 25» [Электронный ресурс] URL: <https://ecochim.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

76. Технические условия ТУ 2149-084-10964029-98 Порошок огнетушащий П-ФКЧС [Электронный ресурс] URL: <https://fk-him.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

77. Технические условия ТУ 2149-005-57847408-2015 Огнетушащий порошок Волгалит-АВСЕ [Электронный ресурс] URL: <https://volgalit.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

78. СП 9.13130.2009 Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

79. ГОСТ 18321-73 (СТ СЭВ 1934-79) Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

80. ГОСТ 27331-87 (СТ СЭВ 5637-86) Пожарная техника. Классификация пожаров [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

81. ГОСТ Р 51369-99 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

82. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

83. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

84. ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-2004) Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, 4) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

85. ГОСТ Р 51858-2002 Нефть. Общие технические условия (с Изменениями № 1, 2, с Поправками) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

86. ГОСТ 10585-2013 Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия (Издание с Поправкой, с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

87. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Поправками, с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

88. ГОСТ Р 52087-2018 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

89. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

90. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

91. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

92. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

93. ГОСТ 12.2.037-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Техника пожарная. Требования безопасности (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

94. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 607 с.
95. Кипер, Р.А. Свойства веществ: Справочник / Р.А. Кипер. – Хабаровск, 2009. – 387 с.
96. Справочник химика 21 [Электронный ресурс] URL: <https://www.chem21.info> (дата обращения: 01.12.2019) .
97. Химик [Электронный ресурс] URL: <https://xumuk.ru> (дата обращения: 01.12.2019).
98. Технические условия ТУ 2149-028-10968286-1997 Огнетушащий порошок «ВЕКСОН-АВС 50» [Электронный ресурс] URL: <https://rusarsenal-spb.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
99. Технические условия ТУ 2149-003-73958298-2005 Огнетушащий порошок Оберег АВСЕ [Электронный ресурс] URL: <https://zpo-obereg.ru/> (дата обращения: 01.09.2019).
100. Технические условия ТУ 2149-306-10968286-2016 Огнетушащий порошок АВСЕ Ликвид [Электронный ресурс] URL: <https://ecochim.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
101. Технические условия ТУ 2149-223-10964029-2004 Порошок огнетушащий Фоскон [Электронный ресурс] URL: <https://fk-him.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
102. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).
103. ГОСТ Р 53280.4-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 01.09.2019).

104. Сорокин, И.А. Обоснование требований и разработка порошковых огнетушителей перспективной конструкции для тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] / И.А. Сорокин, А.С. Поляков // Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2021. – № 2 (58). – С. 117-123.

105. Сорокин, И.А. Модель и характеристики стендаогневых испытаний порошковых огнетушителей [Электронный ресурс] / И.А. Сорокин // Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2021. – № 3 (59). – С. 126-130.

106. Сорокин, И.А. Методика оценки огнетушащей способности огнетушителей по результатам стендовых испытаний [Электронный ресурс] / И.А. Сорокин, А.С. Поляков // Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2021. – № 3 (59). – С. 76-80.

107. Сорокин, И.А. Параметризация порошковых переносных огнетушителей по огнетушащей способности / Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин, А.С. Поляков // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: материалы VI Всероссийской научно-технической конференция и XVI Школы молодых ученых. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. – С. 139-140.

108. Сорокин, И.А. Надежность огнетушителей, как элемент обеспечения пожарной безопасности / Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин // Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму: материалы X Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2015. – С. 424-428.

109. Сорокин, И.А. Модельные очаги пожара в огневых испытаниях огнетушителей. Опыт, проблемы, перспективы / И.А. Сорокин, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2015. – С. 193-194.

110. Сорокин, И.А. Моделирование и тушение очага пожара на стендах для испытаний огнетушителей. Опыт, проблемы, перспективы / И.А. Сорокин, Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: материалы VII Всероссийской научно-технической конференции и XVII Школы молодых ученых. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. – С. 173-176.

111. Сорокин, И.А. Об устранении субъективизма при проведении огневых испытаний огнетушителей / Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин, А.С. Поляков // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. – С. 305-310.

112. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения [Электронный ресурс] URL: <https://xumuk.ru> (дата обращения: 01.12.2019).

Приложение А

Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли (проект)

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика предусматривает оценку огнетушащей эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли.

1.2 Методика устанавливает порядок оценки огнетушащей эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли, с использованием стенда для испытания огнетушителей.

1.3 Методика имеет факультативный характер, ее применяют в дополнение к ГОСТ Р 51057-2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний» и ГОСТ Р 51017-2009 «Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Поправкой)», когда возникают трудности в сравнении образцов порошковых огнетушителей по контролируемым параметрам.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 51057-2001 Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

ГОСТ Р 51017-2009 Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Поправкой).

3 Основные понятия

Порошковый огнетушитель – огнетушитель, в качестве заряда которого используется огнетушащий (далее – ОП).

Стенд для испытания огнетушителей – испытательный стенд, предназначенный для оценки соответствия характеристик ОП установленным требованиям путем тушения модельного очага пожара (далее стенд).

Модельный очаг пожара – очаг пожара, предназначенный для испытания огнетушителей, мощность тепловыделения которого соответствует нормативным документам.

Рабочий режим – режим работы стенда, при котором мощность тепловыделения модельного очага пожара (далее МОП) соответствует заданным параметрам.

Огнетушащая эффективность – возможность тушения МОП огнетушителем с конкретным огнетушащим порошковым составом по заявляемой мощности тепловыделения.

Критерий эффективности огнетушителя – безразмерный комплекс эффективности порошкового огнетушителя Π_3 .

4 Подготовка стенда к проведению огневых испытаний по определению огнетушащей эффективности

4.1. Наладка стенда

Сборка стенда осуществляется в зависимости от целей и условий проведения испытаний. Порядок проведения сборки стенда включает в себя следующие действия:

4.1.1 Выбор типоразмера корпуса МОП и газовой горелки.

Выбор типоразмера корпуса МОП определяется исходя из заявляемых характеристик испытываемого ОП (класс, ранг, мощность тепловыделения МОП). Выбор газовой горелки осуществляется в соответствии с заявляемой мощностью тепловыделения МОП.

4.1.2 Сборка стенда.

4.1.2.1 Устанавливается емкость для сбора отработанного огнетушащего порошка.

4.1.2.2 В емкость для сбора отработанного огнетушащего порошка на основание-платформу устанавливается корпус МОП, на котором в соответствии с выбранной схемой крепятся (фиксируются) термоэлектрические преобразователи, соединенные с устройством, регистрирующим их показания.

4.1.2.3 Посредством соединительного газового трубопровода производится сборка и крепление системы газоснабжения и МОП. Сопло горелки ориентировано вертикально вверх.

4.1.2.4 Устройство, регистрирующее показания термоэлектрических преобразователей, подсоединяется для передачи данных к блоку управления поворотным кронштейном механизма вращения устройства с ОП.

4.1.2.5 Перемещаемое устройство для крепления ОП устанавливается на расстоянии, заданном условиями проведения испытаний и зависит от длины струи огнетушащего порошка, определенного на предварительных испытаниях. Перемещаемое устройство с помощью системы крепежей фиксируется к поворотному кронштейну механизма вращения. На перемещаемом устройстве устанавливают и закрепляют ОП и устройство его запуска.

4.1.2.6 Устанавливается экран, отделяющий устройство регистрации показаний термоэлектрических преобразователей, блок управления поворотным кронштейном механизма вращения и газовый баллон с редуктором от МОП и перемещаемого устройства с закрепленным ОП.

4.2. Выполнение функций переналадки стенда

Переналадка стенда осуществляется после проведения огневых испытаний, а также в иных случаях, исходя из целей и условий проведения испытаний.

4.2.1 После проведения каждого испытания (при необходимости) провести очистку следующих элементов стенда:

основание-платформу, устанавливаемую под корпусом МОП;

корпус МОП;

емкость для сбора отработанного огнетушащего порошка;

термоэлектрические преобразователи.

4.2.2 После очистки, стенд собирают, как указано в п. 4.1, с учетом требований нового испытания.

5 Проведение огневых испытаний по определению огнетушащей эффективности

Стенд подготавливают к проведению испытаний, в зависимости от целей и условий проведения, в соответствии с п.п. 4.1, 4.2.

5.1 Включают устройства, регистрирующие параметры испытаний и осуществляющие управление стендом.

5.2 Осуществляют подачу газа в газовую горелку и производят поджиг.

5.3 Путем регулирования подачи газозвоздушной смеси установить «рабочий режим», соответствующий заданному значению мощности тепловыделения МОП стенда. Время работы стенда в установившемся «рабочем режиме» до начала проведения испытаний не менее 2 минут.

5.4 При достижении внутри мишени заданного «рабочего режима» привести в действие устройство запуска ОП.

5.5 В процессе тушения фиксируют:

время подачи (выхода) огнетушащего порошка;

количество теплоты, отбираемое огнетушащим порошком, у МОП;

окончание тушения МОП.

5.6 Продолжительность эксперимента определяется прекращением выхода огнетушащего порошка из ОП, либо визуальным наблюдением тушения МОП. Наблюдения за экспериментом осуществляется через смотровое окно в экране.

5.7 При наступлении любого критерия, указанного в п.5, прекращается подача газа и фиксируются результаты испытаний.

5.8 Каждым типом ОП проводят тушение МОП не менее пяти раз.

6 Оценка огнетушащей эффективности порошкового огнетушителя по результатам проведения огневых испытаний

Считают, что ОП выдержал испытание, если выполнено одно из условий:
в четырех попытках из пяти МОП был потушен;
количество теплоты, отбираемое ОПС огнетушителя, соответствует заявленным для него значениям.

Если какое-либо из условий не выполняется, то считается, что результат отрицательный, а огнетушитель не выдержал испытания.

Для каждого отрицательного результата допускается проведение дополнительной серии испытаний из пяти повторений.

При повторном получении отрицательного результата в дополнительной серии испытаний, считается, что огнетушитель их не выдержал.

7 Оценка эффективности порошкового огнетушителя расчетным способом

До проведения огневых испытаний, эффективность существующих видов и вновь разрабатываемых моделей ОП, может быть оценена расчетным способом. Критерием эффективности порошкового огнетушителя является безразмерный комплекс эффективности порошкового огнетушителя $\pi_{\text{э}}$.

Расчет безразмерного комплекса эффективности $\pi_{\text{э}}$ порошкового огнетушителя осуществляется по уравнению:

$$\pi_{\text{э}} = \frac{Q_{\text{опс}}}{P L_{\text{стр}} \tau_{\text{вых}}} , \quad (\text{A.1})$$

где $Q_{\text{опс}}$ – расход ОПС, кг/с;

P – давление в огнетушителе, кг/(м·с²);

$\tau_{\text{вых}}$ – время выхода ОПС, с;

$L_{\text{стр}}$ – длина струи ОПС, м.

Приложение Б

Оценка экономической эффективности порошковых огнетушителей по безразмерному комплексу

Расчет значений характеристик для оценки экономической эффективности испытанных порошковых огнетушителей по методу Парето представлен в Таблицах Б.1 и Б.2, где π_i – рейтинговый показатель i -го порошкового огнетушителя; π_{cp} – среднее значение рейтинговых показателей порошковых огнетушителей; c_i – стоимость i -го порошкового огнетушителя; c_{cp} – среднее значение стоимости порошковых огнетушителей.

Таблица Б.1 – Значения характеристик для построения диаграмм Парето для ОП-1

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Стоимость огнетушителя C_i , руб			Отношение стоимости огнетушителя к среднему значению C_i / C_{cp} ,			Безразмерный комплекс π_i , 10^{-3}			Отношение безразмерного комплекса к среднему значению π_i / π_{cp}		
ОП-1(з)-АВСЕ (ООО Меланти)	375	420	490	0,84	0,94	1,10	4,25	4,31	4,28	0,73	0,74	0,74
ОП-1(з)-АВСЕ (ООО Эйрлайн)	420	410	440	0,94	0,92	0,98	3,99	4,16	4,11	0,69	0,71	0,71
ОП-1(з) -АВСЕ МИГ (ЗАО Пожтехника)	530	500	600	1,19	1,12	1,34	8,18	8,23	8,18	1,41	1,41	1,41
ОП-1(з)-АВСЕ (ООО Ярпожинвест)	360	350	480	0,81	0,78	1,07	4,25	4,32	4,32	0,73	0,74	0,74
ОП-1(з)-АВСЕ (ООО АПТВ)	440	420	470	0,98	0,94	1,05	8,23	8,18	8,33	1,41	1,41	1,43
Среднее значение	447						5,82					

Таблица Б.2 – Значения для построения диаграмм Парето для ОП-2

Условное обозначение порошкового огнетушителя	Стоимость огнетушителя C_i , руб			Отношение стоимости огнетушителя к среднему значению $C_i / C_{ср}$,			Безразмерный комплекс π_3 , 10^{-3}			Отношение безразмерного комплекса к среднему значению $\pi_3 / \pi_{ср}$		
ОП-2(з)-АВСЕ (ООО Меланти)	460	570	590	0,77	0,95	0,98	7,07	7,14	7,22	0,79	0,80	0,81
ОП-2(з)-АВСЕ (ООО Эирлайн)	460	520	420	0,77	0,87	0,70	6,99	7,12	7,20	0,78	0,80	0,81
ОП-2(з)-АВСЕ МИГ (ЗАО Пожтехника)	770	860	700	1,28	1,43	1,17	10,76	10,52	10,66	1,21	1,18	1,20
ОП-2(з)-АВСЕ (ООО Ярпожинвест)	480	600	620	0,80	1,00	1,03	9,28	8,66	9,04	1,04	0,97	1,01
ОП-2(з)-АВСЕ (ООО АПТВ)	610	700	630	1,02	1,17	1,05	10,69	10,76	10,66	1,20	1,21	1,20
Среднее значение	599						8,92					

При расчете экономической эффективности экспериментальной модели порошкового огнетушителя значение его стоимости принято, условно равным значению средней стоимости для сертифицированных огнетушителей: 447 рублей для ОП-1Э и 599 рублей для ОП-2Э.

Приложение В

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский
университет ГПС МЧС России
по учебной работе
кандидат военных наук, доцент
полковник внутренней службы

А.А. Горбунов
« 2 » 20 20 г.



АКТ

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Сорокина Игоря Александровича на тему «Методика оценки
эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров
на объектах нефтегазовой отрасли» по специальности 05.26.03 - пожарная и
промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)
в образовательный процесс Санкт-Петербургского университета
Государственной противопожарной службы МЧС России**

Комиссия в составе:

председателя - начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства кандидата технических наук, доцента подполковника внутренней службы Сытдыкова Максима Равильевича;

членов комиссии:

профессора кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ Ложкина Владимира Николаевича;

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента Печурина Александра Алексеевича,

настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационного исследования Сорокина Игоря Александровича на тему «Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли»:

– закономерности, комплексно характеризующие влияние конструкции порошкового огнетушителя на эффективность тушения пожаров на объектах нефтегазовой отрасли;

– характеристики и модель стенда огневых испытаний порошковых огнетушителей, повышающие достоверность и точность измеряемых показателей;

– методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с учетом результатов стендовых огневых испытаний

внедрены в образовательный процесс кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» при изучении дисциплины «Пожарная техника» (раздел 4 «Огнетушители. Зарядные станции»), очная форма обучения (по направлению подготовки 20.05.01 Пожарная безопасность, квалификация – специалист).

Председатель комиссии:

начальник кафедры ПАСТиАХ
кандидат технических наук, доцент
подполковник внутренней службы

М.Р. Сытдыков

Члены комиссии:

профессор кафедры ПАСТиАХ
доктор технических наук, профессор
заслуженный деятель науки

В.Н. Ложкин

доцент кафедры ПАСТиАХ
кандидат технических наук, доцент

А.А. Печурин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский
университет ГПС МЧС России
по учебной работе
кандидат военных наук, доцент
полковник внутренней службы

А.А. Горбунов

« 12 » апреля 2020 г.

**АКТ**

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Сорокина Игоря Александровича на тему «Методика оценки
эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров
на объектах нефтегазовой отрасли» по специальности 05.26.03 - пожарная
и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)
в научно-исследовательскую деятельность Санкт-Петербургского
университета Государственной противопожарной службы МЧС России**

Комиссия в составе:

председателя - начальника научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности (далее - Институт) кандидата технических наук, доцента полковника внутренней службы Мельника Антона Анатольевича;

членов комиссии:

заместителя начальника Института кандидата технических наук Голикова Александра Дмитриевича;

начальника отдела испытаний и разработки научно-технической продукции в области пожарной безопасности Института полковника внутренней службы Лобова Дениса Александровича

настоящим актом подтверждает, что следующие результаты диссертационного исследования Сорокина Игоря Александровича на тему «Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли»:

– характеристики и модель стенда огневых испытаний порошковых огнетушителей, повышающие достоверность и точность измеряемых показателей;

– методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с учетом результатов стендовых огневых испытаний

внедрены в научно-исследовательскую деятельность испытательной лаборатории «Независимый испытательный центр пожарной безопасности» (далее – НИЦ ПБ) созданной на базе Института ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (приказ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России от 25.03.2015 №216) при проведении огневых испытаний сравнительных и оценочных характеристик огнетушителей (распоряжение НИЦ ПБ от 25.03.2020 №49/1).

Председатель комиссии:

начальник НИИПИиИТВ ОБЖ

кандидат технических наук, доцент

полковник внутренней службы

А.А. Мельник

Члены комиссии:

заместитель начальника НИИПИиИТВ ОБЖ

кандидат технических наук

А.Д. Голиков

начальник отдела ИиРНТПвОПБ

НИИПИиИТВ ОБЖ

полковник внутренней службы

Д.А. Лобов



УТВЕРЖДАЮ

Руководитель испытательной
лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ»

И.А. Московский
«25» *июля* 20 20 г.

АКТ

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Сорокина Игоря Александровича на тему «Методика оценки
эффективности порошковых огнетушителей при тушении пожаров
на объектах нефтегазовой отрасли» по специальности 05.26.03 - пожарная
и промышленная безопасность (нефтегазовая отрасль)
в практическую деятельность
испытательной лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ»**

в составе:

председателя – заместитель руководителя испытательной лаборатории
ООО «Комиссия НОРМАТЕСТ Кондратьева Фёдора Константиновича;

членов комиссии:

заместителя руководителя испытательной лаборатории
ООО «НОРМАТЕСТ» Темерева Александра Борисовича;

инженера испытателя испытательной лаборатории
ООО «НОРМАТЕСТ» Чепурного Сергея Яковлевича;

настоящим актом подтверждает, что следующие результаты
диссертационного исследования Сорокина Игоря Александровича на тему
«Методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при тушении
пожаров на объектах нефтегазовой отрасли»:

– характеристики и модель стенда огневых испытаний порошковых
огнетушителей, повышающие достоверность и точность измеряемых
показателей;

– методика оценки эффективности порошковых огнетушителей при
тушении пожаров на объектах нефтегазовой отрасли с учетом результатов
стендовых огневых испытаний

внедрены в практическую деятельность испытательной лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ» (аттестат аккредитации RA.RU.21ЖЭ01) с составлением заключения № 17/2020 от 12.02.2020 года.

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности использования разработанной Сорокиным И.А. методики с целью оценки эффективности создаваемых конструкций порошковых огнетушителей и проведения их предварительных испытаний, а также проведения сравнительного анализа с существующими сертифицированными в области пожарной безопасности образцами.

Председатель комиссии:
заместитель испытательной
лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ»



Ф.К. Кондратьев

Члены комиссии:
заместитель испытательной
лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ»



А.Б. Темерев

инженер-испытатель испытательной
лаборатории ООО «НОРМАТЕСТ»



С.Я. Чепурной